

გიზო ფარცხალაძე  
ინგუზა მშენიარაძე

# ლიტონის ქონსტრუქციები

სახელმძვანელო

ნიშნი I

ქონსტრუქციის ელემენტები



გამომცემლობა  
„შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი“  
ბათუმი – 2009

UDC (უაკ) 624.014+624.07+692  
ფ-308

**Gizo Partskhaladze**  
**Ingusha Mshvenieradze**

## **METAL CONSTRUCTIONS**

წიგნი აღიარებულია სახელმძღვანელოდ შოთა რუსთაველის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს მიერ  
(დადგენილება №89. 17.07.2009)

**რედაქტორები:** გოჩა ჩაველეშვილი – აკადემიური დოქტორი  
მიხეილ დონაძე – აკადემიური დოქტორი

**რეცენზენტები:** აგული სოხაძე –  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
პროფესორი, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის  
წევრი  
ლერი ზამბახიძე –  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს  
საინჟინრო აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი

ISBN 978-9941-409-68-4

© „შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი“, 2009

## წიწასიტიკვაობა

თანამედროვე სამოქალაქო მშენებლობის, გემთმშენებლობის, ავიაშენებლობის და ეროვნული მეურნეობის სხვა დარგების განვითარება მოითხოვს, განსაკუთრებით ზუსტად იქნეს დამუშავებული კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიული საკითხები.

სახელმძღვანელოში შემოთავაზებულია თანამედროვე სამეცნიერო კვლევებზე დაფუძნებული კონსტრუირებისა და მათი გაანგარიშების როგორც ახლებური, ასევე არსებული საუკეთესო მეთოდები.

ლითონის კონსტრუქციების პირველი წიგნი მოიცავს დაპროექტების ძირითად პრინციპებს, რომელშიც ყურადღება გამახვილებულია გაანგარიშების საფუძვლებზე, კონსტრუქციის ელემენტებსა და მათი შეერთებების სახეებზე. ეს წიგნი, ასევე, შეიძლება გამოყენებული იქნეს ცნობარის სახით ლითონის კონსტრუქციებში. აქ მოყვანილი საკითხები და მათი მოცულობები შესაბამისობაში არის მოყვანილი როგორც საგნის სილაბუსთან, ასევე სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის და სხვა საგანმანათლებლო პროგრამებთან. წიგნი განკუთვნილია სწავლების პირველი საფეხური-სათვის - ბაკალავრიატისათვის. მასში მოყვანილი საკითხები მაგისტრატურისა და დოქტორანტურის სტუდენტებსაც გამოადგება.

წარმოდგენილი პირველი წიგნი მოიცავს გაანგარიშების საფუძვლებსა და კონსტრუქციის ელემენტებს. მეორე წიგნში შვა სამრეწველო ნაგებობების კონსტრუქციები. მესამე წიგნში - სპეციალური კონსტრუქციები და ნაგებობები.

წიგნის შესწავლის შემდგომ სტუდენტს განუვითარდება ანალიტიკური, კრიტიკული და კომუნიკაციური უნარები ლითონის კონსტრუქციებში. ეს ცოდნა იქნება საფუძვლილი სხვა მიმართულების საგნების შესწავლისათვის.

წიგნი შედგება შესავლისაგან, რვა თავისა და დანართებისაგან.

## **F O R E W O R D**

The development of modern civil engineering, shipbuilding, aircraft engineering and other branches of national economy requires the theoretical aspects of construction design to be elaborated with particular precision.

The present course book offers innovated as well as best existing methods of construction and their design based on the modern scientific researches.

The first book of Metal Construction comprises the basic principles of design paying special attention to the principles of design, construction elements and types of joining. The book can also be used as a reference book in metal constructions. The issues and their volumes represented here are in full compliance with the subject syllabus as well as civil and industrial construction and other educational programs. The book is intended for the first stage of education – Bachelor's level. However, the issues brought here can be useful for the Master and Doctoral students.

The presented Book I comprises the basic principles of design and elements of construction. Book 2 will include constructions of industrial buildings; book III – special constructions and buildings.

After learning the book students will develop analytical, critical and communicative skills in metal constructions. This knowledge will be the background for mastering the subjects in other directions.

The book consists of introduction, eight chapters and appendixes.

## შესავალი

შ.1. ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში. ლითონის კონსტრუქციებს ფართოდ იყენებენ სხვადასხვა სახის შენობებსა და ნაგებობებში. ნაგებობის კონსტრუქციული ფორმა განისაზღვრება მისი ძირითადი ელემენტების: კოჭების, წამწვების, სვეტებისა და გარსების ურთიერთშეუღლებით. ნაგებობისა და მისი ელემენტების საუკეთესო კონსტრუქციული ფორმის შერჩევა ხდება დაპროექტების დროს, რომელიც შემოქმედებითი პროცესია და რომლის დროს მრავალნაირი გადაწყვეტილების მიღება შეიძლება. კონსტრუქტორი ვალდებულია ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში იპოვოს მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე დონის შესატყვისი საუკეთესო და რაციონალური გადაწყვეტა.

მშენებლობაში ძირითადად იყენებენ ჩვეულებრივ ნახშირბადიან ფოლადებს, მცირედ ლეგირებულ მაღალი სიმტკიცის ფოლადებსა და ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციებს.

ლითონის კონსტრუქციები მშენებლობაში გამოიყენება ღეროვანი და ფურცლოვანი სისტემების სახით.

ღეროვან სისტემებს, რომელთა ძირითადი მზიდი ელემენტებია კოჭები, წამწვები და სვეტები, მიეკუთვნება:

1. სამრეწველო შენობათა და ნაგებობათა (უმთავრესად მეტალურგიული და მანქანათსაშენი ქარხნების საამქროების) კარკასები ამწისქვეშა კოჭებით, ბაქნებით და ა. შ.

2. რკინიგზის, გზატკეცილისა და ქალაქის დიდმალიანი ხიდები.

3. სამოქალაქო მაღლივი შენობები საგამოფენო პავილიონები სხვადასხვა სახის დიდმალიანი გადახურვები, გუმბათები და სხვ.

4. სპეციალური დანიშნულების შენობები-ანგარები, გემთსაშენი ელინგები და სხვ.

5. კავშირგაბმულობისა და ტელეხედვის ანძები და კოშკები, შახტის ურნალები, ნავთის კოშკურები, პიდროტექნიკური ნაგებობანი, ესტაკადები, ამწეები და სხვ.

ფურცლოვანი სისტემები, რომელთა მზიდი კონსტრუქციული ელემენტებია ფირფიტები, გარსები გამოიყენება აირების შესანახ და გამანაწილებელ აირსაცავებში, სითხის შესანახ რეზერვუარებში, ფხვიერი მასალის შესანახ და გადასატვირთავ ბუნკერებში, სპეციალურ კონსტრუქციებში, როგორებიცაა ბრძმელები, აირსაწმენდები, დიდდიამეტრიანი მილები და მილსადენები; უკანასკნელნი გამოიყენება მეტალურგიულ და კოქსქიმიურ ქარხნებში, პიდრო-ელექტროსადგურებში, ნავთობ და აირსადენებში და ა.შ.

ალუმინის დეფიციტურობის გამო, ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციებს ჯერ კიდევ ნაკლებად იყენებენ. 1ტონა ალუმინის

შენადნობების მზა კონსტრუქციები 5-10 ჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე ფოლადის კონსტრუქციები, თუმცა მათი სიმსუბუქე, კოროზია-მედეგობა მათი ეფექტური გამოყენების საშუალებას იძლევა. ალუმინის შენადნობებისაგან დღეისდღეობით ძირითადად მზადდება შენობის სახურავებისა და კედლების შემომფარგველი პანელები, შეშინვის ვიტრაჟები, ფურცვლოვანი კონსტრუქციები, მილსადენები აგრესიული სითხეებისათვის, დიდმალიანი გადახურვები და მოძრავი კონსტრუქციები, რომელთა წონის შემცირებას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს.

შ2. ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი მხარეები. ლითონის კონსტრუქციების ფართო გამოყენება მშენებლობაში განპირობებულია ლითონის, როგორც ამ კონსტრუქციების მასალის, მთელი რიგი დადებითი თვისებებით.

ლითონის კონსტრუქციების დადებითი მხარეებია:

1. საიმედოება და ხანგამძლეობა, ფოლადის ერთგვაროვნებისა და სიმტკიცის მაღალი მახასიათებლების შედეგია, კერძოდ: დრეკადობის მოდული  $E = 2,06 \cdot 10^5$  მპა ( $2,06 \cdot 10^4$  კნ/სმ<sup>2</sup>), დენადობის ზღვარი  $\sigma_y = 230 \div 750$  მპა ( $23 \div 75$  კნ/სმ<sup>2</sup>) და დროებითი წინაღობა  $\sigma_u = 380 \div 850$  მპა ( $38 \div 85$  კნ/სმ<sup>2</sup>).

2. სიმსუბუქე. ფოლადისა და შენადნობების მაღალი სიმტკიცის გამო, ფოლადის კონსტრუქციები ხის კონსტრუქციებზე 1,5-2-ჯერ მსუბუქია, ბეტონის კონსტრუქციებზე-8-12-ჯერ, აგურის კონსტრუქციებზე, კი დაახლოებით 20-ჯერ; ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციები 2-2,5-ჯერ მსუბუქია ფოლადის კონსტრუქციებთან შედარებით. მასალის ხარჯი (ან კონსტრუქციის მასა) დამოკიდებულია მასალის მოცულობითი მასისა და საანგარიშო წინაღობის ფარდობასთან, რასაც ფარდობით კოეფიციენტს უწოდებენ  $K = \gamma/R$  ( $1/\beta$ ); და რაც ნაკლებია  $K$ , მით უფრო მსუბუქია კონსტრუქცია.

$K$ -ს მნიშვნელობა სხვადასხვა მასალისათვის მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 1-ში.

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს,  $K$  ფოლადისა და ალუმინის შენადნობებისათვის გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ხისა და ბეტონისათვის. აქედან გამომდინარე, ერთსა და იმავე პირობებში (განსაკუთრებით დიდი მალისა და დატვირთვების შემთხვევაში), ლითონის კონსტრუქციები გაცილებით მსუბუქია ხის ან რკინაბეტონის კონსტრუქციებზე.

3. კონსტრუქციების დამზადების ინდუსტრიალიზაცია. ლითონის კონსტრუქციებს ძირითადად ამზადებენ სპეციალიზებულ

ქარხნებში, რომლებიც ალტურვილია მაღალმექანიზებული მოწყობილობებით, რაც მინიმუმამდე ამცირებს ხელით სამუშაოს და აადვილებს კონსტრუქციის დამზადებასა და მონტაჟს.

ცხრილი №1

მასალა	$K \cdot 10^4$ $\text{V}\bar{\text{a}}$
1915 T მარკის ალუმინის შენადნობები ჩვეულებრივი სიმტკიცის	1,35
მცირენახშირბადიანი ფოლადები	3,75
მაღალი სიმტკიცის	2,06
მცირედეფორმირებული ფოლადები	5,4
ხე	5,4
300 მარკის ბეტონი	18,5

4. წყალ და აირშეუღწევადობა, რაც განპირობებულია ლითონის მაღალი სიმკვრივით. ეს თვისება ფოლადების ფურცლოვან კონსტრუქციებში გამოყენების ძირითადი პირობაა.

ფოლადის კონსტრუქციების ნაკლოვანი (უარყოფითი) მხარეებია:

1. ფოლადის დეფიციტურობა. ფოლადს ფართოდ იყენებენ ეროვნული მეურნეობის ყველა დარგში, ამიტომ კონსტრუქციები ფოლადებისაგან გეგმარდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მათი გამოყენება გამართლებულია როგორც ტექნიკურად, ისე ეკონომიურად (განსაკუთრებით რკინაბეტონის კონსტრუქციებთან შედარებით).

2. ფოლადის კოროზია. გარემოში არსებული ტენის, აირებისა და მარილების ზეგავლენით ზედაპირული ფენა გადაიქცევა რკინის ჟანგად, რის გამოც აუცილებელია ფოლადის კონსტრუქციების კოროზიისაგან დაცვა. ფოლადის კოროზიისაგან დაცვის საშუალებებია: ფოლადის კონსტრუქციების საღებავებით დაფარვა, კოროზიამედეგი კონსტრუქციული ფორმების შექმნა, ფოლადებში სპეციალური მალეგირებელი ელემენტების შეყვანა და სხვა მეთოდების გამოყენება. ზოგ შემთხვევაში, ფოლადი შეიძლება წარმატებით შეიცვალოს ალუმინის შენადნობებით, რომლებიც ფოლადთან შედარებით მაღალი კოროზიული მედეგობით ხასიათდება.

3. დაბალი ცეცხლმედეგობა.  $500^{\circ}\text{C}$  ტემპარატურის ზევით ლითონი კარგავს ზიდეის უნარს, ამიტომ მათი გამოყენების აუცილებლობის შემთხვევაში უნდა მივიღოთ ზომები კონსტრუქციის გადახურების წინააღმდეგ (თბოსაიზოლაციო

მასალებით დაფარვა და სხვა). კიდევ უფრო ნაკლებად ცეცხლმედეგია ალუმინის შენადნობები. ისინი ზიდვის უნარს კარგავენ  $200^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის ზევით. გარდა ამისა, ფოლადთან შედარებით, ალუმინის შენადნობების ნაკლოვანი მხარეა შედარებით დაბალი დრეკადობის მოდული ( $E \approx 71000$  მპა), რაც განაპირობებს ალუმინის კონსტრუქციების მაღალ დეფორმადობას.

4. მაღალი ღირებულება.  $\text{Cm3}$  მარკის ფოლადისაგან დამზადებული 1ტ. ფოლადის კონსტრუქციების საშუალო ღირებულება შეადგენს დაახლოებით 1500 პირობით ერთეულს, აქედან ძირითადი მასალების ღირებულებაა 1000 პ.ე. ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული 1ტ. კონსტრუქციების ფასი 5-10 ჯერ მეტია. ეს უარყოფითი მხარე რამდენადმე ნაზღაურდება ლითონის კონსტრუქციების შედარებითი სიმსუბუქით და მაშასადამე, მათი ნაკლები მასით სხვა მასალებისაგან დამზადებული კონსტრუქციების მასასთან შედარებით.

შ3. ლითონის კონსტრუქციებისადმი წაყენებული მოთხოვნები. ლითონის კონსტრუქციები უნდა აკმაყოფილებდეს საექსპლუატაციო მოთხოვნებს ნაგებობათა დანიშნულების მიხედვით; უნდა ჰქონდეს მაღალი ზიდვის უნარი (სიმტკიცე და მდგრადობა);

ახალი კონსტრუქციების შემუშავებისას ხელმძღვანელობენ შემდეგი პრინციპებით: 1) კონსტრუქციები უნდა იყოს მცირე მასისა და შრომატევადი, 2) კონსტრუქციების დამონტაჟება უნდა სრულდებოდეს უმოკლეს ვადაში.

ლითონის ხარჯისა და ღირებულების შემცირება ხდება რაციონალური კონსტრუქციული ეფექტური სქემების შექმნით და ლითონის და ალუმინის შენადნობების შესაბამისი მარკების გამოყენებით.

კონსტრუქციების შრომატევადობის შემცირებისა და მათი მონტაჟის დაჩქარების მიზნით, საპროექტო გადაწყვეტაში, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული კონსტრუქციების დამზადებისა და მონტაჟის მაღალმწარმოებლური მეთოდების მოთხოვნები და შესაძლებლობები; უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს საწარმოო პროცესების შესრულების მოხერხებულობა და სიმარტივე, ფართოდ უნდა იქნეს გამოყენებული უნიფიცირებული და სტანდარტული (ტიპური) ელემენტები და კვანძები.

მთლიანად ნაგებობა და მისი მზიდი კონსტრუქციები უნდა აკმაყოფილებდეს ესთეტიკურ მოთხოვნებსაც.

შენობათა და ნაგებობების დაპროექტება შედგება ორი სტადიისაგან: საპროექტო მოცემულობისა და სამუშაო ნახაზებისაგან.



საპროექტო მოცემულობაში განისაზღვრება მშენებლობის ტექნიკური შესაძლებლობა და ეკონომიკური მიზანშეწონილობა.

ლითონის კონსტრუქციების სამუშაო პროექტი შედგება ორი ნაწილისაგან-სამუშაო ნახაზების „ლკ“ (ლითონის კონსტრუქციები, დეტალები). „ლკ“ საფეხურზე დგება ნაგებობის სქემა, სრულდება კონსტრუქციების მთლიანი გაანგარიშება, შეირჩევა ყველა ელემენტის კვეთები, კეთდება საერთო ნახაზები და რთული კვანძების კონსტრუქციები. წარმოების კონსტრუქციული გადაწყვეტის შეთანხმება პროექტის სხვა ნაწილებთან: ტექნოლოგიური, სატრანსპორტო, ენერგეტიკულ, სანიტარულ, სამშენებლო-არქიტექტურულ და სხვ; დგება ლითონის სპეციფიკაცია. პროექტის „ლკ“-საფეხურის საფუძველზე, დამამზადებელი ქარხნების საკონსტრუქტორო ბიუროებში, ამუშავენ „ლკდ“ სამუშაო ნახაზებს კონსტრუქციების ცალკეული დეტალებისათვის. ამავე ეტაპზე ამუშავენ კონსტრუქციების სამონტაჟო სქემებს, გასაგზავნი ელემენტების შესაფერისი მარკირებით.

შ.4. ლითონის კონსტრუქციების განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა. ძველ დროში ძირითად სამშენებლო კონსტრუქციებად იყენებდნენ ქვისა (ასევე აგურის) და ხის კონსტრუქციებს. პირველად რკინის კონსტრუქცია გამოყენებული იქნა ძვ. წ. ა. III საუკუნეში ინდოეთში-ქალაქ დელიში. რკინის ჭედური ფურცლებისაგან დამზადებული იქნა კოლონა სიმაღლით 8 მ. წონით 6 ტ.

შუა საუკუნეების ევროპაში რკინას იყენებდნენ ქვის კონსტრუქციებში სამაგრ შემკერელის სახით ქვის კამარების განბრჯენისათვის, მჭიმებად. XVIII საუკუნის მეორე ნახევარში ევროპაში მოხერხდა თუჯის გამოდნობა, რამაც გამოიწვია მისი ფართოდ გამოყენება ხიდების მშენებლობაში. პირველი თუჯის ხიდი მალით 30,6 მ. იქნა აშენებული დიდ ბრიტანეთში მდინარე სევერზე 1776-1779 წ. 1784 წელს ევროპაში გამოჩნდა პირველი ფოლადის სადნობი პუდლინგ-ღუმელები, ხოლო 1819 წელს ლოტარინგიაში აშენდა ფოლადის საგლინავი, რამაც შესაძლებელი გახადა შექმნილიყო ჯაჭვისა და კაბელიანი კიდული ხიდები. მათ ჰქონდათ უფრო დიდი მალი ვიდრე თუჯის ხიდებს. 1818-1826 წლებში დიდ ბრიტანეთში მენეის სრუტეზე აგებული ხიდის მალი იყო 176,5 მეტრი. კაბელიანი ხიდის სიგრძე, რომელიც აშენებული იყო შვეიცარიის ფრეიბურგში 1832-1840 წლებში, იყო 273 მეტრი. რკინიგზის მნიშვნელოვანმა განვითარებამ, კიდული ხიდების არასაკმარისმა სიხისტემ და ქარხნებში ფოლადის გლინვის განვითარებამ გამოიწვია პროფილირებული ლითონისაგან დამზადებული ხიდების შექმნა. ასეთი ხიდი იყო „Britain“, რომელიც აშენდა IX საუკუნის 40-იან წლებში დიდ ბრიტანეთში

შენიშნული სრუტეზე, ინიციალურ რ. სტეფენსონის მიერ. მისი მალი იყო 71,9+2X140+71,9 მ. (იხ. ნახ. შ.1).

ამის შემდგომ ფოლადის გამოყენება თანდათან, ხიდების მშენებლობასთან ერთად დაიწყო, როგორც საზოგადოებრივი, ისე სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობებში. 1854 წ. ლონდონში შენდება მსოფლიო საგამოფენო დარბაზი „Crystal Palace“, ასევე მარსელში XIX საუკუნის 50-იან წლებში სადგური გადახურული ფერმებით, რომელთა მალის სიგრძე ტოლი იყო 52 მეტრის.

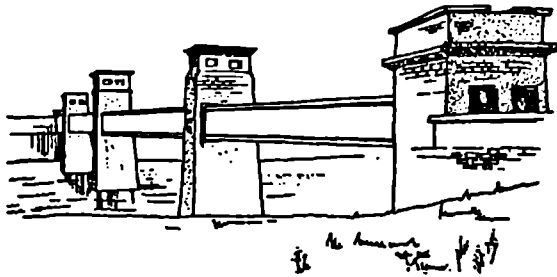
რკინისა და ფოლადის წარმოების სრულყოფამ-1856 წ. კონვერტერული და 1864 წ. მარტენის მეთოდით ფოლადის მიღებამ, გამოიწვია ლითონის კონსტრუქციების შემდგომი განვითარება.

1882-1891 წლებში დიდ ბრიტანეთში აშენდა ფორტის რკინიგზის კონსოლურ-კოჭოვანი, ორი შუა 521 მეტრიანი მალით, სისტემის ხიდი. 1889 წელს პარიზში მსოფლიო გამოფენაზე აღიმართა ვიფელის კოშკი სიმაღლით 300 მ. (ნახ. შ.2, ა).

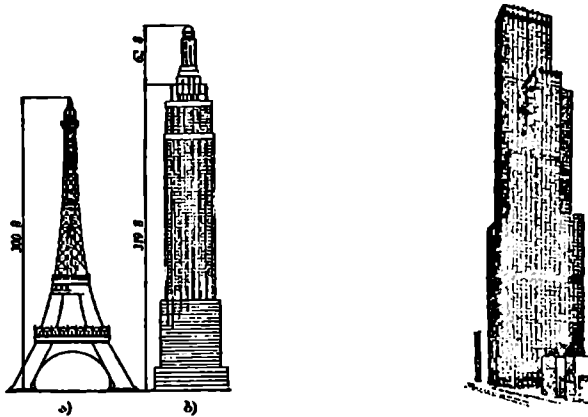
XX საუკუნეში ევროპაში აშენებული იქნა კიდევ მრავალი სხვა ნაგებობები ლითონის კონსტრუქციებისაგან.

აშშ-ში IX საუკუნის ბოლოდან დღემდე განვითარება პოვა ძირითადად ორმა მიმართულებამ: მრავალსართულიანმა მშენებლობამ და ხიდების კიდული სისტემების მშენებლობამ. 1931 წ. ნიუიორკში 15 თვის განმავლობაში აშენდა შენობა „Empire State Building“, სიმაღლით 319 მ. და მასზე განლაგებული 62 მ. სიმაღლის კოშკით (ნახ. შ.2, ბ). ის დიდი ხნის განმავლობაში რჩებოდა მსოფლიოს ყველაზე მაღალ შენობად. დღევანდელ დროში მსოფლიოს ყველაზე მაღალ შენობები ძირითადად კონცენტრირებულია ამერიკაში, ხოლო ყველაზე მაღალ შენობად აღიარებულია ჩიკაგოში არსებული 110 სართულიანი შენობა „Sears“ სიმაღლით 445 მ. (ნახ. შ.3). კიდული სისტემის ხიდებიდან აღსანიშნავია 1937 წელს სან-ფრანცისკოში აშენებული ხიდი „Golden Gate“, შუა მალით 1280 მ. (ნახ. შ.4). ეს მალი დიდხანს რჩებოდა მსოფლიოში ყველაზე დიდად, მაგრამ ბოლო წლებში დიდბრიტანეთში აშენდა ხიდი „Hamber“ მალით 1410 მ.

მრეწველობისა და სამოქალაქო მშენებლობის განვითარებამ გამოიწვია ლითონის კონსტრუქციების სხვადასხვა მიმართულებების შექმნა: სხვადასხვა დანიშნულების სამოქალაქო შენობები (ნახ. შ.5); სამრეწველო დანიშნულების მქონე ნგებობები, რომლებიც აღჭურვილი არიან მაღალი ტვირთამწეობის ხიდურა ამწეებით (ნახ. შ.6); ნავთობის სარეწი საზღვაო პლატფორმები (ნახ. შ.7), რადიოტელესკოპები (ნახ. შ.8), მაღლივი ნაგებობები (ნახ. შ.9), ფურცლოვანი კონსტრუქციები (რეზერვუარები ნახ. შ.10, გაზგოლ-დერები ნახ. შ.11, ნახ. შ.12) და ა. შ.



ნახ. შ.1 ხიდი „Britain“ დიდ ბრიტანეთში (მე-19 ს. 40-იანი)

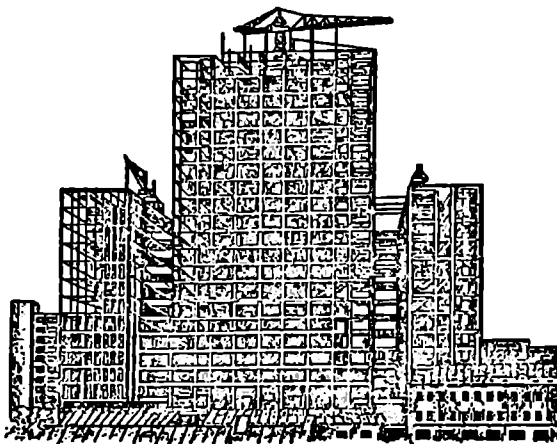


ნახ. შ.2. ეიფელის კოშკი პარიზში ა), ნახ. შ.3. შენობა „Sears“ ჩიკაგოში „Empire State Building“ ნიუიორკში (1931)

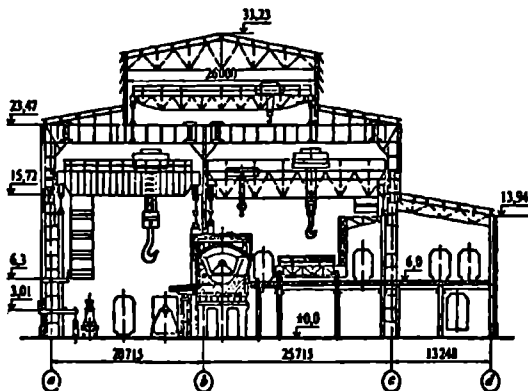


ნახ. შ.4. ხიდი „Golden Gate“ სან-ფრანცისკოში (1937)

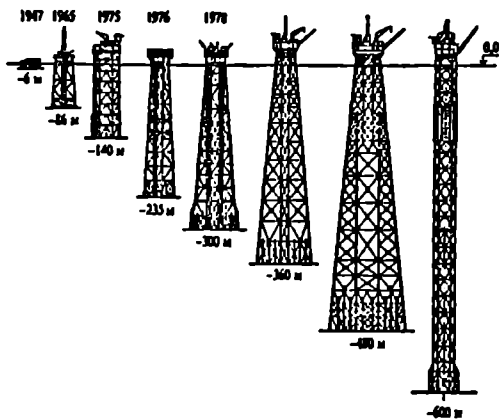
კომპიუტერებისა და თანამედროვე სპეციალური კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებამ ლითონმშენებლობაში გამოიწვია კონსტრუქციული ფორმების მნიშვნელოვანი დახვეწა და გამრავალფეროვნება მასალისა და შრომის მინიმალური დანახარჯებით.



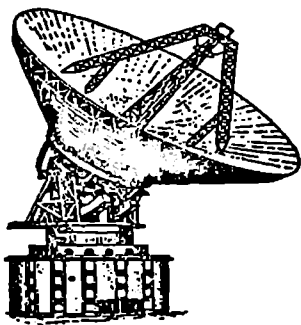
ნახ. შ5. მრავალსართულიანი ნაგებობის ფოლადის კარკასი



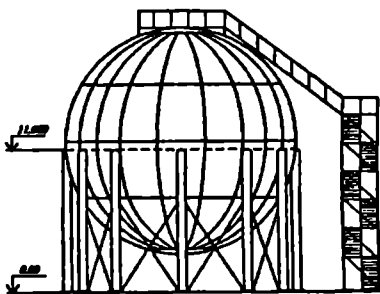
ნახ. შ6. სამრეწველო დანიშნულების ფოლადის კარკასი (მარტენის საამქრო)



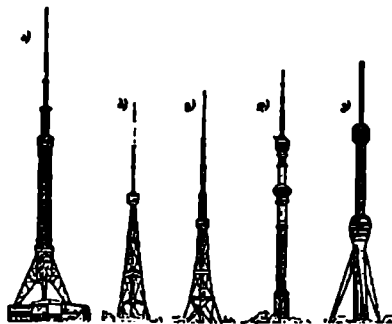
ნახ. შ.7. ნავთობის სარეწი საზღვაო პლატფორმების კონსტრუქციების განვითარება.



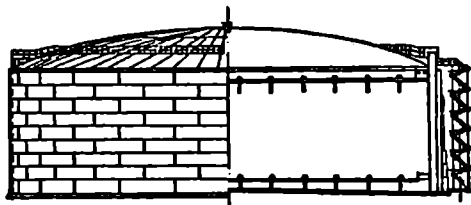
ნახ. შ.8. რადიოტელესკოპი



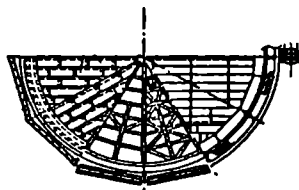
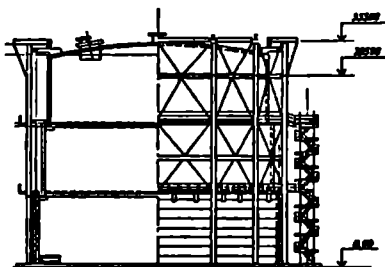
ნახ. შ.11. სფერული გაზგოდღერი



ნახ. შ.9. სატელევიზიო ანტენები:  
 ა)-კიევიში; ბ)-თბილისში; გ)-ერევანში; დ)-ალმაატაში; ე)-ტაშკენტში.



ნახ. შ.10. რეზერვუარი

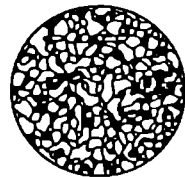
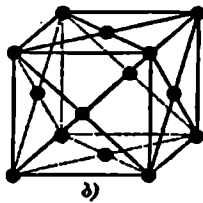
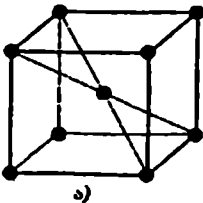


ნახ. შ.12. სველი გაზგოდღერი

სამშენებლო ლითონის კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალები

1.1. ფოლადი. ფოლადი წარმოადგენს რკინისა ( $Fe$ ) და ნახშირბადის ( $c$ ) შენადნობს, რომელიც შეიძლება იყოს ლეგირებული სხვადასხვა ნივთიერებებით, ასევე დამუშავებული იქნას თერმულად.

ფოლადის დნობის ტემპერატურა არის  $1539^{\circ}C$ . ამ ტემპერატურის ქვემოთ დაწვეისას ფოლადის სტრუქტურას გააჩნია სივრცითად დაცენტრებული კუბის ფორმა (სდკ) და მას ეწოდება  $\alpha$  მოდიფიკაცია ( $Fe\alpha$ ) (ნახ. 1.1,ა), როდესაც ტემპერატურა ჩამოიწევს  $1400^{\circ}C$ -ის ქვემოთ ფოლადი უკვე მყარდება და მის სტრუქტურას აქვს წახნაგებზე დაცენტრებული კუბის სახე (წდკ) (ნახ. 1.1,ბ). ამ დროს ხდება  $\alpha$  მოდიფიკაციის გადასვლა  $\gamma$  მოდიფიკაციაში ( $Fe\alpha \rightarrow Fe\gamma$ ). როდესაც ტემპერატურა დაიწევს ჩამოსვლას  $910^{\circ}C$  ქვემოთ მოხდება ფოლადის სტრუქტურის კიდევ ერთი ცვლილება, წახნაგდაცენტრებული კუბიდან (წდკ) ( $Fe\gamma$ ) სტრუქტურა გადავა სივრცითად დაცენტრებული კუბის (სდკ) ( $Fe\alpha$ ) სტრუქტურაში. ეს სტრუქტურა შენარჩუნდება ოთახის ტემპერატურამდე და უარყოფითი ტემპერატურისას, მას  $\alpha$  მოდიფიკაცია ეწოდება.



ნახ. 1.1. კუბური კრისტალური მესერი  
 ა) სივრცითად დაცენტრებული კუბი  
 ბ) წახნაგებზე დაცენტრებული კუბი

ნახ. 1.2. მცირე ნახშირბადიანი ფოლადის მიკროსტრუქტურა

ფოლადში ნახშირბადის შეყვანით დნობის ტემპერატურა იკლებს და კრისტალიზაციისას წარმოიქმნება ნახშირბადისა და  $\gamma$  მოდიფიკაციის მყარი ნარევი  $1392^{\circ}C - 911^{\circ}C$ -მდე, რომელსაც აუსტენიტი ეწოდება. ამ დროს ნახშირბადის ატომები

განლაგდებიან წახნაგცენტრირებული კუბის ცენტრში. ტემპერატურის კიდევ უფრო ქვევით ჩამოწევისას, კერძოდ,  $910^{\circ}\text{C}$  იწყება აუსტენიტის დაშლა. წარმოქმნილი  $\alpha$  მოდიფიკაცია (სდკ) გისოსით (ფერიტი) ცუდად ხსნის ნახშირბადს. ფერიტის გამოყოფის სიდიდის მიხედვით აუსტენიტი მდიდრდება ნახშირბადით და  $727^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურისას გადაიქცევა პერლიტად-ფერიტისა და რკინის კარბიდის  $\text{Fe}_3\text{C}$  ნარევად, რომელსაც ცემენტიტი ეწოდება.

ამგვარად, ფოლადის ოთახის ტემპერატურამდე გაცივებისას მის სტრუქტურაში არის ორი ძირითადი ფაზა-ცემენტიტი და ფერიტი, რომლებიც ქმნიან დამოუკიდებელ მარცვლებს და შედიან პერლიტის შემადგენლობაში. (ნახ. 12. ნათელი მარცვლები ფერიტია, მუქი პერლიტი).

ფერიტის მარცვალი არის რბილი და პლასტიკური, ცემენტიტი მყარი და ხისტი, ხოლო პერლიტის მარცვალს გააჩნია ამ ორ მარცვალს შორის შუალედური თვისებები.

ნახშირბადი ადიდება ფოლადის სიმტკიცეს, მაგრამ ამავე დროს ამცირებს მის პლასტიკურ თვისებებს. დიდი რაოდენობის მქონე ნახშირბადიანი ფოლადები მყიფე და ცუდი შესადულებელია; მალეგირებელი კომპონენტების რაოდენობის მიხედვით სამშენებლო ფოლადები იყოფა:

1. ნახშირბადიან ფოლადებად, რომლებიც არ შეიცავენ დანამატ მალეგირებელ ელემენტებს;

2. მცირედ ლეგირებულ ფოლადებად, სადაც ყველა მალეგირებელი დანამატების რაოდენობა არ აღემატება 2,5 %-ს;

3. საშუალოდ ლეგირებულ ფოლადებად, სადაც მალეგირებელი დანამატების რაოდენობა 2,5-10%-მდეა.

სიმტკიცის მახასიათებლების მიხედვით ფოლადები იყოფა სამ ჯგუფად: ჩვეულებრივი სიმტკიცის ( $\sigma, < 29$ ) კნ/სმ<sup>2</sup>; ამაღლებული სიმტკიცის ( $29 < \sigma, < 40$ ) კნ/სმ<sup>2</sup>; მაღალი სიმტკიცის ( $\sigma, > 40$  კნ/სმ<sup>2</sup>).

ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ფოლადები იყოფა: ნახშირბადიან და ლეგირებულ ფოლადებად.

როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ, ნახშირბადი ამაღლებს ფოლადის სიმტკიცეს და ამცირებს მის პლასტიკურ თვისებებს, აძნელებს შედულებას, ამიტომ სამშენებლო ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,22%.

რადგანაც ყველა მალეგირებელი ნივთიერებების დამატებით, ამა თუ იმ ხარისხით, დაბლდება ფოლადის საშემდულებლო



თვისებები სამშენებლო ფოლადებში ჯამური მალეგირებელი ნივთიერებების შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 5%.

ფოლადისათვის ძირითადი მალეგირებელი ნივთიერებებია: სილიციუმი-(C), მანგანუმი-(Γ), სპილენძი-(D), ქრომი-(X), ნიკელი-(H), ვანადიუმი-(Φ), მოლიბდენი-(M), ალუმინი-(IO), აზოტი-(A).

ფოლადი შეიძლება მიღებული იქნას მარტენის ღუმელებში ან კონვერტერული წესით. აქედან საუკეთესო ხარისხისაა მარტენის ფოლადები. მაგრამ ეს ფოლადები, სხვა წესით დამზადებულ ფოლადებთან შედარებით, ძვირია. ამჟამად კონვერტერული ფოლადების გამოდნობის ტექნოლოგიის სრულყოფის შედეგად კონვერტერული ფოლადების ხარისხი, თითქმის, უახლოვდება მარტენის ფოლადების ხარისხს.

ფოლადის ჩამოსხმა ციციხეებიდან (განჯანგვა) შესაძლებელია მოხდეს სამი წესით:

1. მდულარე-*КП* (*Кипящий*);
2. მშვიდი-*СП* (*Спокойный*);
3. ნახევრად მშვიდი-*ПС* (*Полуспокойный*);

პირველ შემთხვევაში მდულარედ (*КП*) მიღებული ფოლადის ხარისხი არის შედარებით დაბალი (აქვს მანე მინარეები), ამასთან მისი ფასიც არის შესაბამისად ნაკლები. მშვიდი ფოლადი (*СП*) არის უფრო მაღალი ხარისხის (მას აქვს ნაკლები მინარეები), მაგრამ მისი ფასიც არის ასევე შედარებით მაღალი. ნახევრადმშვიდი (*ПС*) წესით მიღებულ ფოლადებს უკავიათ ზემოთ ჩამოთვლილი ხერხებით მიღებულ ფოლადებს შორის შუალედური მდგომარეობა.

საპასუხისმგებლო ფოლადის კონსტრუქციებისათვის და საერთოდ ისეთ კონსტრუქციაში, სადაც ნიშანცვლადი და ვიბრაციული ძალების გავლენა დიდია, როგორც წესი, იყენებენ „მშვიდ“ ფოლადებს. ნაკლებად საპასუხისმგებლო კონსტრუქციებში-„ნახევრად მშვიდსა“ და „მდულარე“ ფოლადებს.

ყველა ფოლადს, რომელიც დამზადებულია ქარხნული წესით გააჩნია მარკა. *ГОСТ 380-88\**-ის მიხედვით ფოლადის მარკის აღნიშვნაში ნაჩვენებია დანიშნულების ჯგუფი, განჯანგვის ხერხი და კატეგორია მაგ: *Вст3Пс6* ფოლადის მარკის პირველი ასო შეიძლება იყოს *A, B* ან *B* და თუ მარკის პირველი ასოა *A* ეს ნიშნავს, რომ ქარხნის მიერ უზრუნველყოფილია ფოლადის მხოლოდ მექანიკური მახასიათებლები. თუ მარკის პირველი ასო

არის  $B$ , ეს ნიშნავს რომ ქარხნის მიერ უზრუნველყოფილია ფოლადის მხოლოდ ქიმიური თვისებები, ხოლო თუ მარკის წინ დგას  $B$  ეს ნიშნავს, რომ ქარხნის მიერ უზრუნველყოფილია, როგორც ქიმიური ისე მექანიკური თვისებები. სამშენებლო კონსტრუქციებში ძირითადად გამოიყენება  $B$  ჯგუფის ფოლადები.

მარკის შემდეგი ასო  $CT$  არის ფოლადის რუსული დასახელების (*сталы*)-ის შემოკლება. მომდევნო ციფრი კი გვიჩვენებს ფოლადის მექანიკური და ქიმიური მაჩვენებლების შესაბამის რიგით ნომერს (0, 1, 2, 3, 4, და ა. შ).

შემდგომი აღნიშვნა ( $ПС$ ) გვიჩვენებს ფოლადის განუანგვის ხარისხს. მომდევნო აღნიშვნა (6) გვიჩვენებს ფოლადის კატეგორიას, რომელიც დადგენილია მცირენახაშირბადიანი ფოლადებისათვის დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდისას. როცა წერია კატეგორია 1,2 ეს ნიშნავს, რომ დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდებს არ ატარებენ, 3-ატარებენ როცა  $e = +20^{\circ}C$  4-როცა  $t = -20^{\circ}C$  5-როცა  $t = -20^{\circ}C$  და მექანიკური დაძველების შემდგომ, 6-მექანიკური დაძველების შემდგომ (იხ. ცხრ. 1.1).

ცხრილი 1.1

ფოლადის კატეგორია, რომელიც დამოკიდებულია დარტყმით სიბლანტეზე

ფოლადის კატეგორია	გამოცდის ჩატარება დარტყმით სიბლანტეზე		
	$^{\circ}C$ ტემპერატურისას		მექანიკური დაძველების შემდგომ
	+20	-20	
2	-	-	-
3	+	-	-
4	-	+	-
5	-	+	+
6	-	-	+

თუ ფოლადები შეიცავენ მანგანუმის გადიდებულ რაოდენობას ( $\Gamma > 0,25\%$ ), მაშინ მარკის რიგითი ნომრის შემდეგ იწერება ასო  $\Gamma$ . მაგ:  $Bcm3\Gamma nc5$ .

ამჟამად ფოლადების თერმული დამუშავების შედეგად შესაძლებელია მათი სიმტკიცის ამაღლება, ამიტომ ასეთი ფოლადების აღმნიშვნელ მარკაში დამატებული არის ასო  $T$  მაგ:  $Bcm3Tnc$

ფოლადების მარკები დაყოფილია ასევე სიმტკიცის ორ ჯგუფად. სიმტკიცის ჯგუფის ნომერი იწერება ფოლადის კატეგორიის შემდეგ მაგ:  $Bcm3Tnc6-1$   $Bcm3Tnc6-2$  (იხ. დან. 4,5)

ГОСТ27272-88-ის მიხედვით გაგლინული ფასონები მზადდება C235, C245, C275, C285, C345K, C375 მარკის. აქ ასო C აღნიშნავს სამშენებლო ფოლადს (*сталь строительная*) ფოლადს, ხოლო შემდგომი ციფრი დენადობის ზღვარს მპა-ებში. K არის ქიმიური შემადგენლობის ვარიანტი.

ქვემოთ მოყვანილია სამშენებლო ფოლადის ზოგიერთი ფიზიკური მაჩვენებლები:

მოცულობითი წონა  $\gamma = 78,5$  კნ/მ<sup>3</sup>.

დრეკადობის მოდული  $E = 2,06 \cdot 10^4$  კნ/სმ<sup>2</sup>.

ძვრის მოდული  $G = 8,4 \cdot 10^3$  კნ/სმ<sup>2</sup>.

ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი  $\alpha = 0,000012$ .

ფოლადის მარკის მიხედვით ნორმების ცხრილებიდან ვიღებთ მის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს (საანგარიშო წინაღობები)-დან 5.

12. ფოლადის მუშაობა ერთჯერადი გაჭიმვის დროს და ფოლადის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა. ფოლადის რღვევა პლასტიკური დეფორმაციების ხარისხის მიხედვით შესაძლებელია იყოს მყიფე ან პლასტიკური.

მყიფე რღვევა ხდება გაწყვეტის გზით (ნახ. 13,ა), შეუმჩნეველი დეფორმაციებით, მოულოდნელად. პლასტიკური დეფორმაცია წარმოადგენს ძვრის შედეგს (ნახ. 13,ბ) და მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი დეფორმაციებით, რომლებიც შეიძლება იქნას დროულად შემჩნეული, ამიტომ ნაკლებად საშიშია.

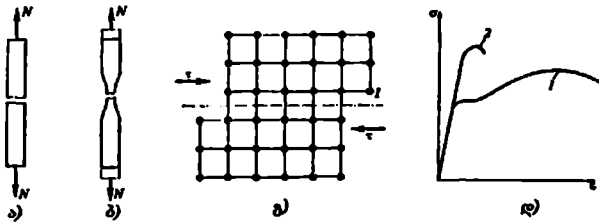
ერთი და იგივე მასალა მუშაობის პირობების მიხედვით შეიძლება დაირღვეს, როგორც მყიფედ ისე პლასტიკურად.

გაგლეჯისას ირღვევა ატომებს შორის არსებული კავშირები. ვიცით რა ატომური შეჭიდულობის ძალები, შეიძლება განსაზღვრული იქნას გაგლეჯისას კრისტალის სიმტკიცე. დაახლოებით ფოლადის თეორიული სიმტკიცე შეადგენს 3300 კნ/სმ<sup>2</sup>.

კრისტალის ერთი ნაწილის მეორე ნაწილის მიმართ ძვრა, არის მნიშვნელოვნად ადვილი, მხოლოდ ამ შემთხვევაში გადაადგილებისათვის საჭირო მხები ძაბვები (ნახ. 13,გ) შეადგენენ დაახლოებით 1300 კნ/სმ<sup>2</sup>, რაც გაცილებით დიდია რეალურ ფოლადებში დენადობის ზღვარზე.

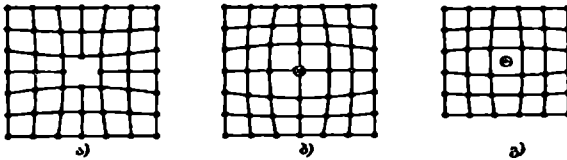
ფოლადის სიმტკიცე, რომელიც ახლოს დგას თეორიულთან, შეიძლება მიღწეული იქნას ლაბორატორიულ პირობებში. მაგალითად ფოლადის წვრილი მავთულის სიმტკიცე შეიძლება

იყოს  $400 \text{ კნ/სმ}^2$ , ხოლო სამშენებლო ფოლადების სიმტკიცე არ აღემატება  $100 \text{ კნ/სმ}^2$ . სხვაობა თეორიულ და რეალურ სიმტკიცეებს შორის აიხსნება კრისტალური სტრუქტურის დეფექტებით.



ნახ. 13. რღვევის ტიპები:

ა) გაწევეტა; ბ)ჭრა; გ) ატომის შრეების გადაადგილება ძერისას; 1-დაცურების სიბრტყე დ)მასალის მუშაობის დიაგრამა; 1-პლასტიკური რღვევა; 2-მყიფე რღვევა



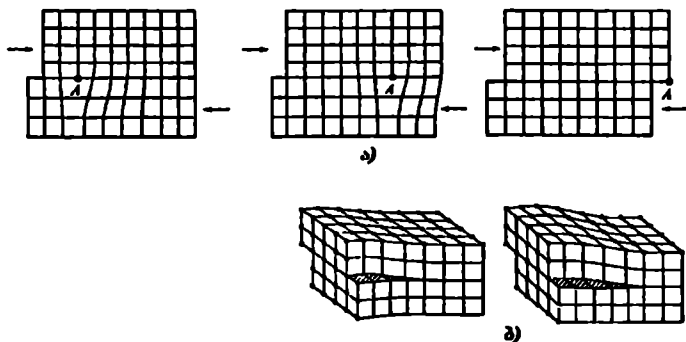
ნახ. 14. კრისტალური მესერის წერტილოვანი დეფექტები: ა) ვაკანსია; ბ) ატომის ჩანაცვლება; გ) ატომის ჩანერგვა.

ასხვაევენ კრისტალური სტრუქტურის ოთხი ტიპის დეფექტს: წერტილოვანს (ნახ. 14), ხაზობრივს (ნახ. 15), ზედაპირულს და მოცულობითს.

წერტილოვან დეფექტებს მიეკუთვნება: მესერის კვანძში ატომის არარსებობა-ვაკანსია (ნახ. 14,ა), მესერში უცხო ატომის არსებობა (ნახ. 14,ბ), მაგ. ძირითადი ატომის მალეგირებელი ელემენტით შეცვალა და როდესაც ატომი კვანძში არ არის განლაგებული (ნახ. 14,გ).

ფოლადის მექანიკურ თვისებებზე ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს კრისტალური სტრუქტურის ხაზობრივი დეფექტები, რომლებსაც დისლოკაციებს უწოდებენ. ისინი შეიძლება იყოს ნაპირა ან ხრახნული (ნახ. 15,ა,ბ). ფოლადის ნიმუშზე ძალის მოდებისას ხდება ამ დეფექტების გადაადგილება. მოდებული ძალა, რომელიც ახდენს ამ დეფექტების გადაადგილებას არ არის აუცილებელი იყოს ძალიან დიდი. ის გაცილებით ნაკლებია

ატომური შეჭიდულობის ძალებზე. ფოლადის დენადობა სწორად ამ მოვლენით-დისლოკაციების გადაადგილებით აიხსნება.



ნახ. 15. ა) ნაპირა დისლოკაცია  
ბ) ხრახნული დისლოკაცია

ფოლადის მექანიკური თვისებების მაჩვენებლად მიღებულია მისი დენადობის ზღვარი ( $\sigma_y$ ), დროებითი წინაღობა ( $\sigma_u$ ), ფარდობითი წაგრძელება ( $\epsilon$ ) და დარტყმითი სიბლანტე.

დროებითი წინააღობით ისაზღვრება ფოლადის სიმტკიცე, დენადობის ზღვრით და ფარდობითი წაგრძელებით-ფოლადის დრეკად-პლასტიკური თვისებები, დარტყმითი სიბლანტით-მყიფე რღვევისადმი წინააღმდეგობის უნარი. როგორც ცდებით დამტკიცდა, ფოლადისათვის გაჭიმვის, კუმშვისა და ღუნვის შესაბამისი მექანიკური მაჩვენებლები თითქმის ერთი და იგივეა, რის გამოც ფოლადის სიმტკიცის ზღვრის დადგენა წარმოებს მისი ერთჯერადი გაჭიმვით, ხოლო დადლილობითი ზღვრისა-მრავალჯერადი გაჭიმვით.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ფოლადის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები ჩაატაროთ შემდეგი ცდა. ავიღოთ ფოლადის ელემენტი და გაგვიშოთ  $N$  ძალით. იმისათვის რომ განვსაზღვროთ ამ ღეროს დეფორმაცია დავაკრათ მასზე ტენზოგადამწოდები. მოდებული  $N$  ძალის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს მანომეტრის საშუალებით ან დინამომეტრით. დაეიწყოს ფოლადის ღეროს ეტაბობრივი გაჭიმვა. დინამომეტრით გაზომილი ძალისა და ტენზოგადამწოდებით აღრიცხული დეფორმაციების სიდიდეები შევიტანოთ აღრიცხვის ქურნალში და შემდგომ დაეიტანოთ კორდინატთა ღერძებზე. აბცისთა ღერძზე

გადავზომოთ ფარდობითი დეფორმაციები  $\varepsilon$ , ხოლო ორდინატთა ღერძზე მისი შესაბამისი ძაბვები  $\sigma$ .

აღნიშნოთ ღეროს საწყისი სიგრძე  $l$ -ით. გაჭიმვის შემდგომ მისი სიგრძე გახდება  $l_1$ . მაშინ დეფორმაცია ტოლი იქნება  $\Delta l = l_1 - l$ . თუ ამ ტოლობის ორივე მხარეს გავყოფთ საწყის სიგრძეზე ( $l$ -ზე) მივიღებთ  $\varepsilon$  ფარდობით დეფორმაციას.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_1 - l}{l}$$

როგორც ვიცით ძაბვის სიდიდე ტოლია ძალა გაყოფილი განივკვეთის ფართობზე  $\sigma = N/A$ . ჩვენს შემთხვევაში  $N$ -ს ავიღებთ დინამომეტრის ჩვენებიდან, ხოლო  $A$ -ს ღეროს განივკვეთის ფართობის გაზომვით. თუ გამოცდის შედეგებს აღერიცხაეთ სპეციალურ ჟურნალში და მის მიხედვით ავაგებთ ძაბვა-დეფორმაციის დამოკიდებულების გრაფიკს შივილებთ მცირენახშირბადიანი ფოლადის გაჭიმვა-კუმშვის დიაგრამას. დიაგრამიდან ჩანს, რომ თავდაპირველად ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის დამოკიდებულება პროპორციულია, წრფივია (ნახ. 1.6. უბანი ა-ბ). ამ უბნის შესაბამის ზღვარს ეწოდებენ პროპორციულობის ზღვარს ის აღნიშნოთ  $\sigma_{el}$ -ით. ამ უბანში სამართლიანია ჰუკის კანონი  $\sigma = \varepsilon E$ . ამ უბნიდან განტვირთვა მიმდინარეობს ყოველგვარი ნარჩენი დეფორმაციების გარეშე.

დატვირთვის შემდგომი გაზრდისას დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის ხდება მრუდწირული (ნახ. 1.6. უბანი ბ-გ) მის შესაბამის ზღვარს ეწოდება დრეკადობის ზღვარი და აღინიშნება  $\sigma_{pl}$ -ით. მართალია აქაც განტვირთვა მიმდინარეობს ყოველგვარი ნარჩენი დეფორმაციების გარეშე, ოღონდ იმ განსხვავებით, რომ დატვირთვის მრუდი არ ემთხვევა განტვირთვის მრუდს.

დრეკადობის ( $\sigma_{pl}$ ) და პროპორციულობის ზღვრების ( $\sigma_{el}$ ) მნიშვნელობებს შორის განსხვავება იმდენად მცირეა, რომ პრაქტიკულად დრეკადობის ზღვარს ღებულობენ პროპორციულობის ზღვრად. დატვირთვის შემდგომი გაზრდისას მივალწევთ სიდიდეს, რომლის დროსაც ძაბვების გაუზრდელად ხდება დეფორმაციების მნიშვნელოვანი გაზრდა ამ უბანს დენადობის უბანი ეწოდება (ნახ. 1.6 უბანი დ-ე), ხოლო მის შესაბამის ძაბვას დენადობის ზღვარი  $\sigma_y$ .

ამ უბნის შემდგომ ფოლადი ისევე აღიდგენს წინააღმდეგობის უნარს და ძაბვების გაზრდის შესაბამისად ხდება დეფორმაციების

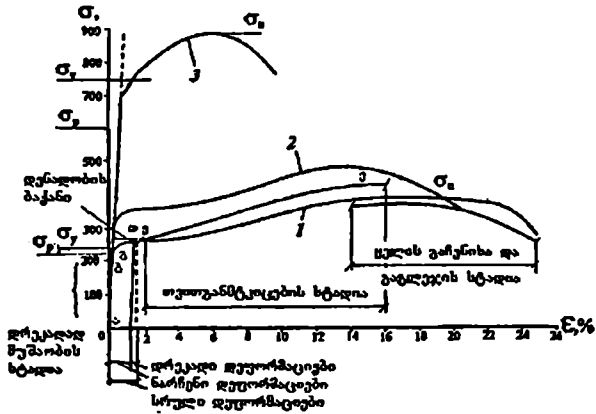
გაზრდა (ნახ. 1.6. უბანი ე-ე). საბოლოოდ, ფოლადი ველარ გაუძლებს დატვირთვის ზრდას და გაწყდება. მის შესაბამის ზღვარს დროებითი წინაღობა ეწოდება  $\sigma_u$ . რადგან რღვევის მომენტში, ძაბვისა და დეფორმაციის ექსპერიმენტული განსაზღვრა დაკავშირებულია სიძნელეებთან, ამიტომ პირობით, ფოლადის სიმტკიცის ზღვრად მიღებულია გრაფიკზე ნაჩვენები "ე" წერტილის შესაბამისი ძაბვა. რაც მეტია მასალის დროებითი წინაღობა ( $\sigma_u$ ), მასალა მით უფრო მტკიცეა, ხოლო რაც მეტია მისი დენადობის ზღვარი ( $\sigma_y$ ) და ფარდობითი წაგრძელება ( $\epsilon$ ), მასალა მით უფრო პლასტიკურია. იმ კუთხის ტანგენსს, რომელსაც ადგენს გრაფიკის წრფივი უბანი თარაზულ ღერძთან, ეწოდება ფოლადის დრეკადობის მოდული  $E = \epsilon \alpha$ . ეს მოდული ცვალებადია ფოლადის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში და გაანგარიშებებისას გამოიყენება მკვეთი, მხები ან სხვა სახის მოდული (ნახ. 1.7, გ).

როგორც ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამიდან ჩანს, ფოლადის ელემენტების ძაბვების გამოსათვლელ ფორმულებს, თითქოს, საფუძვლად უნდა დაედოს გაჭიმვის ფაქტობრივი დიაგრამა, ხოლო სიმტკიცის ზღვრად მიღებული უნდა იქნეს მისი დროებითი წინაღობა. მაგრამ ამ მიზნისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ ანალიზური დამოკიდებულება  $\sigma$ -სა და  $\epsilon$ -ს შორის. ასეთი დამოკიდებულება პროპორციულობის ზღვრამდე გამოიხატება ჰუკის კანონით  $\sigma = E\epsilon$ , პროპორციულობის ზღვრის ზემოთ კი  $\sigma$ -სა და  $\epsilon$ -ს შორის ზუსტი მათემატიკური დამოკიდებულების დადგენა თითქმის შეუძლებელია. ამიტომ მიმართავენ ერთგვარ გამარტივებას.

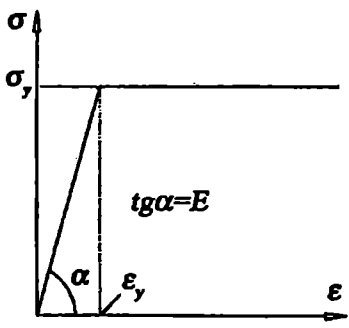
გულისხმობენ, რომ დენადობის ზღვრამდე მასალა (ნახშირბადმცირე ფოლადები) მუშაობს როგორც იდეალურად დრეკადი სხეული, დენადობის ზღვრის ზემოთ კი—როგორც იდეალურად პლასტიკური სხეული (ნახ. 1.8). ასეთ დიაგრამას ფოლადის იდეალურ დრეკად-პლასტიკურ დიაგრამას უწოდებენ. იგი წარმოადგენს დრეკად-პლასტიკურ არეში მომუშავე ელემენტების გაანგარიშების თეორიის ძირითად საფუძველს. ამ დიაგრამის მიხედვით მასალის სიმტკიცის ზღვრად მიღებულია მასალის დენადობის ზღვარი ( $\sigma_y$ ).

როგორც ცდებით გამოირკვა, მაღალი სიმტკიცის მქონე ფოლადებს დენადობის უბანი აქვთ მცირე ან საერთოდ არ გააჩნიათ. დამოკიდებულება ძაბვასა ( $\sigma$ ) და ფარდობით წაგრძელებას ( $\epsilon$ ) შორის მრუდწირულია (ნახ. 1.6, 1.7).

თეორიულად თვლიან, რომ სანამ ძაბვა არ გადაცილდება  $\epsilon=0,2\%$ -ის შესაბამის ძაბვას, განსხვავება მრუდსა და წრფეს შორის იმდენად მცირეა, რომ ამ უბანზე მრუდი შეიძლება შეცვლილ იქნეს წრფით. პირობით, სწორხაზოვანი უბნის ზედა ზღვარი ( $\sigma_y$ ) მიღებულია მაღალი სიმტკიცის მქონე ფოლადების დენადობის ზღვრად.

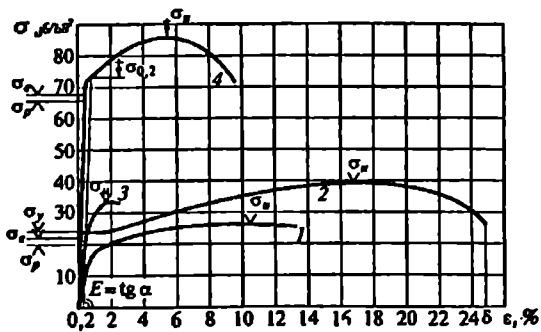


ნახ. 16. ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამა: 1-ჩვეულებრივი სიმტკიცის ფოლადი; 2-ამაღლებული სიმტკიცის ფოლადი; 3-მაღალი სიმტკიცის ფოლადი.

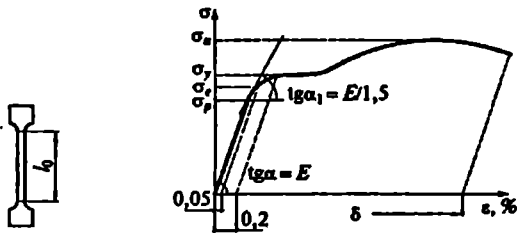


ნახ. 18. ფოლადის იდეალური დრეკად-პლასტიკურ დიაგრამა (პრანდტლის დიაგრამა)





ა)



ბ)

გ)

ნახ. 17. ლითონის მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა;

- ა) ლითონების გაჭიმვის დიაგრამები; ბ) გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუში;  
 გ) პროპორციულობის ზღერისა და დრეკადობის ზღერის განსაზღვრა;  
 1-ალუმინის შენადნობი; 2-მცირენახშირბადიანი ფოლადი; 3-თუჯი;  
 4-მაღალი სიმტკიცის ფოლადი.

ამრიგად, თანამედროვე გაანგარიშებით სამშენებლო ფოლადების სიმტკიცის ზღერად მიღებულია მისი დენადობის ზღვარი ( $\sigma_y$ ) ან დროებითი წინაღობა ( $\sigma_u$ ).

ასეთი ცდებით მიღებული ძაბვების მნიშვნელობებს ეწოდებათ ძაბვების ნორმატიული მნიშვნელობები.

კონსტრუქციების გაანგარიშებისას კვეთში აღზრული ძაბვები შედარებული უნდა იქნას და არ უნდა აღემატებოდეს დენადობის ზღვარს ( $\sigma_y$ ).

გაანგარიშების გამარტივების მიზნით მასალის დრეკად-პლასტიკურ არეში მუშაობისას ფოლადის მუშაობის ( $\sigma - \epsilon$ ) დიაგრამა შეიძლება შეიცვალოს იდეალიზებული დიაგრამით (პრანდტლის დიაგრამით) (ნახ. 1.8).

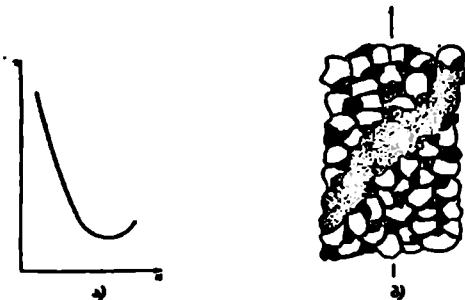
ამ დიაგრამის მიხედვით მასალის მუშაობა OA წრფეზე ექვემდებარება ჰუკის კანონს ( $\sigma = E\epsilon$ ); AB წრფეზე ხდება

მასალის დეფორმაციების შეუზღუდავი განვითარება (დენადობის ბაქანი) მუდმივი  $\sigma$ , ძაბვებისას, მას დენადობის ზღვარი ეწოდება.

ქვემოთ მოყვანილია ფოლადის კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალების ფიზიკური მახასიათებლების ცხრილი.

ცხრილი. 1.1.

მახასიათებლები	პირობითი აღნიშვნა	განზომილების ერთეული	გაგლინული ფოლადი	თუჯი
მოცულობითი წონა (სიმკვრივე)	$\gamma$ ( $\rho$ )	კნ/სმ <sup>3</sup> კგ/სმ <sup>3</sup>	$7,85 \cdot 10^3$ ( $7,85 \cdot 10^3$ )	$7,2 \cdot 10^3$ ( $7,2 \cdot 10^3$ )
ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი	$\alpha$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	$0,12 \cdot 10^{-4}$	$0,1-0,12 \cdot 10^{-4}$
დრეკადობის მოდული	$E$	ნ/სმ <sup>2</sup>	$2,06 \cdot 10^4$	$0,83 \cdot 10^4-1,3 \cdot 10^4$
ძერის მოდული	$G$	ნ/სმ <sup>2</sup>	$0,81 \cdot 10^4$	$0,36 \cdot 10^4-0,5 \cdot 10^4$
განივი დეფორმაციის მოდული	$\nu$		0,3	0,25-0,35

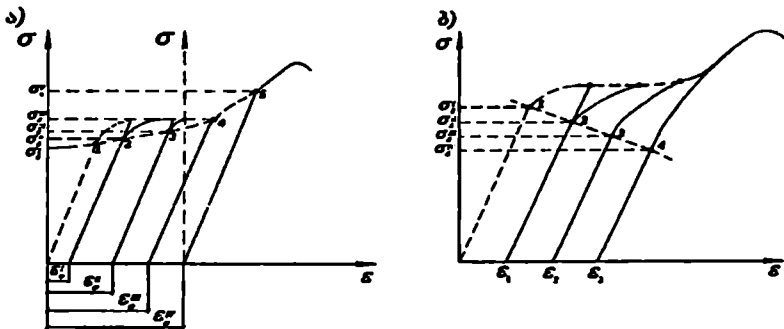


ნახ. 19. ა) ძერის ძაბვების დამოკიდებულება დისლოკაციის სიმკვრივეზე ბ) ფოლადის მიკროსტრუქტურა ძერის სიბრტყის მდებარეობის ადგილას

13. ფოლადის მუშაობა მრავალჯერადი დატვირთვისას. თუ ფოლადის ნიმუშებს გაეჭიმავეთ და პროპორციულობის ზღვრის ზემოთ განეტვირთავეთ, განტვირთვის დიაგრამას ექნება წრფივი სახე (ნახ. 1.10). ეს იმის მაჩვენებელია, რომ განტვირთვა წარმოებს დრეკადად. განტვირთვიდან რამდენიმე ხნის შემდეგ, ნიმუშის ხელმეორედ გაჭიმვისას, ფოლადის პროპორციულობის ზღვარი დიდდება, ხოლო ფარდობითი დეფორმაცია-მცირდება, ანუ ხდება მასალის დრეკადი თვისებების გაზრდა (ნახ. 1.10,ა). ფოლადის მრავალჯერადი, ხანგამოშვებითი დატვირთვის შემდეგად მასალა

ირღვევა უფრო ნაკლები ფარდობითი წაგრძელების დროს, ვიდრე ერთჯერადი გაჭიმვის შემთხვევაში. მასალის ამ თვისებას მასალის სიმყიფე ეწოდება.

მასალის სიმყიფე წარმოადგენს მის უარყოფით მხარეს. სიმყიფეს ადგილი აქვს ელემენტების მოღუნვის შემთხვევაში, ფოლადის ფურცლების მაკრატლით ჭრის დროს, სამოქლონო ნახერტების დამზადებისას და სხვ. ამ მოვლენათა თავიდან აცილების მიზნით მიმართავენ სპეციალურ ღონისძიებებს. ანალოგიურ მოვლენას აქვს ადგილი ფოლადის ხანგრძლივი დროით მუშაობის შემდეგაც. როგორც გამოირკვა, დროთა განმავლობაში ფოლადის მექანიკური თვისებები იცვლება, რაც გამოიხატება დრეკადობის ზღერის გადიდებაში და პლასტიკური დეფორმაციების შემცირებაში. ფოლადის ამ თვისებას ფოლადის დაძველება ეწოდება. ფოლადის დაძველება ხდება მისი (70-80) წლის მუშაობის შემდეგ, ამიტომ ფოლადის ეს თვისება კონსტრუქციისათვის საშიში არ არის.



ნახ. 1.10. ფოლადის მუშაობა მრავალჯერადი დატვირთვის შემთხვევაში.

- ა)-ხანგამოშვებითი დატვირთვა-განტვირთვის დიაგრამა;
- ბ)-უწყვეტი დატვირთვა განტვირთვის დიაგრამა

როგორც მრავალი ექსპერიმენტით დამტკიცდა, ფოლადის მრავალჯერადი დატვირთვა-განტვირთვის შემდეგად, მასალის როგორც პროპორციულობის, ისე დენადობის ზღვარი მცირდება, ხოლო ნარჩენი დეფორმაციები იზრდება (ნახ. 1.10, ბ). ფოლადის ამ თვისებას ფოლადის დაღლილობა ეწოდება. მასალის დაღლილობის შემდეგად ელემენტის რღვევა ხდება უფრო ნაკლები საანგარიშო წინააღობის დროს, ვიდრე ერთჯერადი გაჭიმვის

შემთხვევაში. ასეთ მოვლენას ვხდებით ვიბრაციული ან სეისმური დატვირთვების მოქმედებისას.

ძაბვის მნიშვნელობას, რომლის დროსაც, რა ხანგრძლივადაც არ უნდა მოქმედებდეს მრავალჯერადი დატვირთვა, მასალის რღვევა არ მოხდება, მასალის დაღლილობის ზღვარი ან გამძლეობის ზღვარი ეწოდება. დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში, ფოლადის გამძლეობის ზღვარი გამოითვლება ფორმულით

$$R_{\gamma\sigma} = \alpha R_v \gamma_v \quad (1.1)$$

სადაც  $\alpha, \gamma_v$  არის კოეფიციენტები და განისაზღვრება ტექნიკური ნორმებისა და პირობების მითითებების მიხედვით (CHuII - 23 - 81\*).

$R_v$ -არის დაღლილობის საანგარიშო წინაღობა. მისი რიცხვითი მნიშვნელობაც აიღება CHuIII - 23 - 81\* -დან.

იმის შემდეგ, როდესაც განსაზღვრული იქნება  $R_{\gamma\sigma}$ , ელემენტების სიმტკიცის შემოწმება ვიბრაციულ გამძლეობაზე წარმოებს ფორმულით

$$\sigma_{\max} \leq R_{\gamma\sigma} \quad (1.2)$$

ხოლო მყიფე რღვევაზე-ფორმულით

$$\sigma_{\max} \leq \beta \frac{R_v}{\gamma_v} \quad (1.3)$$

სადაც  $\sigma_{\max}$  არის ძაბვის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობა, გამოთვლილი დინამიკურობის, გრძივი ღუნვისა და ექსცენტრული კუმშვის ძაბვის შემამცირებელი კოეფიციენტების გაუთვალისწინებლად.

$\beta$ -კოეფიციენტი, აიღება CHuIII - 23 - 81\* -დან.

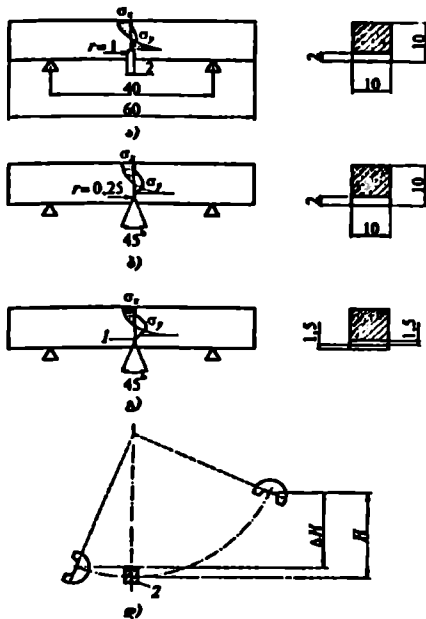
(1.2) ფორმულით გაანგარიშების დროს  $R_{\gamma\sigma}$  არ უნდა იქნეს

მეტი  $R_v, \gamma_v$ -ზე.

1.4. დარტყმითი სიბლანტე- როგორც აღვნიშნეთ, ვიბრაციული დატვირთვების შემოქმედებით, ძაბვათა კონცენტრაციის შედეგად, უარყოფითი ტემპერატურის ზეგავლენით და სხვა ფაქტორებით, ფოლადის რღვევა შეიძლება მოხდეს, როგორც მყიფე მასალისა.

ფოლადის სიმყიფისადმი წინააღმდეგობის უნარს ამოწმებენ დარტყმითი მაჩვენებლებით.

ფოლადის სიბლანტეს უწოდებენ მუშაობას, რომელიც იხარჯება ჩატრილი სტანდარტული ნიმუშის დასარღვევად, დარტყმით გამოწვეული ღუნვის ზეგავლენით. გამოცდის გამძაფრების და ძაბვათა კონცენტრაციის გაზრდის მიზნით



ნახ. 1.11. დარტყმით სიბლანტეზე გამოსაცდელი ნიმუშების ტიპები: ა)  $U$ -სებრად ჩაჭრილი ნიმუში; ბ)  $V$ -ებრად ჩაჭრილი ნიმუში; გ) ბზარიანი ნიმუში; დ) გამოცდის სქემა: 1-ბზარი; 2-ნიმუში.

ახდენენ ნიმუშის სხვადასხვა სახით ჩაჭრას ( $U$ -სებრად ან  $V$ -ებრად) ან ნიმუშს უკეთებენ ბზარს. ჩაჭრის ადგილას ძაბვები მნიშვნელოვნად იზრდება, რისი მიზეზით ღითონი გადაადის მყიფე მდგომარეობაში.

სტანდარტული ნიმუშის ზომები ნაჩვენებია 1.11. ნახაზზე. ნიმუშის სიბლანტეს ისაზღვრება ფორმულით

$$\alpha = \frac{Q}{A_n} \quad (1.4)$$

სადაც  $Q$  არის ნიმუშის რღვევაზე დახარჯული მუშაობა;

$A_n$ -ნიმუშის განიკვეთის ჩაჭრით შესუსტებული (ნეტო) ფართობი.

უარყოფითი ტემპერატურის მიხედვით, სხვადასხვა კლასის ფოლადებისათვის დარტყმითი სიბლანტის ნორმატიული მნიშვნელობები მოცემულია I დანართის მეორე ცხრილში [15].

15. ალუმინის შენადნობები. უკანასკნელ ხანებში, განსაკუთრებით დიდმალიან კონსტრუქციებში ალუმინის შენადნობებმა ფართო გავრცელება მოიპოვა. ეს, უპირველეს ყოვლისა, აიხსნება ამ მასალის საკმაო სიმტკიცით, სიმსუბუქითა და კოროზიამდეგობით. ალუმინის შენადნობების მოცულობითი მასა საშუალოდ  $\gamma = 27,00$  კნ/მ<sup>3</sup>. იგი თითქმის სამჯერ უფრო მსუბუქია ფოლადზე ( $\gamma_{\text{ფ}} = 78,5$  კნ/მ<sup>3</sup>). ამავე დროს, მისი დრეკადობის მოდული ( $E_s = 71000$  მპა) თითქმის სამჯერ ნაკლებია ფოლადის დრეკადობის მოდულზე. რადგან  $E_s < E_{\text{ფ}}$ , ამიტომ ერთსა და იმავე პირობებში, ალუმინის კონსტრუქციებში დეფორმაციების მნიშვნელობები გაცილებით მეტია, ვიდრე ფოლადის კონსტრუქციებში.

ალუმინის კონსტრუქციების დიდი დეფორმაციულობა წარმოადგენს მის უარყოფით მხარეს. ალუმინის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი  $\alpha = 0,000023$ . სუფთა ალუმინის მცირე სიმტკიცის (75+90 მპა) და დიდი ფარდობითი წაგრძელების ( $\epsilon = 40 \div 60\%$ ) გამო, მას სამშენებლო კონსტრუქციებში არ იყენებენ. ალუმინის სიმტკიცის გასაზრდელად მიმართავენ ხელოვნურ განმტკიცებას. განმტკიცება წარმოებს ორი გზით.

1. ლეგირებით-ალუმინის შედუღებით სხვა ლითონებთან, რომლებიც ადიდებენ მის სიმტკიცეს;

2. თერმული დამუშავებით ან ბუნებრივი (ან ხელოვნური) დაძველების გზით.

განმტკიცების აღნიშნული ხერხებით მიიღება სხვადასხვა მარკის ალუმინის შენადნობები.

ლითონების კონსტრუქციებში გამოიყენება შემდეგი მარკის ალუმინის შენადნობები.

1. ალუმინის შენადნობები მაგნიუმთან  $AMr6-M$  და  $AMr61-M$ .

ასეთი სახის შენადნობებს ხშირად მაგნალებს უწოდებენ. მაგნალები ხასიათდებიან კარგი საშემდუღებლო თვისებებით. კოროზიამდეგია. მისი სიმტკიცის ზღვარი (საანგარიშო წინაღობა) რამდენადმე ნაკლებია ფოლადის სიმტკიცეზე (ცხრ. 12). მაგნალები ძირითადად გამოიყენება შედუღებულ ალუმინის კონსტრუქციებში.

2.

შენადნობებს სპილენძთან და მაგნიუმთან  $D1=T$  და  $D16=T$  ეწოდება დიურალუმინები. დიურალუმინი ძნელი შესადუღებელია, მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით მიდრეკილება აქვს ბზარების გაჩენისკენ. ამიტომ დიურალუმინებს უმთავრესად მოქლონურ კონსტრუქციებში იყენებენ.

3. ალუმინის შენადნობები მაგნიუმთან და კაუთან (სილიციუმთან)  $AB = T1$ ,  $AD31 = T1$ ,  $AD33 = T1$  და სხვ. ასეთი სახის შენადნობებს ავიალებს უწოდებენ.  $AB = T1$  მარკის ავიალი, მაგნიუმისა და კაუის გარდა, დამატებით შეიცავს სპილენძსაც და ხასიათდება რამდენადმე დაქვეითებული კოროზიამდებლობით.

ცხრილი 12.

ალუმინიანი შენადნობების მექანიკური თვისებები და საანგარიშო წინაღობები

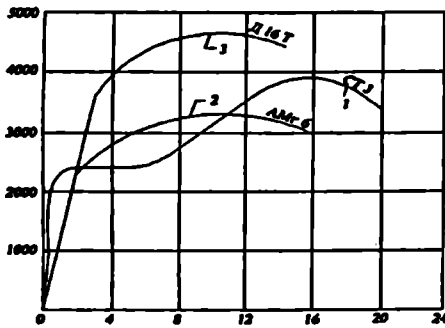
შენადნობის მარკა	პირობითი დენადობის ზღვარი $\sigma_{0,2}$ მპა (კნ/სმ <sup>2</sup> )	დროებითი წინაღობა $\sigma_u$ მპა (კნ/სმ <sup>2</sup> )	ფარდობითი წაგრძელება $\epsilon$ (%)	გაჭიმვის, კუმშვისა და ღუნვის საანგარიშო წინაღობა $R_y$ მპა (კნ/სმ <sup>2</sup> )
$AMT61 = M$	275(28)	390(39)	11	180(18)
$AB = T1$	205(22)	300(30)	12	170(17)
$AD33 = T1$	205(23)	270(27)	10	190(19)
$DI = T$	220(22)	380(38)	12	180(18)
$DI6 = T$	280(28)	430(43)	12	250(25)

ზემოთ მოყვანილ ალუმინის მარკებში: ასო  $M$  აღნიშნავს შენადნობის განმტკიცებას დაძველების გზით, ხოლო  $T$  თერმული დამუშავებით.

ალუმინის შენადნობის გაჭიმვის დიაგრამა ნაჩვენებია ნახაზი 1.12-ზე, როგორც ამ დიაგრამიდან ჩანს, ალუმინის შენადნობებს დენადობის ბაქანი არ გააჩნიათ. შენადნობის დენადობის ზღვრად პირობით მიღებულია ძაბვა ( $\sigma_{0,2}$ ), რომლის დროს ნარჩენი ფარდობითი წაგრძელება მთლიანი ფარდობითი წაგრძელების 0,2%-ია.

ალუმინის შენადნობის ნორმატიულ წინაღობად მიიღება  $0,7R_y$  და  $\sigma_{0,2}$  სიდიდეებიდან უმცირესი.  $R_y$  ალუმინის შენადნობის დროებითი წინაღობაა;  $\sigma_{0,2}$  - პირობითი დენადობის ზღვარი.

ალუმინის შენადნობის საანგარიშო წინაღობის დადგენა ხდება იმავე წესით, როგორც ფოლადის საანგარიშო წინაღობისა. სხვადასხვა მარკის ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობა მოყვანილია ცხრილი 12-ში.



ნახ. 1.12. ალუმინის გაჭიმვის გრაფიკი

ცხრილი 13.

ალუმინის შენადნობების ფიზიკური მახასიათებლები

მახასიათებლები	ტემპერატურა, °C	მახასიათებლების შნიშვნელობა
დრეკადობის მოდული $E$ , მპა	-70	$0,735 \cdot 10^5$
	-40_ + 50	$0,7 \cdot 10^5$
	-40_ + 100	$0,64 \cdot 10^5$
ბერის მოდული $G$ , მპა	-70	$0,274 \cdot 10^5$
	-40_ + 50	$0,265 \cdot 10^5$
	-40_ + 100	$0,255 \cdot 10^5$
განივი დეფორმაციების (პუასონის) კოეფიციენტი $\nu$		0,3
წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha$ °C <sup>-1</sup>	-70_ + 100	$0,23 \cdot 10^{-4}$
შენადნობების სიმკვრივე $\rho$ , კგ/მ <sup>3</sup>		2680_2770

1.6. ტემპერატურის გავლენა ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მუშაობაზე. ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მექანიკურ მაჩვენებლებზე ტემპერატურის ცვალებადობა არსებით გავლენას ახდენს.

ტემპერატურის 200<sup>0</sup>-მდე აწვეისას ფოლადის მექანიკური მაჩვენებლები თითქმის არ იცვლება. 200<sup>0</sup>+300<sup>0</sup>-ის ზღვრებში ფოლადი ხდება მყიფე. ტემპერატურის 400<sup>0</sup>-მდე გაზრდისას, მუდმივი ძაბვების (დატვირთვის) გაზრდელად, ფოლადის ელემენტების დეფორმაციები იზრდება, ე.ი. ადგილი აქვს ცოცვადობას.



600<sup>0</sup>-იანი ტემპერატურის დროს ფოლადის პლასტიკურობა მკვეთრად იზრდება და ფოლადი კარგავენ ზიღვის უნარს.

უარყოფითი ტემპერატურის ზეგავლენით ფოლადის როგორც დენადობის, ისე სიმტკიცის ზღვარი იზრდება, ხოლო ფარდობითი დეფორმაცია მცირდება. მის გამო იზრდება ფოლადის სიმყიფისადმი მიდრეკილებაც. ასე, მაგალითად, ნახევრად მშვიდი წესით დამზადებული ნახშირბადმცირე ფოლადები მინუს (30+35<sup>0</sup>C)-ის დროს იქნენ მყიფე თვისებებს. იგივე ფოლადები დამზადებული მშვიდი წესით, მყიფე ხდება 45+50<sup>0</sup>C ტემპერატურისას.

სიმყიფისადმი მიდრეკილების მქონე ფოლადები სამშენებლო კონსტრუქციებში არ დაიშვება; ტ. ნ. და პირობებით თანამედროვე კონსტრუქციებში ფოლადის გამოყენება დასაშვებია, სანამ  $t \leq 200^0$ -ის, ხოლო უარყოფითი ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს (-40-50<sup>0</sup>)-ს. ტემპერატურის გავლენა განსაკუთრებით დიდია ალუმინის შენადნობებზე.

ფოლადისაგან განსხვავებით, 400<sup>0</sup>C ტემპერატურის დროს ალუმინის შენადნობების სიმტკიცე ამოწურულია. როდესაც ტემპერატურა იზრდება 100-300<sup>0</sup>C-მდე, ალუმინის საანგარიშო წინააღობას ამცირებენ სპეციალური კოეფიციენტით.

დაბალი ტემპერატურის დროს ალუმინის შენადნობების სიმტკიცე და პლასტიკურობა უმნიშვნელოდ იცვლება.

როდესაც ხდება ტემპერატურის ცვალებადობა, ლითონების კონსტრუქციების დაცვის მიზნით აუცილებელია:

1. ლითონის კონსტრუქციები დაცული უნდა იქნეს გადახურებისაგან სპეციალური საშუალებებით (ბეტონის ან კერამიკის გარსაცმით და სხვ.).

2. მოეწყოს ტემპერატურული ნაკერები.

3. ლითონის მარკა შერჩეული უნდა იქნეს უარყოფითი ტემპერატურის გათვალისწინებით (იხ. *CHuII II - 23 - 81\**, ცხრ.50.).

1.7. ლითონის კონსტრუქციები და კოროზია. ყველანაირი სახის ლითონის კონსტრუქციები განიცდიან გარემოსაგან გარკვეულ ზემოქმედებას. ეს ზემოქმედება შეიძლება იყო მექანიკური ან ფიზიკო-ქიმიური.

მექანიკური ზემოქმედებები ან დატვირთვები, რომლებიც მოქმედებენ ლითონის კონსტრუქციებზე, აღძრავენ მათში ძაბვებს, რომელთა მნიშვნელობების განსაზღვრა შესაძლებელია მასალათა გამძლეობისა და სამშენებლო მექანიკის ცნობილი მეთოდებით.

ლითონის კონსტრუქციების ექსპლუატაციის ხანმედევობა დამოკიდებულია მასალის სიმტკიცეზე და მუშაობის საექსპლუატაციო პირობებზე, ნაგებობების ხანმედევობის გაზრდა

დამოკიდებულია ძირითადად უფრო მტკიცე მასალის გამოყენებაზე და კონსტრუქციების ახალი რაციონალური გადაწყვეტილებების დანერგვაზე.

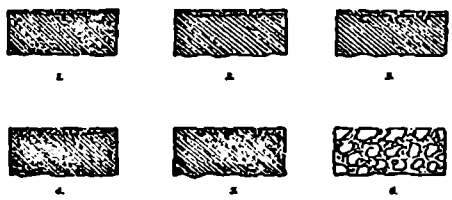
კონსტრუქციულ გადაწყვეტაში იგულისხმება ანტიკოროზიული სამუშაოების ჩატარებაც და მასთან ერთად უსაფრთხოების ტექნიკის პირობების მაქსიმალური დაცვა.

კოროზიის პროცესის მიმდინარეობის სიჩქარე დამოკიდებულია ლითონის ხარისხზე და აგრესიულ გარემოზე.

კოროზიისაგან მასალის რღვევის ძირითადი სახეებია: თანაბარი და ადგილობრივი. კონსტრუქციის (ღეროს) სიმტკიცე განისაზღვრება შესუსტებული განივევების მიხედვით. ყველაზე მეტად სახიფათოა კრისტალშორისი კოროზია. ასეთი კოროზიის დროს კრისტალებს შორის შეღწევისას ლითონის რღვევის პროცესი სწრაფად ვითარდება, რაც შესაბამისად იწვევს კონსტრუქციის რღვევას (ნახ. 1.13).

კრისტალშორის კოროზიას განიცდიან ლითონის სხვადასხვა შენადნობები: სამშენებლო ფოლადები, სპილენძალუმინირებული (დურალუმინი) და სხვა შენადნობები.

სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოიყენება როგორც ლითონის, ისე არალითონური მასალები. მასალები შეიძლება იყოს სილიკატური ან ორგანული



ნახ. 1.13. მასალის კოროზიული რღვევის ტიპები:

- 1-თანაბრად განაწილებული; 2-არათანაბრად განაწილებული;
- 3-სტრუქტურულ-არჩვეუთი; 4-ლაქისებური; 5-წერტილოვანი; 6-კრისტალშორისი.

სამშენებლო კონსტრუქციებში ლითონის გამოიყენებას დიდი ყურადღება ექცევა, განსაკუთრებით აგრესიულ გარემოში, ლეგირებული ფოლადების სახით. ფოლადში უმატებენ მალეგირებულ მასალებს, როგორცაა სპილენძი, ნიკელი, ქრომი და სხვა. ეს მასალები ანიჭებენ ფოლადს კოროზიამდეგობას.

კოროზიის გაერცელების სიჩქარის გამოსათვლელად იყენებენ ე.წ. წონით მეთოდებს. კოროზიის შესაფასებლად საჭიროა გამოეთვალოთ მასალის სიმტკიცის შემცირების ხარისხი.

წონითი მეთოდი დაფუძნებულია საცდელი ნიმუშის წონების სხვაობაზე. მასზე აგრესიული გარემოს მოქმედების შემდეგ.

$$k = \frac{P_0 - P_1}{A} \quad (1.5)$$

სადაც  $P_0$  არის საცდელი ნიმუშის პირველადი წონა;  $P_1$  - საცდელი ნიმუშის წონა კოროზიის შემდეგ;  $A$  - საცდელი ნიმუშის ზედაპირის ფართობი;  $k$  - წონის დანაკარგი გრ/მ<sup>2</sup>.

კოროზიის შეღწევადობა ანუ კოროზიის სიჩქარე იზომება მმ/წდ-ობით და გამოითვლება ფორმულით:

$$\Pi_{\text{მმ/წდ}} = \frac{8,76 \cdot k}{\gamma} \quad (1.6)$$

სადაც  $\gamma$  მასალის მოცულობითი წონაა  $k$  - წონის დანაკარგი გრ/მ<sup>2</sup>;

ლითონის შენადნობის კოროზიული მდგრადობის შეფასება ხდება სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით, ათბალიანი შკალით (იხ. ცხრ. 1.4).

ყოველივე ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ განსაკუთრებულ შემთხვევაში ლითონის კონსტრუქციების მასალად გამოიყენება მაღალლეგირებული ფოლადები, ალუმინის შენადნობები, ტიტანის შენადნობები და სხვა. ეს ძვირად ღირებული მასალები, ანუ მაღალლეგირებული ფოლადები გამოიყენებიან მაღალ აგრესიულ გარემოში. ეს ფოლადები გამოირჩევიან უდიდესი ქიმიური მდგრადობით, რაც ახანგრძლივებს ლითონის კონსტრუქციების საექსპლუატაციო ვადებს.

მდგრადობის ჯგუფი	კოროზიის სიჩქარე მმ/წელიწადში	ბალი
1. მდგრადი (სრულყოფილი)	0,001 ნაკლები	1
2. საკმაოდ მდგრადი	0,001-დან-0,005-მდე	2
	0,005-დან-0,01-მდე	3
3. მდგრადი	0,01-დან-0,05-მდე	4
	0,05-დან-0,1-მდე	5
4. დაქვეითებული მდგრადი	0,1-დან-0,5-მდე	6
	0,5-დან- 1,0-მდე	7
5. ნაკლებად მდგრადი	1,0-დან-5,0-მდე	8
	5,0-დან- 10,0-მდე	9
6. არამდგრადი	10,0-მეტი	10

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები

2.1. ძირითადი განამარტებები

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება არის მრავალ-ეტაპიანი პროცესი, რომელიც შედგება: კონსტრუქციული ფორმის შერჩევით, გაანგარიშებითა და ნახაზების შედგენით, დამზადებითა და მონტაჟით.

მეორე ძირითადი ეტაპის-დაპროექტების (გაანგარიშება და ნახაზების შედგენა) მიზანია გაბარიტული ზომების მკაცრად დადგენა, ასევე განივი კვეთების ზომების დადგენა და მათი შეერთებებისაც, რომლებიც უზრუნველყოფენ დადგენილ საექსპლუატაციო პირობებს და აუცილებელ საჭირო სიმტკიცეს დამზადებასა და მონტაჟზე მასალისა და შრომის მინიმალური დანახარჯებით კონსტრუქციის მუშაობის მთლიანი ვადის გამაველობაში.

გაანგარიშება ძირითადად შედგება შემდეგი ეტაპებისაგან: საანგარიშო სქემის დადგენა, დატვირთვების შეკრება, კონსტრუქციის ელემენტებში ძალების განსაზღვრა, კვეთების შერჩევა, კონსტრუქციის როგორც მთლიანობაში ისე მისი ცალკეული ელემენტებისა და შეერთებების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის (ძაბვების) შემოწმება.

ძალების განსაზღვრის მეთოდები შეისწავლება ძირითადად ისეთ დისციპლინებში, როგორებიცაა: სამშენებლო მექანიკა, მასალათა გამძლეობა, დრეკადობისა და პლასტიკურობის თეორია. გაანგარიშების დანარჩენი ეტაპები შედის ლითონთა კონსტრუქციების კურსში.

მეცნიერების სხვადასხვა დარგებში გამოიყენება საკვანძო სიტყვები, რომლებიც ახასიათებენ მოცემულ დარგს. მაგ. სამშენებლო მექანიკაში საკვანძო სიტყვებია: “ძალთა მეთოდი”, “გადაადგილებათა მეთოდი”, “სასრულ ელემენტთა მეთოდი”, “ძირითადი სისტემა”, “წონასწორობის განტოლება” და ა.შ. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშებაში გამოიყენება ძირითადად შემდეგი საკვანძო სიტყვები: “ზღვრული მდგომარეობები”, “საანგარიშო დატვირთვა”, “საანგარიშო წინაღობა”, “საიმედობა”, “დაღლილობა”, “ოპტიმალური პარამეტრი”, “ოპტიმალური კონსტრუქციული გადაწყვეტა”, და ა. შ.

დღეისათვის საქართველოში კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით. არსებობს ასევე დასაშვებ ძაბვათა მეთოდი. ერთ-ერთი განსხვავება ამ ორ მეთოდს

შორის ის არის, რომ დასაშვებ ძაბვათა მეთოდში გამოყენებულია ერთიანი  $k$  კოეფიციენტი, ხოლო ზღერულ მდგომარეობათა მეთოდში ეს ერთიანი კოეფიციენტი დაშლილია სხვადასხვა განსხვავებულ კოეფიციენტებად, სხვადასხვა შემთხვევებისათვის.

## 2.2. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ძირითადი დებულებები

2.2.1. გაანგარიშების ზღერულ მდგომარეობათა მეთოდი. სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების მიზანია უზრუნველყოს დადგენილი საექსპლუატაციო პირობები და აუცილებელი საჭირო სიმტკიცე დამზადებასა და მონტაჟზე მასალისა და შრომის მინიმალური დანახარჯებით.

სამშენებლო კონსტრუქციებს ანგარიშობენ ძალოვან და სხვა ზემოქმედებებზე, რომლებიც განსაზღვრავენ მათ დაძაბულ მდგომარეობებს და დეფორმაციებს, ზღერული მდგომარეობებით.

გაანგარიშების ზღერულ მდგომარეობათა მეთოდი პირველად დამუშავებული იქნა ყოფილ საბჭოთა კავშირში, 50-იან წლებში. გაანგარიშების მიზანია არ დაუშვას ექსპლუატაციისას ზღერული მდგომარეობები განსაზღვრული უზრუნველყოფით კონსტრუქციის ან ნაგებობის მუშაობის დადგენილ ვადაში. ზღერული მდგომარეობების ქვეშ გულისხმობენ ისეთ მდგომარეობებს, როდესაც კონსტრუქციები სამუშაოების წარმოებისას აღარ აკმაყოფილებენ დადგენილ საექსპლუატაციო პირობებს ან მოთხოვნებს. კონსტრუქციების სტატიკურ და დინამიკურ ზემოქმედებებზე გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ შემდეგ ზღერულ მდგომარეობებს:

პირველი ჯგუფის-კონსტრუქციის ზიდვის უნარის დაკარგვა და ექსპლუატაციისათვის სრული გამოუსადეგარობა.

მეორე ჯგუფის-ნაგებობის ნორმალური ექსპლუატაციის გაძნელება. (კონსტრუქციის ექსპლუატაცია ითვლება ნორმალურად, თუ იგი რაიმე შეზღუდვის ან რიგგარეშე შეკეთების გარეშე აკმაყოფილებს სათანადო ნორმებით დადგენილ ტექნოლოგიურ ან საყოფაცხოვრებო მოთხოვნებს).

პირველი ჯგუფის ზღერულ მდგომარეობებს მიეკუთვნება:

- 1) ნებისმიერი ხასიათის რღვევა (პლასტიკური; მყიფე; ბლანტი ან დაღლილობითი) (ნახ. 2.1, ე, ვ);
- 2) მდგრადობის ფორმის საერთო დაკარგვა (ნახ. 2.1, ა, ბ);
- 3) მდებარეობის მდგრადობის დაკარგვა (ნახ. 2.1 გ, დ);
- 4) კონსტრუქციის გეომეტრიულად ცვლად სისტემაში გადასვლა;

5) მდგომარეობა, რომლის დროსაც აუცილებელი ხდება ექსპლუატაციის შეწყვეტა მასალის დენადობის, შეერთებებში ბერების, ცოცვადობის, დაუშვებელი ნარჩენი ან სრული გადაადგილებების, ან ბზარების ზომაზე მეტად გახსნის შედეგად.

6) კონფიგურაციის ხარისხობრივი შეცვლა;

პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები ხასიათის მიხედვით იყოფა ორ ქვეჯგუფად: ზიდვის უნარის დაკარგვის მიხედვით (პირველი ოთხი მდგომარეობა) და ექსპლუატაციისათვის სრული გამოუსადეგარობით (მეხუთე და მეექვსე მდგომარეობა) ზომაზე მეტი ნარჩენი გადაადგილებების (დეფორმაციების) განვითარების შედეგად.

ზღვრული მდგომარეობები შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ცხრილის სახითაც.

მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობებს განეკუთვნება ისეთი მდგომარეობები, რომლებიც აძენილებენ ნორმალურ ექსპლუატაციას ან ამცირებენ ხანგრძლივობას დაუშვებელი გადაადგილებების განჩინის შედეგად (ჩაღუნვები, ჯდომები, მობრუნების კუთხები, რხევები, ბზარები და ა.შ.)

ანგარიშით პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები მოწმდება მაქსიმალურ (საანგარიშო) დატვირთვებზე და ზემოქმედებებზე, მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები კი საექსპლუატაციო (ნორმატიულ) დატვირთვებზე.

კონსტრუქციაში ზღვრული მდგომარეობების განენაზე საიმედოა და გარანტია უზრუნველყოფილია მასალის არახელსაყრელი მახასიათებლების სათანადო გათვალისწინებით, გადატვირთვებით და დატვირთვების არახელსაყრელი (მაგრამ რეალურად შესაძლებელი) შეხამებით, კონსტრუქციებისა და ფუძეების რეალური მუშაობის პირობებითა და თავისებურებებით, საანგარიშო სქემებისა და გაანგარიშების მეთოდების სათანადო შერჩევით, აუცილებელ შემთხვევაში მასალის პლასტიკური და რეოლოგიური ხასიათის თვისებების გათვალისწინებით.

ეს პირობები პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის ზიდვის უნარის მიხედვით შეიძლება ჩაწერილი იქნას შემდეგი სახის უტოლობით:

$$\bar{N} \leq \bar{S} \quad (2.1)$$

სადაც  $\bar{N}$  არის ძალვა, რომელიც მოქმედებს კონსტრუქციის საანგარიშო ელემენტში (დატვირთვებისა და სხვა ზემოქმედებების ფუნქციაა).  $\bar{S}$  არის ზღვრული ძალვა, რომელიც შეიძლება აიტანოს საანგარიშო ელემენტმა. (მასალის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების, მუშაობის პირობების და ელემენტების ზომების ფუნქცია).

ზღვრულ მდგომარეობა თა ჯგუფი	ზღვრული მდგომარეობა		
	სახე		დახასიათება
პირველი	პირველი ქვეჯგუფი	ზიდვის უნარი	ნებისმიერი ხასიათის რღვევა (პლასტიკური; მყოფი ბლანტი ან დაღლილობით); მდგრადობის ფორმის საერთო დაკარგვა; მდებარეობის მდგრადობის დაკარგვა; კონსტრუქციის გეომეტრიულად ცუდად სისტემაში გადასვლა;
	მეორე ქვეჯგუფი	ექსპლუატაციისათვის სრული გამოუსადეგარობა	მასალის დენადობა, არადრეკადი ძერები შეერთებებში, ცოცვადობა, დაუშვებელი ნარჩენი ან მთლიანი გადაადგილებები (დეფორმაციები); კონფიგურაციის ხარისხობრივი ცვლილება;
მეორე	ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარჯისიანობა		გადაადგილებები (ჩაღუნვა, მობრუნება ან ჯდომა), რხევები; მდგომარეობის ცვლილება; ძერები შეერთებებში.

უტოლობაში  $\bar{N}$ -ის მნიშვნელობა განისაზღვრება  $F_i$  საანგარიშო დატვირთვებისაგან, რომელიც წარმოადგენს უდიდესს ან მეტნაკლებად ხშირად განმეორებად დატვირთვას. ეს დატვირთვები კი განისაზღვრება დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობების  $F_i^n$  გამრავლებით გადატვირთვის კოეფიციენტზე  $n_i$ , რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის მნიშვნელობის გადახრას არახელსაყრელ მხარეს და საიმედობის კოეფიციენტზე დანიშნულების მიხედვით  $\gamma_n$ , რომელიც ითვალისწინებს შენობის ან ნაგებობის საიმედობის ხარისხს.

თუ კონსტრუქციაზე მოქმედებს ორი ან რამოდენიმე დროებითი დატვირთვა მათი ერთობლივი ზემოქმედების აღბათობა გაითვალისწინება დატვირთვების მნიშვნელობების გამრავლებით შეთანწყობის კოეფიციენტზე  $n_c$ .

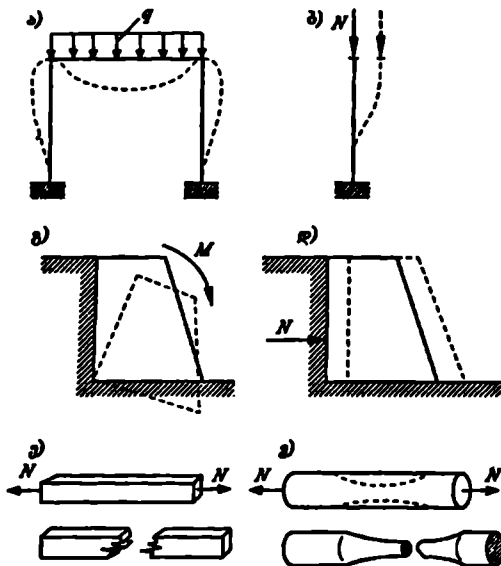
ამგვარად ძალა შეიძლება იქნეს წარმოდგენილი

$$\bar{N} = \sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \quad (2.2)$$

სადაც  $\bar{N}_i$ -ძალგაა როცა  $F_i = 1$ .

ზიდვის უნარი ანუ ზღვრული ძალგა  $\bar{N}$ , რომელიც შეიძლება აიტანოს საანგარიშო ელემენტმა, განსაზღვრული უნდა იქნას

კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლების  $\bar{A}$  (ფართობები, წინაღობების მომენტები და სხვა) გამრავლებით საანგარიშო წინაღობაზე  $R$  და მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე  $\gamma_c$ .



ნახ. 2.1 პირველი ჯგუფის ზღერული მდგომარეობები:  
 ა), ბ) მდგრადობის ფორმის საერთო დაკარგვა; გ) დ) მდებარეობის მდგრადობის დაკარგვა; ე) ნებისმიერი ხასიათის რღვევა (მყოფე ე, პლასტიკური ე);

საანგარიშო წინაღობა  $R$  მიიღება საანგარიშო წინაღობის ნორმატიული მნიშვნელობის, დადგენილი დენადობის ზღერის მიხედვით  $R_y^n$  ან დადგენილი დროებითი წინაღობის მიხედვით  $R_m^n$  გაყოფით მასალის საიმედოობის კოეფიციენტზე  $\gamma_m$ , რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციაში დადაბლებული ხარისხის მქონე მასალის მოხვედრას.

ამგვარად, ზღერული ძალა  $\bar{S}$  დენადობის ზღერის მიხედვით განისაზღვრება

$$S = \bar{A}_m \frac{R_y^n}{\gamma_m} \gamma_c = \bar{A}_m R_y \gamma_c, \quad (2.3)$$

ხოლო დროებითი წინაღობის მიხედვით



$$\bar{S} = \bar{A}_m \frac{R_u^n}{\gamma_m \gamma_u} \gamma = \bar{A}_m \frac{R_u}{\gamma_u} \gamma_c \quad (2.4)$$

სადაც  $\gamma_u = 1,3$  საიმედოობის კოეფიციენტი, როდესაც კონსტრუქციის ელემენტების სიმტკიცეს ანგარიშობენ დროებითი წინაღობით.

შესაბამისად (2.1)-ტოლობა 1 ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის გადაიწერება

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \leq \bar{A}_m \frac{R_y}{\gamma_m} \gamma \quad (2.5)$$

ან

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \leq \bar{S} = \bar{A}_m \frac{R_u^n}{\gamma_m \gamma_u} \gamma_c \quad (2.6)$$

ზღვრული მდგომარეობები პირველი ჯგუფის მეორე ქვეჯგუფისათვის ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \delta_1 \leq \delta_1 \quad (2.7)$$

სადაც  $\delta_1$  არის გადაადგილება გამოწვეული ერთეულოვანი დატვირთვით.  $\delta_1$ -ზღვრული, ნარჩენი ან სრული გადაადგილება.

მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის ზღვრული პირობები ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \delta_2 \leq \delta_{21} \quad (2.8)$$

$\delta_2$  არის დრეკადი დეფორმაცია ან კონსტრუქციის გადაადგილება გამოწვეული ერთეულოვანი დატვირთვით;  $\delta_2$ -ზღვრული დეფორმაციები ან გადაადგილებები დადგენილი ნორმებით ან საპროექტო მონაცემებით, რომლებიც აძნელებენ ნორმალურ ექსპლუატაციას.

### 2.3. ნორმატიული და საანგარიშო წინააღობები

2.3.1. ნორმატიული წინააღობები. როგორც 2.2.1. თემიდან ჩანს, გაანგარიშებებში სამშენებლო ფოლადების სიმტკიცის ზღვრად მიღებულია მისი დენადობის ზღვარი ( $\sigma_{ფენ}$ ) ან დროებითი წინააღობა ( $\sigma_{დრ}$ ).

ცდებით გაირკვა, რომ ფოლადის დენადობის ზღვარი ან დროებითი წინააღობა მუდმივი არ არის და იცვლება გარკვეულ ზღვრებში. ამიტომ ტექნიკური ნორმებით (СНП II -23-81), მცირე-

ნახშირბადიანი ფოლადების დენადობის ზღვრის რიცხვით მნიშვნელობად მიღებულია მისი შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც ადგილი აქვს უმეტეს შემთხვევაში, (ანუ ე.წ. წუნდების მინიმალური მნიშვნელობა); ნორმებით დადგენილ დენადობის ზღვრის ამ მნიშვნელობას ნორმატიული წინაღობა ეწოდება  $R_{ym}$ . ნორმატიული წინაღობის დადგენა ხდება მექანიკური მანევრებლების სტატისტიკური მეთოდებით დამუშავების გზით. მაღალი სიმტკიცის ფოლადებისათვის, რომლებსაც არ გააჩნიათ ან მცირე აქვთ დენადობის უბანი, ნორმატიულ წინაღობად მიიღება ნორმებით დადგენილი დროებითი წინაღობის მინიმალური რიცხვითი მნიშვნელობა  $R_{um}$ .

23.2. საანგარიშო წინაღობები. ნებისმიერი მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები ცვალებადია, ამიტომ რეალურად მომუშავე ელემენტების დენადობის ზღვარი ან დროებითი წინაღობა შეიძლება იქნეს ნაკლები შესაბამის ნორმატიულ მნიშვნელობაზე. მასალის წინაღობის სიდიდის გადახრა არახელსაყრელ მხარეს აღირიცხება მასალის მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტით ( $\gamma_m$ ). როგორც ცხრილი 2.1-დან ჩანს, ეს კოეფიციენტი  $\gamma_m > 1$ -ზე. ის არის დაბალი სიდიდის მქონე მაჩვენებელი და ფოლადებისათვის მისი მნიშვნელობები მოყვანილია დანართი 17-ში.

ცხრილი 2.1.

ფოლადის ნაგლინის და მიღების საანგარიშო წინაღობები

დაძაბული მდგომარეობა		პირობითი აღნიშვნები	ნაგლინისა და მიღების საანგარიშო წინაღობები
გაჭიმვა, კუმშვა და ლუნვა	დენადობის ზღვრის მიხედვით	$R_y$	$R_y = R_{ym} / \gamma_m$
	დროებითი წინაღობის მიხედვით	$R_u$	$R_u = R_{um} / \gamma_m$
ძერა		$R_s$	$R_s = 0,58 R_{ym} / \gamma_m$
ტორსის ზედაპირის თელვა (მორგების დროს)		$R_p$	$R_p = R_{um} / \gamma_m$
ადგილობრივი თელვა ცოლინდრულ სახსრებში (პოპოტიკებში) მკიდროდ შეხებისას		$R_{cp}$	$R_{bp} = R_{um} / \gamma_m$
საგორავის დიამეტრული კუმშვა (თავისუფალი შეხებისას, მოძრაობის შეზღუდულ კონსტრუქციებში)		$R_{cd}$	$R_{cd} = 0,05 R_{um} / \gamma_m$
გაჭიმვა ნაგლინის სისქის მიმართულებით		$R_{th}$	$R_{th} = 0,5 R_{th} / \gamma_m$

ნორმატიულ წინაღობას, გაყოფილს საიმედობის კოეფიციენტზე ( $\gamma_m$ ), საანგარიშო წინაღობას ( $R_y$  ან  $R_u$ ) უწოდებენ.

ტ. 6. და პირობებით (СНиП II - 23 - 81) ფოლადებისათვის, რომელთა საანგარიშო წინაღობა დადგენილია დენადობის ზღერის მიხედვით (ცხრ. 2.1)

$$R_y = R_{ym} / \gamma_m \quad (2.9)$$

როდესაც ფოლადის საანგარიშო წინაღობის დადგენა ხდება დროებითი წინაღობის მიხედვით

$$R_u = R_{um} / \gamma_m \quad (2.10)$$

სხვადასხვა სახის დაძაბული მდგომარეობის შესაბამისი საანგარიშო წინაღობები განისაზღვრება ცხრილი 2.1-ში მოყვანილი ფორმულებით.

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, ფოლადისათვის გაჭიმვის, კუმშვისა და განივი ღუნვის საანგარიშო წინაღობები ერთი და იგივეა. ძერის საანგარიშო წინაღობა ( $R_t$ ) მიიღება ძირითადი (გაჭიმვის) საანგარიშო წინაღობის 0,58-ზე გადამრავლებით. ტორსულ ზედაპირზე მოქმედი საანგარიშო წინაღობა ტოლია  $R_u$ -ს.

2.3.3. მუშაობის პირობებისა და საიმედობის კოეფიციენტები. კონსტრუქციების გაანგარიშებისას, მათი ნამდვილი მუშაობის გათვალისწინება ყოველთვის არ არის შესაძლებელი. ამიტომ, ნაგებობების უსაფრთხო მუშაობის მიზნით, მხედველობაში მიღებული უნდა იქნეს სხვადასხვა ფაქტორების არასასურველი გავლენა.

მათი გათვალისწინება ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით წარმოებს კონსტრუქციის  $\gamma_c$  და შეერთების  $\gamma_g$  მუშაობის პირობების კოეფიციენტებით, ასევე  $\gamma_n$  საიმედობის კოეფიციენტით კონსტრუქციის დანიშნულების მიხედვით.

კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი  $\gamma_c$  ითვალისწინებს კონსტრუქციის მუშაობის კონკრეტული პირობების გავლენას მის ზიდვის უნარსა და დეფორმაციულობაზე (მაგ. ტემპერატურის, აგრესიული გარემოს, დატვირთვების მოქმედების ხანგრძლივობა და მათი მრავალჯერადი გამეორება, საანგარიშო სქემის კონსტრუქციული სქემისაგან შესაძლო განსხვავება, ძაბვებისა და დეფორმაციების გადანაწილება, განიკვეთის ზომისა და ფორმის გავლენა და სხვ.). უმეტეს შემთხვევაში  $\gamma_c < 1$ -ის, იშვიათად,  $\gamma_c > 1$ -ზე (იხ. დან. 14).

კონსტრუქციების დანიშნულების მიხედვით, საიმედობის კოეფიციენტით ( $\gamma_n$ ), აღირიცხება: კონსტრუქციის ამა თუ იმ

ზღვრული მდგომარეობის შედეგების მნიშვნელობა, ნაგებობის კაპიტალურობისა და პასუხისმგებლობის ხარისხი და საერთოდ ყველა იმ ფაქტორის გავლენა, რომელთა ზუსტი აღრიცხვა შეუძლებელია ან ჯერჯერობით ვერ ხერხდება. ტ. ნ. და პირობებით (СНП II-23-81) კონსტრუქციის იმ ელემენტებისათვის, რომელთა გაანგარიშება სიმტკიცეზე ხდება დროებითი წინააღობის მიხედვით, საანგარიშო წინააღობა  $R_u$  დამატებით იყოფა  $\gamma_u = 1,3$  კოეფიციენტზე.

ფოლადის ელემენტების გაანგარიშების გაადვილების მიზნით, ტ. ნ. და პირობების მიერ  $\gamma_n$  და  $\gamma_m$  კოეფიციენტები შეყვანილია ნორმატიული წინააღობების მნიშვნელობაში და საანგარიშო წინააღობების რიცხვითი სიდიდეები, ნაგლისის მარკის, სახის და სისქის მიხედვით მოცემულია დანართი 5-ში.

შენობა-ნაგებობების საიმედოობის კოეფიციენტი ( $\gamma_n$ ) საპასუხისმგებლო კლასის მიხედვით იყოფა სამ კატეგორიად:

- I. შენობა-ნაგებობები, რომლებსაც აქვს ეროვნული მეურნეობისათვის და (ან) სოციალური დანიშნულებით განსაკუთრებული მნიშვნელობა (მაგ. თბოელექტროსადგური, ატომური ელექტროსადგური, რეზერვუარები, რომელთა მოცულობა აღემატება 10000 მ<sup>3</sup> ...)  $\gamma_n = 1$ .
- II. შენობა-ნაგებობები, რომლებიც არიან ეროვნული მეურნეობისათვის მნიშვნელოვანი დანიშნულების (სამოქალაქო, სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო... დანიშნულების ნაგებობები)  $\gamma_n = 0,95$ .
- III. შენობა-ნაგებობები, რომლებსაც აქვთ ეროვნული მეურნეობისათვის და (ან) სოციალური დანიშნულებით ნაკლებად საპასუხისმგებლო მნიშვნელობა (მაგ. საწყოები, რომლებშიც არ ხდება დაფასოება, სათბურები, ერთსართულიანი საცხოვრებელი სახლები...)  $\gamma_n = 0,9$ . ხუთ წლამდე ვადის მქონე დროებითი შენობა-ნაგებობისათვის დასაშვებია მიღებული იქნას  $\gamma_n = 0,8$ .

## 2.4. დატვირთვები და ზემოქმედებები

2.4.1. დატვირთვებისა და ზემოქმედებების კლასიფიკაცია და დახასიათება. დროში მოქმედების მიხედვით დატვირთვები და ზემოქმედებები შეიძლება იყოს მუდმივი, დროებით ხანგრძლივი, ხანმოკლე და განსაკუთრებული. მუდმივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: შენობებისა და ნაგებობების მუდმივი ნაწილების

წონები, გრუნტის წონა და წნევა, წინასწარი დაძაბვის ზემოქმედება. დროებით ხანგრძლივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: სტაციონარული დანადგარების წონა, ჭურჭლებში სითხეებისა და ფხვიერი მასალების წონა; რეზერვუარებში, გაზგოლდერებსა და მილსადენებში სითხეებისა და გაზების წნევა და ა.შ.

ხანმოკლე დატვირთვებს მიეკუთვნება ატმოსფერული: თოვლის, ქარის, ყინვის და ტემპერატურისაგან გამოწვეული ზემოქმედება, ამწესატრანსპორტო მოწყობილობებისაგან გამოწვეული დატვირთვა და ა.შ. განსაკუთრებულ დატვირთვებსა და ზემოქმედებებს მიეკუთვნება: სეისმური ზემოქმედება, დანადგარების დაზიანებით გამოწვეული დატვირთვა, საძირკვლის ჯდომით გამოწვეული ზემოქმედება.

2.4.2. ნორმატიული დატვირთვები. დატვირთვების მახასიათებლები არის მათი ნორმატიული მნიშვნელობები, რომლებსაც ღებულობენ სტატისტიკური მონაცემებით ან ნომინალური მნიშვნელობებით.

მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი, ხანმოკლე დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობები, აიღება СНиП 2.01.07-85-დან ან ინსტრუქციულ-ნორმატიული დოკუმენტებიდან.

თოვლის საფარის წონის ნორმატიული მნიშვნელობა იანგარიშება ფორმულით:

$$p_n = p_0c \quad (2.11)$$

აქ  $p_0$  არის 1 მ<sup>2</sup>-ზე მოსული თოვლის საფარის წონა, მისი მნიშვნელობა საქართველოს სხვადასხვა ქალაქებისათვის მოყვანილია დან. 2 ცხრ. 2.1-ში.

$c$  ითვალისწინებს პორიზონტალურიდან გადახურვის დახრილ ზედაპირზე გადასვლას (იხ. ნახ. 2.2).

ქარის დატვირთვა ისაზღვრება ჰიდრომეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემების მიხედვით, რომელშიც მოცემულია ქარის სიჩქარე მიწიდან 20 მ სიმაღლეზე. ქარის დაწნევა იანგარიშება ფორმულით

$$q_0 = \frac{v^2}{16} \quad (2.12)$$

$v$ —ქარის სიჩქარე (მ/წმ).

ბოლო ქარის დატვირთვის ნორმატიული მნიშვნელობა ტოლია

$$q_n = q_0kc \quad (2.13)$$

$q_0$ -ის მნიშვნელობა საქართველოს სხვადასხვა ქალაქებისათვის აიღება დან. 2 ცხრ. 2.2-დან.

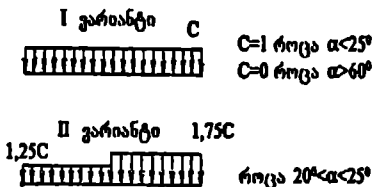
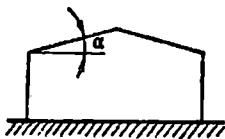
$k$ —არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ქარის დაწნევის ცვლილებას სიმაღლის მიხედვით. აიღება დან 3-დან.

C-აერიოდინამიკური კოეფიციენტი აიღება ნახ. 2.3-ის მიხედვით.

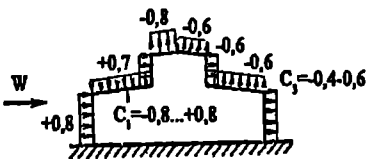
2.4.3. საანგარიშო დატვირთვები. საანგარიშო დატვირთვა ტოლია დატვირთვის ნორმატიული მნიშვნელობა გამრავლებული გადატვირთვის კოეფიციენტზე.

$$p = p_n n \quad (2.14)$$

გადატვირთვის კოეფიციენტი  $n$  ითვალისწინებს დატვირთვის ცვალებადობას რომელიც განპირობებულია რიგი მიზეზებით და აიღება  $\text{N}\ddot{\text{I}}\text{E}\ddot{\text{I}}$  2.01.07-85<sup>o</sup>-დან.



ნახ. 2.2. გადახურვაზე თოვლის საფარის განაწილების მაგალითი



ნახ. 2.3. რთული კონფიგურაციის შენობებისათვის აერიოდინამიკური კოეფიციენტის მნიშვნელობები

2.4.4. დატვირთვების შეთანწყობა. დატვირთვები ზემოქმედებენ კონსტრუქციაზე არა განცალკევებულად არამედ ერთმანეთთან შეთანწყობით.

არსებობს დატვირთვების შეთანწყობის შემდეგი სახეები:

ა) მუდმივი გამრავლებული  $n_c = 1$  პლიუს ერთი უდიდესი დროებითი გამრავლებული  $n_c = 1$ .

ბ) მუდმივი გამრავლებული  $n_c = 1$  პლიუს დროებითი ხანგრძლივი და ხანმოკლე გამრავლებული  $n_c = 0,9$ .

გ) მუდმივი გამრავლებული  $n_c = 1$  პლიუს დროებით ხანგრძლივი და დროებით ხანმოკლე გამრავლებული  $n_c = 0,8$  პლიუს განსაკუთრებული გამრავლებული  $n_c = 0,8$ .

აქ  $n_c$  არის შეთანწყობის კოეფიციენტი.

ვიღებთ ა)-ს ბ)-ს და გ)-ს შორის უდიდეს.

## 2.5. დატვირთვის ქვეშ მუშაობა და კონსტრუქციის ელემენტების გაანგარიშება

2.5.1. ფოლადის მუშაობის პლასტიკურობის პირობა. ლითონის ელემენტების გაანგარიშების თეორიაში უაღრესად დიდი მნიშვნელობა მასალის პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის პირობას ენიჭება.

ასეთი პირობის დასადგენად განვიხილოთ მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობა (ნახ. 2.4).

ზედაპირის ელემენტარულ ფართობზე ( $A$ ) მოქმედი ნორმალური და მხები ძაბვები აღენიშნოთ  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ -ით.

$\sigma$ -ს ქვეშ  $x, y, z$  ინდექსები აღენიშნავენ იმ ფაქტს, რომ ნორმალური ძაბვები მოქმედებენ იმ ზედაპირზე, რომელთა ნორმალები, შესაბამისად,  $x, y, z$  ღერძებია (ნახ. 2.4, ა).

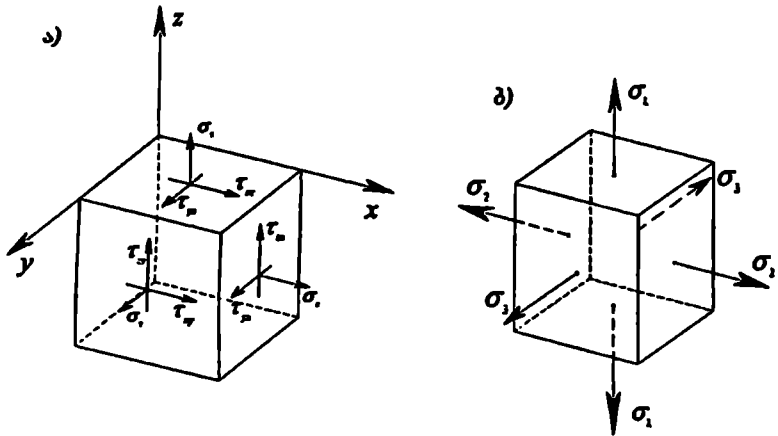
ასე, მაგალითად,  $\sigma_x$  ნიშნავს, რომ ძაბვა  $\sigma$  მოქმედებს ზედაპირზე, რომლის ნორმალია  $x$  ღერძი.

მხები, ძაბვის ქვეშ პირველი ინდექსი აღნიშნავს ამ ძაბვის მოქმედების ზედაპირის ნორმალს, მეორე ინდექსი—იმ ღერძს, რომლის პარალელურად მოქმედებს  $\tau$  ძაბვა. მაგალითად,  $\tau_{xy}$  ნიშნავს,  $\tau$  მოქმედებს იმ სიბრტყეზე, რომლის ნორმალია  $x$  და პარალელურია  $y$  ღერძის.

როგორც მასალათა გამძლეობის კურსიდან არის ცნობილი, იმ სიბრტყეებს, სადაც მოქმედებენ მხოლოდ ნორმალური ძაბვები (მხები ძაბვები  $\tau=0$ ) მთავარი სიბრტყეები ეწოდება, ხოლო ამ სიბრტყეების ნორმალურად მოქმედ ძაბვებს— მთავარ ნორმალურ ძაბვებს უწოდებენ. ისინი აღინიშნება  $\sigma_1, \sigma_2$ , და  $\sigma_3$ -ით (ნახ. 2.4, ბ).

სიდიდის მიხედვით  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ .

პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის პირობა დამოკიდებულია სიმტკიცის იმ თეორიაზე, რომელიც საფუძვლად უდევს ელემენტების გაანგარიშებას. როგორც თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევით მტკიცდება, ალუმინის და ფოლადის ელემენტის მუშაობას ყველაზე უკეთ გამოხატავს სიმტკიცის ენერგეტიკული თეორია. ეს თეორია ტ. ნ. და პირობებით ( $CHuII II-23-81^*$ ) მიღებულია ელემენტის გაანგარიშების საფუძვლად. ენერგეტიკული თეორიის მიხედვით მასალა იმყოფება დრეკად-დაძაბულ მდგომარეობაში, თუ დაყვანილი ძაბვა ( $\sigma_{red}$ ) ნაკლებია დენადობის ზღვარზე ( $\sigma_{ღვ}$ ). მასალა მუშაობს პლასტიკურ არეში, თუ  $\sigma_{red} \leq \sigma_{ღვ}$ -ის.



ნახ. 2.4. მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობა:  
 ა)–სიბრტყეების მიხედვით ძაბვები და მისი ინდექსები; ბ)–მთავარი ნორმალური ძაბვები.

მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობის პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის პირობა ან, მოკლედ, პლასტიკურობის პირობა, ზოგადად გამოისახება ტოლობით,

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} = \sigma_{ღებ} \quad (2.15)$$

ან მთავარი ძაბვების საშუალებით,

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)} = \sigma_{ღებ} \quad (2.16)$$

გაჭიმვის ან კუმშვის შემთხვევაში  $\sigma_y = \sigma_x = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$

და  $\sigma_x \neq 0$  შესაბამისად,

$$\sigma_{red} = \sigma_x = \sigma_{ღებ} \quad (2.17)$$

(2.17) მიხედვით, კუმშვის (გაჭიმვის) შემთხვევაში მასალა გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში, როგორც კი ნორმალური ძაბვა მიაღწევს დენადობის ზღვარს. ეს პირობა ნათლად გამოიხატება მასალის იდეალური დრეკად-პლასტიკური დიაგრამით (ნახ. 1.6). ამ დიაგრამის მიხედვით, როდესაც  $\sigma = \sigma_{red} < \sigma_{ღებ}$  მასალა მუშაობს როგორც იდეალურად პლასტიკური. განივი ღუნვის დროს  $\sigma_y = \sigma_x = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$ ;  $\sigma_x \neq 0$ ;  $\tau_{xy} \neq 0$  შესაბამისად

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sigma_{ღებ} \quad (2.18)$$



(2.18)-ის მიხედვით, განივი ღუნების დროს მასალა გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში, როდესაც  $\sigma_x$  და  $\tau_{xy}$ -ის ერთდროული მოქმედებით, მაქსიმალურად დაძაბულ ბოჭკოში დაყვანილი ძაბვა ტოლია  $\sigma_{ღუნ}$ -ის. სუფთა ძვრის შემთხვევაში  $\sigma_x = 0$  და, შესაბამისად,

$$\sigma_{red} = \sqrt{3} \cdot \tau_{xy} = \sigma_{ღუნ}$$

საიდანაც

$$\sigma_{red} = \frac{\sigma_{ღუნ}}{\sqrt{3}} \approx 0,6\sigma_{ღუნ} \quad (2.19)$$

(2.18) პირობის მიხედვით აგებული პლასტიკური მდგომარეობის შესაბამისი ზღვრულ ძაბვათა ეპიურა ნახევნებია 2.12 ნახაზზე.

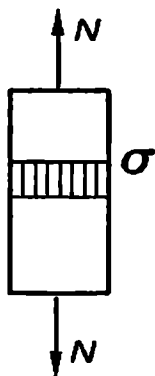
2.5.2. ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება. თუ ღეროს ღერძის გასწვრივ მოდებულია გამჭიმავი ძალა, ღერო გაიჭიმება ღერძულად და მას ღერძულად გაჭიმული ელემენტი ეწოდება (ნახ. 2.5). მისი გაანგარიშება ხდება შემდეგი სახით: გაჭიმული ელემენტებისათვის I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები მოწმდება სიმტკიცის მიხედვით და ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგარობით.

სიმტკიცე მოწმდება ძაბვების შედარებით (ძაბვები გამოთვლილია საანგარიშო დატვირთვებისაგან), საანგარიშო წინააღობაზე (დადგენილი დროებითი წინააღობის მიხედვით), გამრავლებული მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე  $\gamma_c$  და გაყოფილი დროებითი საიმედობის კოეფიციენტზე  $\gamma_u$ .

$$\frac{N}{A_{ni}} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u} \quad (2.20)$$

$N$  არის გრძივი ძალა განსაზღვრული საანგარიშო დატვირთვებისაგან;  $A_{ni}$  - გაჭიმული ელემენტის ნეტო ფართობი;  $R_u$  - დროებითი საანგარიშო წინააღობა (იხ. დან. 5);  $\gamma_u = 1,3$  საიმედობის კოეფიციენტი.  $\gamma_c$  - მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (იხ. დან. 14).

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობა დგინდება განვითარებული დეფორმაციების მხოლოდ დრეკად არეში განხილვით, ამიტომ გაჭიმული ელემენტის დრეკადი მუშაობა



ნახ. 2.5.  
ღერძულად  
გაჭიმული  
ელემენტი.

მოწმდება ძაბვების შედარებით სააანგარიშო წინაღობაზე დადგენილი დენადობის ზღვრის მიხედვით.

$$\frac{N}{A_m} \leq R_y \gamma_c \quad (2.21)$$

2.5.3. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება. ღუნვადი ელემენტების მუშაობა მოწმდება შემდეგი ზღვრული მდგომარეობებით: I ჯგუფი—დადლილობითი რღვევით, მდგრადობის დაკარგვით, მასალის დენადობით. II ჯგუფი—ზღვრული გადაადგილებების მიღწევით.

2.5.3-1. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება მასალის მუშაობის დრეკად საზღვრებში. ღუნვადი ელემენტის მუშაობის თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად, განვიხილოთ ორ საყრდენზე მდებარე მართკუთხა ელემენტი, რომელზეც მოდებულია თანაბრად განაწილებული დატვირთვა (ნახ. 2.6).

მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილია, რომ ღუნვა ხასიათდება:

ა) გეომეტრიული თვალსაზრისით, ღუნვადი ელემენტის ღერძის გამრუდებით, გაჭიმული (ქვედა) ბოჭკოების წაგრძელებით, შეკუმშული (ზედა) ბოჭკოების დამოკლებით. ამასთან გამრუდებისას ნეიტრალური ღერძი (შრე) თავის სიგრძეს არ იცვლის (ნახ. 2.7).

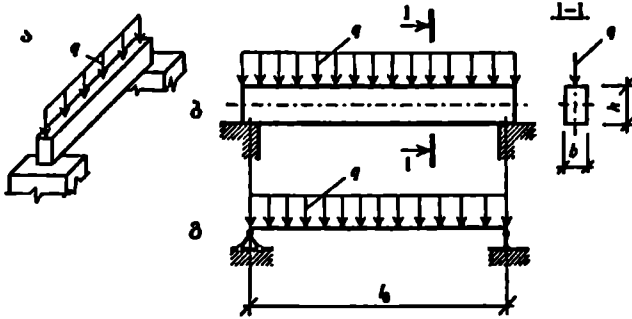
ბ) სტატიკური თვალსაზრისით, კოჭის სიგრძის ნებისმიერ კვეთში წარმოიქმნება მღუნავი მომენტი და განივი ძალა (ნახ. 2.8).

როგორც მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილია, ორ საყრდენზე მდებარე კოჭის შემთხვევაში თუ მასზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა მღუნავი მომენტებისა ( $M_x$ ) და განივი ძალების ( $Q_x$ ) ეპიურებს აქვს ნახ. 2.9, ბ და გ-ზე ნაჩვენები ეპიურების სახე. ( $M_x$ ) და ( $Q_x$ ) უდიდესი მნიშვნელობები ტოლია

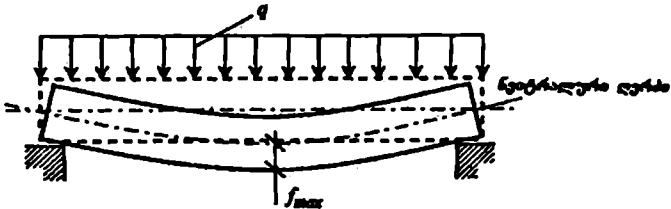
$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \quad Q_{max} = \frac{ql}{2}$$

გ) დაძაბული მდგომარეობის თვალსაზრისით, განივი ღუნვა ხასიათდება ნორმალური ანუ კვეთის ვერტიკალური სიბრტყის მართობული ძაბვების ( $\sigma$ ) და მხები ძაბვების ( $\tau$ ) არსებობით. ნორმალური ძაბვები, კვეთის სიმაღლეში, იცვლება წრფივი კანონით, რადგან ისეთ ღუნვად ელემენტებში (მაგ. კოჭებში), რომლებშიც მალის სიგრძე მნიშვნელოვნად აჭარბებს განივი კვეთის სიმაღლეს (5-ჯერ და უფრო მეტად), ექსპერიმენტულად დასტურდება ბერნულის ბრტყელ კვეთთა პიპოთეზა. ამ პიპოთეზის

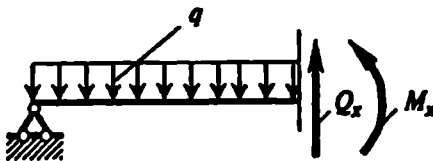
მიხედვით დეფორმაციების ცვლილება კვეთის მთელ სიმაღლეზე ხდება წრფივი კანონით, ძაბვებიც ნაწილდება კვეთში ანალოგიურად დენადობის ზღვრამდე  $\sigma_y$  (ნახ. 2.9,დ,ე), (ნახ. 2.13,ა).



ნახ. 2.6. თანაბრად განაწილებული დატვირთვიდან გამოწვეული კოჭის განივი ღუნვა.  
 ა-კოჭის აქსონომეტრიული სქემა; ბ-კოჭის კონსტრუქციული სქემა;  
 გ-კოჭის საანგარიშო სქემა;



ნახ. 2.7. კოჭის დეფორმაციის სქემა



ნახ. 2.8. კოჭში აღძრული შიგა ძალები: მღუნავი მომენტი და განივი ძალა

ნორმალური ძაბვები აღწევენ მკუმშავ მაქსიმალურ მნიშვნელობას განაპირა ზედა ბოჭკოებში, ხოლო გამჭიმავ მაქსიმალურ მნიშვნელობას განაპირა ქვედა ბოჭკოებში.

მხები ძაბვები აღწევენ თავიანთ მაქსიმალურ მნიშვნელობას ნეიტრალურ ღერძთან და მათი განაწილების კანონი არის მრუდწირული (პარაბოლური) (ნახ. 2.9, ეფ).

ნახ. 2.9, დ-დან ჩანს, რომ ნორმალური ძაბვები ( $\sigma_x$ ) კოჭში აღწევენ თავიანთ მაქსიმალურ მნიშვნელობას მალის შუაში, ხოლო საყრდენებზე ნულს უტოლდებიან. მხები ძაბვები ( $\tau$ ), ნულის ტოლია მალის შუაში და მაქსიმალურია საყრდენებზე. კოჭის სიგრძეზე ძაბვების ასეთი ცვლილება დამოკიდებულია კოჭის სიგრძეზე მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ცვლილებით. ნორმალური ძაბვები ( $\sigma_x$ ) უშუალოდ დამოკიდებული არიან მღუნავ მომენტზე ( $M_x$ ), ხოლო მხები ძაბვები ( $\tau$ ) განივ ძალაზე ( $Q_x$ ).

ზოგადად კოჭის კვეთში ნორმალურ ძაბვებსა და მღუნავ მომენტს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება პირობით:

$$M = \int \sigma y dA \quad (2.22)$$

კვეთის ნებისმიერ წერტილში ნორმალური ძაბვები, რომლებიც განლაგებული არიან ნეიტრალური ღერძიდან  $y$  მანძილზე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:  $\sigma = My/I$  ხოლო კვეთის განაპირა წერტილებში მაქსიმალური ძაბვები ტოლი იქნება:

$$\sigma_{\max} = \frac{My_{\max}}{I} = \frac{M}{W} \quad (2.23)$$

სადაც  $I$  და  $W = I/y_{\max}$  არის კოჭის კვეთის ინერციისა და წინალობის მომენტები.

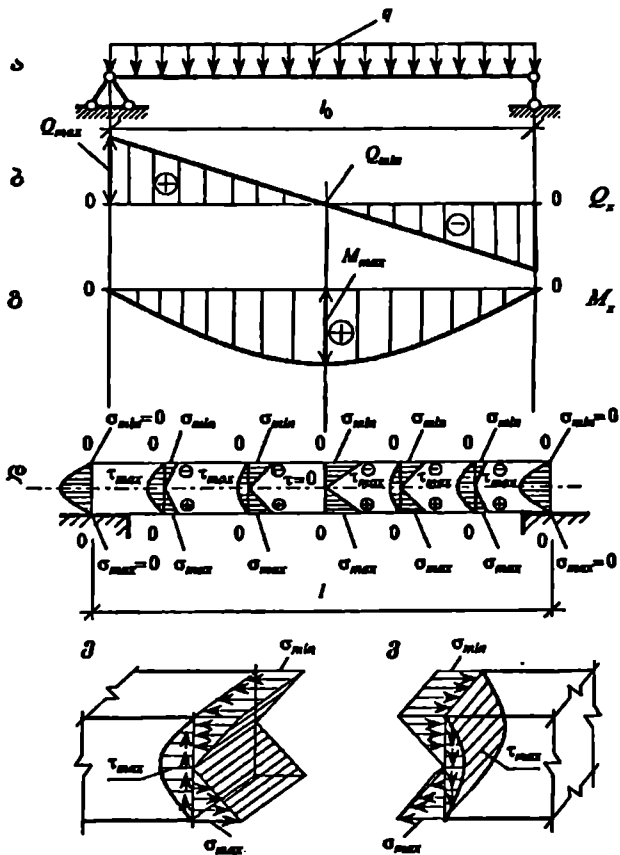
ზოგადად კოჭის კვეთში მხებ ძაბვებსა და განივ ძალას შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება პირობით:

$$Q = \int \tau dA \quad (2.24)$$

ხოლო კოჭის კვეთის ნებისმიერ წერტილში მხები ძაბვები შეიძლება განსაზღვრული იქნას ჟურავსკის ცნობილი ფორმულის მიხედვით.

$$\tau = \frac{QS}{It} \quad (2.25)$$

სადაც  $S$  არის კვეთის სტატიკური მომენტი.  $I$  - კვეთის ინერციის მომენტი.  $t$  - ელემენტის სისქე (სიგანე).



ნახ. 2.9. კოჭში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას ძაბვების ( $\sigma, \tau$ ) კავშირი შიგა ძალებთან ( $M_x, Q_x$ )

ა-საანგარიშო სქემა; ბ- ( $Q_x$ )-ის ეპიურა; გ- ( $M_x$ )-ის ეპიურა; დ-ძაბვების ცვლილება კოჭის სიგრძესა და სიმაღლეზე; ე, ვ-კოჭის სიმაღლეზე ძაბვების ცვლილების აქსონომეტრიული სქემა (მარჯვნივ და მარცხნივ მხარე).

დაეუბრუნდეთ ორ საყრდენზე მდებარე კოჭს, რომელზეც მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა, რადგანაც მაქსიმალური ძალები მოქმედებენ მალის სხვადასხვა კვეთში:  $M_{max}$ -მალის შუაში, ხოლო  $Q_{max}$ -კოჭის საყრდენებზე (ნახ. 2.9 ა,ბ). აქ აუცილებელია სიმტკიცის პირობის შემოწმება მალის

შუაში ნორმალური ძაბვების მიხედვით, ხოლო საყრდენებზე მხები ძაბვების მიხედვით.

დრეკად საზღვრებში ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშებისას ზღვრული მდგომარეობები დგება ნორმალური ან მხები ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობების დენადობის ზღვრის სიდიდემდე ( $R_y$ ) მიღწევით. ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცე, რომლებიც მუშაობენ დრეკად არეში და იღუნებიან ერთ-ერთ მთავარ სიბრტყეში, მოწმდება ფორმულებით:

$$\frac{M}{W_{nt\min}} \leq R_y \gamma_c \quad (2.26)$$

$$\frac{QS}{I_t} \leq R_y \gamma_c \quad (2.27)$$

აქ  $M$  და  $Q$  მღუნავი მომენტი და განივი ძალა განსაზღვრულია სანგარიშო დატვირთვით.  $W_{nt\min}$  არის შესუსტებული კვეთის წინააღობის მომენტი განსაზღვრული ელემენტის მუშაობის დრეკადი არით.  $S$  სტატიკური მომენტი.  $R_y$ —საანგარიშო წინააღობა (აიღება დან. 5-დან).  $R_y$ -საანგარიშო წინააღობაა ჭრაზე (აიღება დან. 5).  $\gamma_c$ -მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (აიღება დან. 14-დან).

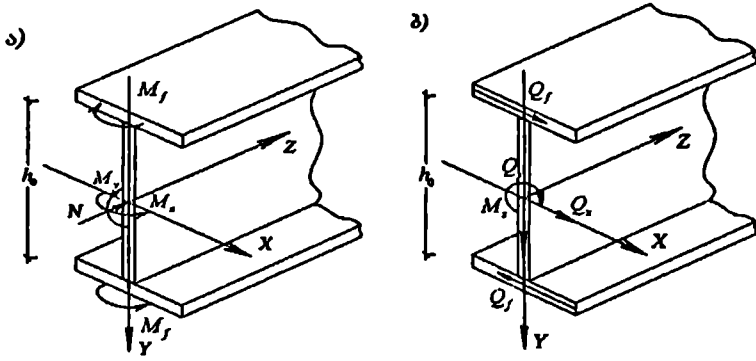
მასალის დრეკად არეში მუშაობისას ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცე, როდესაც ისინი ორ მთავარ სიბრტყეში იღუნებიან მოწმდება ფორმულით

$$\left( \frac{M_x}{I_{xnt}} \right) y \pm \left( \frac{M_y}{I_{ynt}} \right) x \leq R_y \gamma_c \quad (2.28)$$

სადაც  $M_x$  და  $M_y$  არის მღუნავი მომენტების მნიშვნელობები მთავარი ( $x$ ,  $y$ ) ღერძების მიმართ;  $x$  და  $y$  არის განივი კვეთის განსახილველი წერტილის კოორდინატები მთავარი ღერძების მიმართ (ნახ. 2.10);  $I_{xnt}$  და  $I_{ynt}$  ინერციის მომენტებია შესაბამისად  $x$  და  $y$  ღერძების მიმართ.

კონსოლებისათვის  $M_{max}$  და  $Q_{max}$  მოქმედებენ ერთსა და იმავე კვეთში—ჩამაგრებაში (ნახ. 2.11), ამიტომ ამ კვეთში, გარდა ზემოთ აღნიშნული შემოწმებებისა, აუცილებელია სიმტკიცე შემოწმდეს ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას დაყვანილ ძაბვებზე:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (2.29)$$

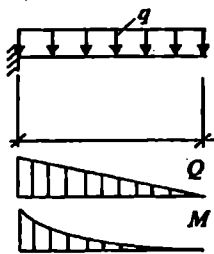


ნახ. 2.10. ძალები თხელკედლიან ღეროში.

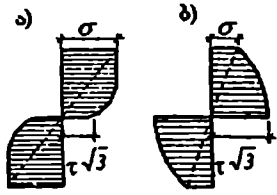
ა) ძალები  $N, M_x, M_y, B_w = M_f h_0$  რომლებიც იწვევენ ნორმალურ ძაბვებს— $\sigma$

ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას (ნახ. 2.9,დ), მასალის მუშაობის დრეკადი მდგომარეობიდან პლასტიკურში გადასვლაზე მიღებული პირობის თანახმად დენადობა ჩნდება მაშინ, როცა დენადობის ზღვარს უტოლდება დაყვანილი ძაბვები და არა მხოლოდ ერთი (ნორმალური ან მხები).

თუ მხები ძაბვების მნიშვნელობები დიდი არ არის, მასალის დენადობა იწყება განაპირა ბოჭკოებიდან (ნახ. 2.12,ა). განივი ძალის დიდი მნიშვნელობისას კი დენადობა გაჩნდება ნეიტრალურ ღერძთან (ნახ. 2.12,ბ).



ნახ. 2.11. თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას კონსოლური კოჭის საანგარიშო სქემა და ძალებების ეპიურები

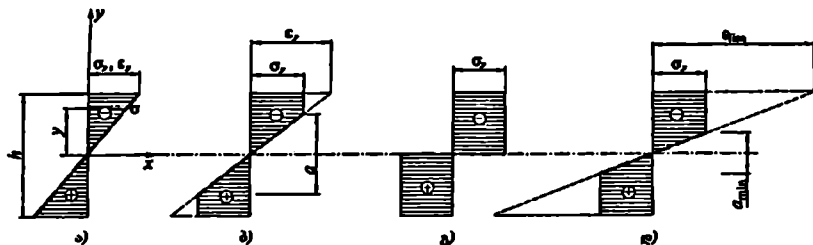


ნახ. 2.12. კოჭის კვეთში დაყვანილი ძაბვების ეპიურები

2.5.3.2. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით. დრეკად არეში მუშაობის ამოწურვის შემდგომ (ნახ. 2.13,ა), პლასტიკური დეფორმაციები კვეთის სიღრმეში იწყებს განვითარებას (ნახ. 2.13,ბ) და საბოლოოდ იკავებენ მთელ კვეთს (ნახ. 2.13,გ). ჩნდება ე.წ. პლასტიკური სახსარი.

განვიხილოთ ეს პროცესი თანმიმდევრობით.

ცენტრალურად გაჭიმული (შეკუმშული) ელემენტებისაგან განსხვავებით, ღუნვად ელემენტებში ფიბრული (ბოჭკოვანი) დენადობის გაჩენა არ იწყებს ზიდვის უნარის ამოწურვას, რადგან კვეთის სიღრმეში ძაბვების მნიშვნელობები დენადობის ზღვარზე ნაკლებია. ამ მიზეზით ღერო კიდევ შეეწინააღმდეგება გარე დატვირთვის შემდგომ გაზრდას.

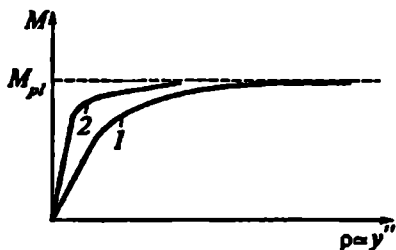


ნახ. 2.13. ღუნვად ელემენტში ძაბვების ეპიურის ცვლილება მასალაში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებისას: ა)-დრეკად სტადიაში; ბ)-დრეკად-პლასტიკურში; გ)-პლასტიკური სახსარი; დ)-შეზღუდული პლასტიკურობისას.

ეს გამოიწვევს კოჭის კვეთში დეფორმაციების გაზრდას (ნახ. 2.13,ბ-ზე წყვეტილი ხაზი). ამასთან ძაბვების გაზრდა შეზღუდული იქნება დენადობის ზღვრით- $\sigma_y$  (ნახ. 2.13,ბ-ზე უწყვეტი ხაზი).  $\sigma$  სიმაღლის მქონე დრეკადი ბირთვი, სადაც  $\sigma < \sigma_y$ , დაიწყებს შემცირებას. სიმრუდე- $\chi = 1/\rho \approx y''$ , შესაბამისად კოჭის ჩაღუნვა- $y$  დაიწყებს მკვეთრად და არაწრფივად გაზრდას (ნახ. 2.14). კოჭის ზიდვის უნარი ასიმპტოტურად დაუახლოვდება ზღვრულს  $M_{pl}$ . ღუნვადი ელემენტის ამ სტადიას დრეკად-პლასტიკური ეწოდება. კოჭის ზიდვის უნარის სრული ამოწურვა მოხდება როცა  $a$  მიუახლოვდება ნულს  $a \rightarrow 0$ , ე. ი. როცა მთელი კვეთი მოცული იქნება პლასტიკურობით (ნახ. 2.13,გ).



ძაბვების ეპიურა შედგება ორი სხვადასხვა ნიშნიანი მართკუთხედებისაგან ორდინატებით  $\sigma = \pm \sigma$ . ამასთან დეფორმაციების გრაფიკი "გადაგვარდება" პორიზონტალურ წრფედ (ნახ. 2.13. გ-ზე წყვეტილი ხაზი). ამ დროს დეფორმაციები მიისწრაფიან უსასრულობისაკენ  $\varepsilon \rightarrow \infty$ , რაც პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან მასალას გააჩნია შეზღუდული დეფორმაციულობა  $\varepsilon_{lim}$ , რომლის მიღწევის შემდგომ ხდება რღვევა (ნახ. 2.13,დ). ამ მიზეზით რეალურად ფოლადის კოჭების რღვევა ყოველთვის ხდება დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში როცა  $a_{min} > 0$ .



ნახ. 2.14. მართკუთხა-1 და ორტესებრი-2 კოჭის სიმრუდის ზრდა მასალის პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებისას.

კონსოლებისათვის  $M_{max}$  და  $Q_{max}$  მოქმედებენ ერთსა და იმავე კვეთში—ჩამაგრებაში (ნახ. 2.11), ამიტომ ამ კვეთში, გარდა ზემოთ აღნიშნული შემოწმებებისა, აუცილებელია სიმტკიცე შემოწმდეს ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისა დაყვანილ ძაბვებზე:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (2.29)$$

უსასრულო დეფორმაციებს უნდა შეესაბამებამებოდეს უსასრულო სიმრუდე. იდეალურ პლასტიკურ მასალებში ეს შეიძლება მოხდეს, როცა კოჭის ნაწილების ურთიერთმობრუნების კუთხე იქნება მისწრაფებელი უსასრულობისაკენ. კინემატიკურად ეს შეესაბამება სახსროვან მექანიზმს, რომლის მოძრაობა უზრუნველყოფილია მასალის პლასტიკური თვისებებით. აქედან გაჩნდა დასახელება *პლასტიკური სახსარი*, რომელიც განსაზღვრავს ღუნვადი ელემენტის ზღვრულ ზიდვის უნარს.

პლასტიკურ სახსარს ჩვეულებრივი სახსრისაგან განასხვავებენ შემდეგი თვისებებით:

1. ის მოქმედებს ცალმხრივად, მღუნავი მომენტის მუშაობის მიმართულებით და მღუნავი მომენტის მოხსნის შემდგომ იხურება.

2. პლასტიკურ სახსარში მღუნავი მომენტი მაქსიმალურია, მაშინ როცა ჩვეულებრივში ნულის ტოლია.

პლასტიკურ სახსარში ზღვრული მომენტი ტოლია:

$$M = \sigma_y \int_A y dA = \sigma_y 2S \quad (2.30)$$

თავის მხრივ  $M = \sigma_y W$

$$W_{pl} = 2S$$

სადაც  $S$  - ნახევარკვეთის სტატიკური მომენტია ნეიტრალური ღერძის მიმართ.

შემოვიღოთ კოეფიციენტი

$$c = W_{pl}/W = M_{pl}/M, \quad (2.31)$$

რომელიც ახასიათებს ღუნავი ელემენტის ზიდვის უნარს, განპირობებულს მასალის პლასტიკური მუშაობით. გამოეთვალათ მისი მნიშვნელობა ორტესებრი კვეთისათვის (ნახ. 2.16, გ),

$$W_{pl} = 2S = 2 \left( A_f \frac{h}{2} + \frac{h}{2} t \frac{h}{4} \right) = A_f h + A_w \frac{h}{4} = A_w h \left( \frac{A_f}{A_w} + \frac{1}{4} \right);$$

$$W = \frac{2I}{h} = \frac{2}{h} \left( 2A_f \left( \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{th^3}{12} \right) = A_f h + A_w \frac{h}{6} = A_w h \left( \frac{A_f}{A_w} + \frac{1}{6} \right).$$

ჩავსვათ ეს მონაცემები (2.31)-ში, მივიღებთ

$$c = \frac{A_f/A_w + 1/4}{A_f/A_w + 1/6}, \quad (2.32)$$

სადაც  $A_f/A_w$  არის განივი კვეთის სარტყლისა და კედლის ფარდობა.

სხვადასხვა ტიპის გაგლინული კოჭებისათვის  $A_f/A_w \approx 0.67$ . (2.32)-ის მიხედვით მას შეესაბამება  $c = 1.1$ . შედგენილი ორტესებისათვის  $c$ -ს მნიშვნელობა იანგარიშება (2.32) ფორმულით, რომელშიც  $A_f/A_w$  აიღება ნახ. 2.15-ზე მოცემული გრაფიკის მიხედვით.

თუ სარტყლების ფართობები მიისწრფიან ნულისაკენ, ორტესებრი პროფილისაგან მიიღება მართკუთხა პროფილი (ნახ. 2.16, ბ), ხოლო (2.32) ფორმულიდან, როცა  $A_f \rightarrow 0$   $c = 1.5$ . ეს იმას

ნიშნავს, რომ პლასტიკური დეფორმაციების გამოყენებისას მართკუთხა კვეთის მქონე კოჭის ზიდვის უნარი იზრდება 1,5 ჯერ.

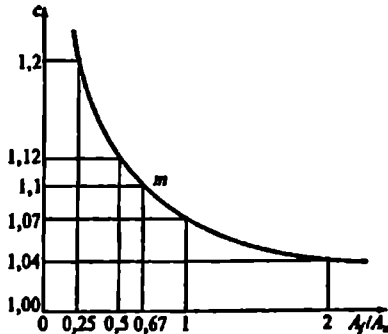
კოჭში სიგრძეზე პლასტიკურ დეფორმაციების გაერცვლება დამოკიდებულია საყრდენების ტიპზე და სიგრძეზე დატვირთვის განაწილების ხასიათზე. ნახ. 2.17-ზე ნაჩვენებია სახსრულად დაყრდნობილი კოჭი, რომეზეც მოდებულია თანაბრად განაწილებული დატვირთვა. აქ  $M'$  და  $M''$  პარაბოლური ეპიურები შეესაბამებიან კოჭის დრეკად და დრეკად-პლასტიკურ ზღვრულ მდგომარეობებს. ძაბვები 1,2,3 კვეთში შეესაბამებიან ნახ.

2.13-ზე გამოსახულ ეპიურებს. პლასტიკური უბნის სიგრძე  $l_p$  შეიძლება იქნას განსაზღვრული უტოლობით  $M'' \geq \sigma_y W$ . პლასტიკურობის სიმაღლის ცვლილება დამოკიდებულია მომენტების ეპიურაზე.

ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცეზე შემოწმების ფორმულა, პლასტიკური დეფორმაციებისას (პლასტიკური სახსრისას), მიიღება მე 5-ე ფორმულიდან  $W_n$ -ის  $W_{npl} = cW_n$ -ით შეცვლით.

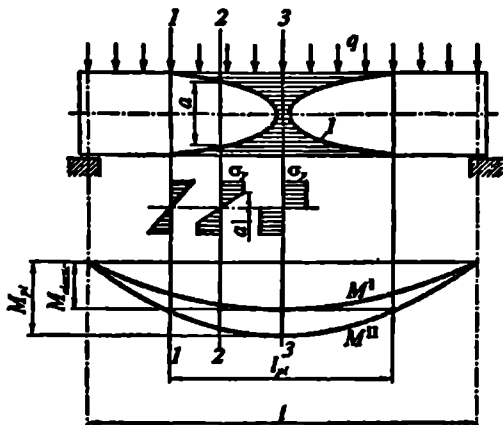
$$\frac{M}{cW_n} \leq R_y \gamma_c \quad \text{ან} \quad \frac{M}{W_n} \leq cR_y \gamma_c \quad (2.33)$$

ამ გამოსახულების (2.26) ფორმულასთან შედარებით ჩანს, რომ პლასტიკური დეფორმაციების ფორმალური გათვალისწინებას მიყვარათ საანგარიშო წინალობის ამალღებასთან მისი  $c$ -ზე გამრავლების გზით.



ნახ. 2.15.  $c$  კოეფიციენტის დამოკიდებულება კოჭის სარტყლისა და კედლის ფართობების ფარდობაზე

კოჭებში ნორმალური ძაბვების გარდა  $\sigma_x$  აღიძვრება ასევე მხები ძაბვები  $\tau_{xy}$ . მხები ძაბვები თავის მხრივ დამოკიდებული არიან განივ ძალასა და ლოკალურ (ადგილობრივ) ძაბვებზე  $\sigma_y$ . ლოკალური (ადგილობრივი) ძაბვები კოჭში აღიძვრებიან იქ სადაც ხდება შეყურსული ძალების გადაცემა. ამ შემთხვევაში კოჭში პლასტიკური უბნის საზღვრები განისაზღვრება პლასტიკურობის პირობიდან  $\sigma_{\text{რედ}} = \sigma_y$ . დაყვანილი ძაბვები დამოკიდებული არის  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ , რომლებიც შეიძლება იყოს სხვადასხვა. მაგ. ნახ. 2.18 ა)-ს შემთხვევაში კოჭის მალში შეყურსული ძალების ხშირი განაწილებისას, განმსაზღვრელი იქნება  $\sigma_x$ .



ნახ. 2.17. კოჭში პლასტიკური დეფორმაციების განაწილება.

ა)-კოჭის საანგარიშო სქემა; ბ)-კოჭის სხვადასხვა კვეთში აღბრული ძაბვების ეპიურები;

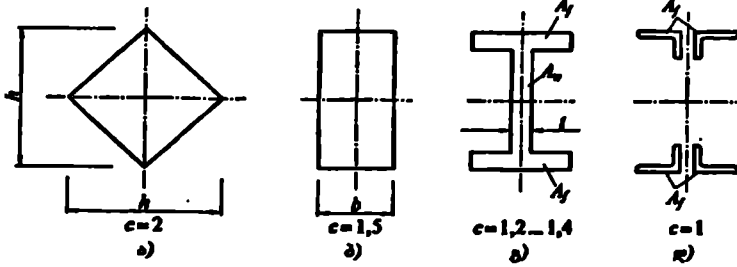
გ)-ზღუნავი მომენტის ეპიურები; 1-პლასტიკური დეფორმაციების ზონა;

$M^I$  -ზღვრული ეპიურა მასალის დრეკად არეში მუშაობისას;  $M^{II}$  - იგივე პლასტიკური სახსრის განენისას

კოჭის მცირე მალისა და დიდი შეყურსული დატვირთვის შემთხვევაში (ნახ. 2.18 ბ), განმსაზღვრელი შეიძლება იქნეს  $\tau_{xy}$  ძაბვა.

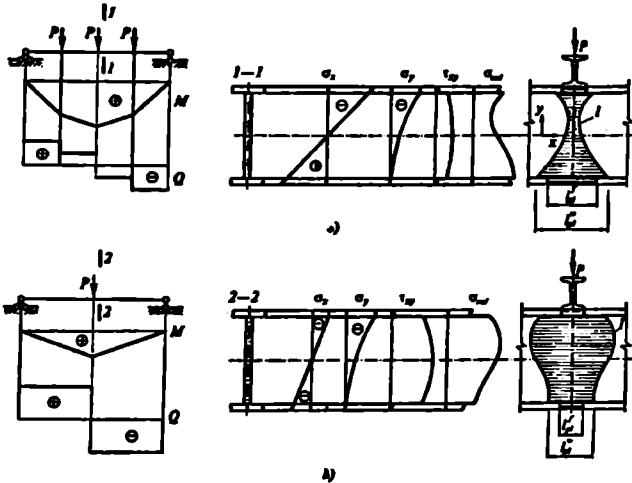
ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას, რომლებიც აჩქარებენ პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას, კოჭის სიმტკიცის შემოწმება მოხდება დაყვანილი ძაბვის მიხედვით:

$$\sigma_{\text{რედ}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15R_y \gamma_c \quad (2.34)$$



ნახ. 2.16. ღუნვადი ელემენტის განივ კვეთზე  $C$  კოეფიციენტის დამოკიდებულება.

- ა) რომბისებური კვეთისათვის; ბ) მართკუთხასათვის;  
 გ) ორტესებრისათვის; დ) ფერმისათვის.



ნახ. 2.18. ორტესებრ კოჭში პლასტიკური დეფორმაციების განაწილება რთული დაბაბული მდგომარეობისას.

- ა) დიდი ნორმალური ძაბვებისას; ბ) დიდი მხები დეფორმაციებისას

აქ  $1,15$  არის კოეფიციენტი, რომელიც კოჭში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას ითვალისწინებს. ამასთან  $\sigma_x < R_y, \sigma_y < R_y, \tau_{xy} < R_x$ .

სადაც  $\sigma_x = M_x y / I_x$  არის ნორმალური ძაბვა;  $\sigma_y$  არის ზედა სარტყელზე მოდებული შეყურსული დატვირთვის ადგილებში

აღძრული ძაბვა, ასევე კოჭის საყრდენ კვეთებში, რომლებიც სიხიტის წიბოებით არ არიან გამაგრებული.  $\tau = QS/It$  არის მხები ძაბვა;  $t$  — კედლის სისქე;  $S$  — სტატიკური მომენტი;

2.5.3-3. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების შეზღუდულად განვითარებისას. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ღუნვადი ელემენტის კვეთში პლასტიკური სახსრის განქინისას ხდება პლასტიკური დეფორმაციების შემოუსაზღვრელი განვითარება და ჩაღუნვების გაზრდა.

ამ პირობებში კონსტრუქციის საექსპლუატაციო თვისებები იწურება უფრო ადრე, ვიდრე მოხდება დეფორმაციების შეზღუდვა განვითარება და ზიდვის უნარის ამოწურვა, რადგან ნარჩენი დეფორმაციები მიიღება (დატვირთვის მოხსნის შემდგომ) იმდენად დიდი, რომ კონსტრუქცია ხდება ექსპლუატაციისათვის გამოსაადგარი.

ამიტომ, პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის მიღებულია, კვეთში ზღვრული ფარდობითი პლასტიკური დეფორმაცია (ნარჩენი დეფორმაცია) უნდა იყოს  $\epsilon_{\text{ნარ}} \leq 3$ , სადაც  $\epsilon_{\text{ნარ}} = \epsilon_{\text{ნარ}} E/R$ .

თანამედროვე ნორმებით, კოჭების სიმტკიცეზე შემოწმებისას, ძაბვის ორი კომპონენტის არსებობისას  $\sigma_x$  და  $\tau_{xy}$ , როცა  $\tau_{xy} \leq 0,9R_s$ , დასაშვებია (2.33) ფორმულის გამოყენება.  $\tau_{xy}$ -ის უფრო დიდი მნიშვნელობისას (2.33)-ის მნიშვნელი უნდა გავამრავლოთ  $\beta < 1$  კოეფიციენტზე. ეს კოეფიციენტი დამოკიდებულია მხებ ძაბვებზე. ე. ი. კოჭებში სიმტკიცის შემოწმებისას, როცა  $\tau \leq 0,9R_s$ , პლასტიკური დეფორმაციების გავლენის გათვალისწინება ხდება ფორმულით,

$$M / c_1 W_{nt \min} \leq R_y \gamma_c \tag{2.35}$$

სადაც  $c_1$  კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს პლასტიკურ დეფორმაციებს.

როცა  $\tau \leq 0,5R_s$ , მაშინ მხები ძაბვების გავლენა პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებაზე არ არის არსებითი და კოეფიციენტი  $c_1 = c$ . ხოლო როცა  $0,5R_s < \tau < 0,9R_s$ , მაშინ  $c_1$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება ფორმულით:

$$c_1 = 1,05\beta c = 1,05c \sqrt{\frac{1 - (\tau/R_s)^2}{1 - \alpha(\tau/R_s)^2}}$$

სადაც  $\alpha$  არის კოეფიციენტი და ორტესებრი კოჭებისათვის, რომლებიც კედლის სიბრტყეში იღუნებიან, ტოლია 0,7. (სხვა ტიპის კვეთებისათვის  $\alpha = 0$ ).  $\tau = Q/It$  საშუალო მხები ძაბვაა.

როგორც ვთქვით  $c$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია განი-  
ვეკეთის ფორმაზე და პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების  
ხარისხზე. მისი მნიშვნელობა მიღებულია პირობიდან, როცა  
 $\epsilon_{\text{ნაზ}} = 3$  და მოყვანილია დან. 6 და ნახ. 2.15.

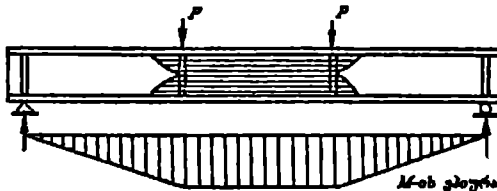
თუ კოჭი იღუნება ორ მთავარ  $x$  და  $y$  სიბრტყეში პლასტი-  
კური დეფორმაციების გათვალისწინებით სიმტკიცის პირობის  
შემოწმება ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{M_x}{c_x W_{x, \text{მ. min}}} + \frac{M_y}{c_y W_{y, \text{მ. min}}} \leq R_y \gamma_c \quad (2.36)$$

ამასთან მხები ძაბვები  $\tau \leq 0,9 R_s$ .

$W_{x, \text{მ}}$  და  $W_{y, \text{მ}}$  კვეთის ნეტო წინაღობის მომენტებია შესაბამისად  
 $x$  და  $y$  ღერძების მიმართ.

ზღვრული მდგომარეობების შემოწმება (2.35) და (2.36)  
ფორმულებით შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ პლასტიკური  
დეფორმაციები ვრცელდება ღუნვადი ელემენტის მცირე სიგრძეზე  
(მაგ. თანაბრადგანაწილებული დატვირთვისას ნახ. 2.17).  
პლასტიკური დეფორმაციების მნიშვნელოვნად განვითარების  
შემთხვევაში მაგ. სუფთა ღუნვის ზონის არსებობისას (ნახ. 2.19)  
საერთო ჩაღუნვები მიიღება იმდენად მნიშვნელოვანი, რომ  
ღუნვადი ელემენტი ხდება ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგარი  
მანამ, სანამ პლასტიკური დეფორმაციები კვეთში მიაღწევენ  
ზღვრულ  $\epsilon_{\text{ნაზ}} = 3$  სიდიდეს.



ნახ. 2.19. პლასტიკური დეფორმაციების  
განვითარება სუფთა ღუნვის ზონაში

ამიტომ სუფთა ღუნვის ზონის არსებობისას (2.35) და (2.36)  
ფორმულებში  $c_1$ ,  $c_x$  და  $c_y$  კოეფიციენტების ნაცვლად  
შესაბამისად ვღებულობთ:  $c_{1m} = 0,5(1+c)$ ;  $c_{xm} = 0,5(1+c_x)$ ;  
 $c_{ym} = 0,5(1+c_y)$ .

2.5.3-4. ღუნვადი ელემენტების საერთო მდგრადობის შემოწმება. დატვირთვის რალაც კრიტიკული მნიშვნელობისას განივ ღუნვაზე მომუშავე კოჭებმა შეიძლება დაკარგოს საწყისი მდებარეობა და დაიგრიხოს (ნახ. 2.20, 2.21). დეფორმაციის ამ სახეს კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა ეწოდება. ძაბვის იმ მნიშვნელობას, რომლის დროს ხდება კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა, კრიტიკული ძაბვა ( $\sigma_{cr}$ ) ეწოდება, რაც მაღალია კრიტიკული ძაბვის მნიშვნელობა, მით უფრო მდგრადია კოჭი. კრიტიკული ძაბვის სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია კოჭის სიხისტეზე პორიზონტალურ სიბრტყეში ( $I_y/I_x$ ) და კოჭის საანგარიშო სიგრძისა და თაროს სიგანის ფარდობაზე ( $l_f/b_f$ ). კრიტიკული ძაბვის გაზრდა შეიძლება კოჭის ზედა სარტყლის სათანადო დამაგრებით.

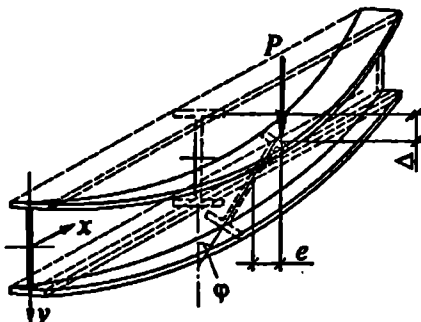
გამოსახულებიდან, რომელიც გამოითვლება გარე ძალების ღუნვის შემთხვევით გადახრებზე შესრულებული მუშაობის ნაზრდის გატოლებით შიგა ძაბვების მუშაობის ნაზრდზე და,

$$\sigma_{cr} = A \frac{I_y}{I_x} (h/l_0)^2 \quad (2.37)$$

სადაც

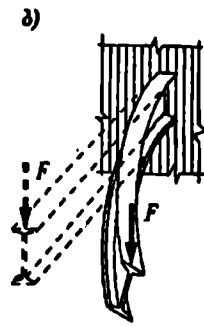
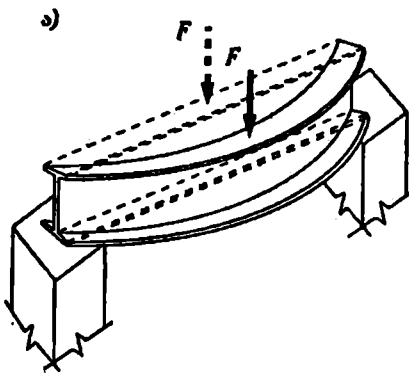
$$A = \frac{kc}{2} \sqrt{\frac{I_x}{I_y}} \sqrt{EG} \frac{l_0}{h} \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\alpha}}$$

ზედა სარტყლის დამაგრების წერტილებს შორის მანძილს კოჭის საანგარიშო სიგრძე ეწოდება და აღნიშნავენ  $l_f$ -ით.



ნახ. 2.20. ორტყეობრივი კოჭის მდგრადობის დაკარგვა ღუნვისას





ნახ. 221. კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა.  
 ა)-ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი ბ)-კონსოლური კოჭი

კრიტიკული ძაბვის სიდიდე იანგარიშება კრიტიკული ძალის კოჭის საერთო მდგრადობა უზრუნველყოფილია თუ,

$$\sigma = \frac{M}{W_c} \leq \sigma_{cr}$$

აღენიშნოთ

$$\frac{\sigma_{cr}}{R_y \gamma_c} = \phi_b \quad (2.38)$$

თუ (2.38) შევიტანთ (2.39)-ში, მივიღებთ კოჭის საერთო მდგრადობის საანგარიშო ფორმულას

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_c} \leq R_y \gamma_c \quad (2.39)$$

აქ  $M$  არის საანგარიშო მდუნავი მომენტი;  $W_c$  კოჭის შეკუმშული სარტყლის წინაღობის მომენტი;  $\gamma_c$ -მუშაობის პირობების კოეფიციენტია  $\phi_b = \sigma_{cr} / \sigma_y$  -ღუნვადი ელემენტების საერთო მდგრადობის დაკარგვის კოეფიციენტი.

$$\phi_b = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \psi \frac{I_y}{I_x} \left( \frac{h}{l_0} \right)^2 \frac{E}{R} \quad (2.40)$$

სადაც  $\psi = A / \sigma_y$

$\psi$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები გამოანგარიშებულია  $\alpha$ -ს ფუნქციაში, როდესაც დატვირთვა მოდებულია ზედა ან ქვედა სარტყელზე და ასევე სუფთა ღუნვის შემთხვევაში (იხ. დან. 7),

$$\alpha = 1,54 \frac{I_x}{I_y} \left( \frac{l_0}{h} \right)^2$$

აქ  $I_x$  არის ინერციის მომენტი სუფთა გრეხისას.  $I_x$  და  $I_y$  არის ინერციის მომენტები შესაბამისად  $x-x$  და  $y-y$  ღერძების მიმართ.  $l_0$  - შეკუმშული სარტყელის თავისუფალი სიგრძე (ჩამაგრებებს შორის მანძილი).  $h$  - კოჭის კვეთის სიმაღლე.

კოჭის საერთო მდგრადობაზე გაანგარიშების ჩატარება საჭირო არ არის, თუ შეკუმშული სარტყელი საკმარისადაა ჩამაგრებული ჰორიზონტალური მიმართულებით, მთლიანი ხისტი დისკით ან კავშირებით.

2.5.3-5. კოჭის დრეკადი დეფორმაციების შემოწმება, რომლის დროსაც დარღვეულია ნორმალური სექსპლუტაციო პირობები (II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა). ნაგებობის ნორმალური მუშაობის რეჟიმისას კოჭებში შეიძლება წარმოიქმნას დეფორმაციები, რომლებიც გააძნელებენ კონსტრუქციის ექსპლუტაციას. ეს დეფორმაციები (ჩაღუნვები) მოწმდება კონსტრუქციის მუშაობის დრეკად სტადიაში ნორმატიული დატვირთვების ზემოქმედებაზე, ამასთან წარმოქმნილი ჩაღუნვები  $f$  არ უნდა აღემატებოდეს ზღვრულ მნიშვნელობებს  $[f]$ .

$$f_{\max} \leq [f]$$

ზღვრული ჩაღუნვების მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 6.2.

## 2.6. ზღვრული მდგომარეობები და ღერძული ძალით შეკუმშული ღეროების გაანგარიშება

ღერძული (ცენტრალური) კუმშვა ხდება იმ შემთხვევაში, თუ მკუმშავი ძალა მოქმედებს ელემენტის ღერძის გასწვრივ.

შეკუმშული ხისტი ღეროების ზღვრული მდგომარეობები განისაზღვრება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებით, ძაბვების დენადობის ზღვარზე მიღწევისას, ხოლო მოქნილი ღეროების ზღვრული მდგომარეობები განისაზღვრება მდგრადობის დაკარგვით.

2.6.1. ღეროს მოქნილობა და მისი ფიზიკური არსი. ჯერ შემოვიტანოთ ღეროს მოქნილობის ცნება: ღეროს მოქნილობა არის ღეროს სიგრძის შეფარდება ინერციის რადიუსთან,

$$\lambda = \frac{l}{i}$$

აქ  $l$  არის ღერო სიგრძე, ხოლო  $i$  ინერციის რადიუსი, რომელიც თავი მხრივ უდრის ინერციის მომენტის ( $I$ ) განიკვეთის

ფართობთან ( $A$ ) ფარდობის ფესვს ( $i = \sqrt{I/A}$ ). ამ ტოლობის ფესქვეშ მყოფი წილადი გავამრავლოთ და გავყოთ ფოლადის დრეკადობის მოდულზე ( $E$ ).

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{EI}{EA}}$$

ანუ ინერციის რადიუსი ხასიათდება ღეროს ღუნვითი სიხისტის ნორმალურ სიხისტესთან ფარდობით. გარეცენტრალურად შეკუმშულ ღეროებში (რეალურად ცენტრალურად შეკუმშულ ღეროები ფაქტობრივად შეკუმშულია შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტებით  $e_0$  და ჩაღუნვით  $f_0$ ), ჩაღუნვა შეიძლება განსაზღვრული იქნას ფორმულით

$$f = \frac{\beta M i^2}{EI} = \frac{\beta N (e_0 + f_0)}{EI}$$

მეორე მხრივ, ჰუკის კანონის თანახმად  $\Delta = Nl_0/EA$ . თუ განვსაზღვრავთ სიხისტეებს ამ ფორმულებიდან და ჩავსვათ მოქნილობის ფორმულაში მივიღებთ

$$\lambda = \frac{\mu}{\beta^{0.5}} \left[ \frac{l_0}{e_0 + f_0} \right]^{0.5} \left[ \frac{f/l}{\Delta/l_0} \right]^{0.5}$$

$\mu$  და  $\beta$  კოეფიციენტები მუდმივი სიდიდეებია ღეროს საყრდენებში ჩამაგრების პირობების მიხედვით. ( $e_0 + f_0$ ) სიდიდე ასევე ინიშნება, მაშინ

$$\lambda = \alpha_0 \left[ \frac{f/l}{\Delta/l_0} \right]^{0.5}$$

ღეროს მოქნილობის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ის წარმოადგენს ფარდობითი ღუნვითი დეფორმაციების და ფარდობითი ნორმალური დეფორმაციების ფარდობის ფუნქციას ღეროს მდგრადობის დაკარგვის მომენტში (ღეროების მდგრადობაზე საკითხის განხილვა იხილეთ ქვემოთ).

ზოგადად მცირენახშირბადიანი ფოლადებისაგან დამზადებული ღეროები იყოფა მცირე ( $0 < \lambda < 40$ ), საშუალო ( $40 < \lambda < 102$ ) და დიდი მოქნილობის ( $\lambda \geq 102$ ) ღეროებად.

თუ ღეროს მოქნილობა მოთავსებულია  $0 < \lambda < 40$  ფარგლებში, მაშინ საჭიროა ის გაანგარიშებული იქნას სიმტკიცეზე. თუ ღეროს მოქნილობა მოთავსებულია  $40 < \lambda < 102$  ფარგლებში, მაშინ საჭიროა შემოწმებული იქნას მისი მდგრადობა მასალის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში. თუ ღეროს მოქნილობა მეტია

$\lambda \geq 102$ -ზე, მაშინ საჭიროა ის შემოწმებული იქნას მდგრადობაზე მასალის მუშაობის მხოლოდ დრეკად არეში.

2.6.2. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება. განვიხილოთ ღერო, რომელზეც მოქმედებს ღერძული მკუმშავი ძალა. ღერძული ეწოდება იმიტომ, რომ ძალა მოდებულია და მოქმედებს სიმეტრიის (გრძივი) ღერძის გასწვრივ. ძალის მოქმედებით ღეროს კვეთში აღიძვრება ძაბვები. ასეთ შემთხვევაში ძაბვების განაწილებას ექნება ნახ. 2.22 ა-ზე ნაჩვენები სახე.

ღეროვანი ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება, რომელზეც მოქმედებს ღერძული, მკუმშავი  $N$  ძალა, წარმოებს შედეგი ფორმულით:

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c$$

სადაც  $N$  არის ღერძული მკუმშავი ძალა;  $A_n$ —განივკვეთის ნეტო ფართობი ე. ი. შესუსტებების გარეშე;  $R_y$ —ფოლადის საანგარიშო წინაღობა დენადობის ზღერის მიხედვით;  $\gamma_c$ —მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

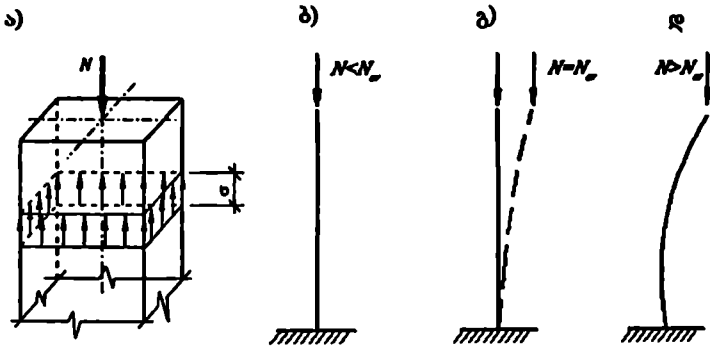
2.6.3. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება მდგრადობაზე.

2.6.3.1. ზოგადი ცნებები მდგრადობაზე. შეკუმშული ღეროს ზიდვის უნარი შეიძლება ამოწურული იქნას მდგრადობის დაკარგვის შედეგად, ანუ ამონეკის შედეგად, რომელიც წარმოიქმნება უფრო ადრე ვიდრე ღერო გამოვა მწყობრიდან უშუალოდ კუმშვის გამო. აბსოლუტურად მყარი სხეულის წონასწორობა მასზე მოქმედი ძალების მიუხედავად შეიძლება იყოს მდგრადი, განურჩეველი და არამდგრადი. იგივე მდგომარეობაა დეფორმირებული სხეულის მექანიკაში, მხოლოდ იმ განსხეუებით, რომ წონასწორობის სახე დამოკიდებულია მოქმედი დატვირთვის მნიშვნელობაზე.

ნახ. 2.22-ზე გამოსახულია გრძელი წვრილი დგარი, რომელზეც მოქმედებს ღერძული დატვირთვა.  $N$  ძალის შედარებით მცირე მნიშვნელობისას დგარი იკუმშება და იმყოფება მდგრად წონასწორობაში, ვინაიდან იღებს რა მცირე გადახრას ვერტიკალიდან რაიმე “შემაშფოთებელი” ბიძგის შედეგად, ის მალე უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. (ნახ. 2.22,ბ).

დატვირთვის გაზრდასთან ერთად დგარი სულ უფრო ნელა უბრუნდება საწყის მდგომარეობას და რომელიდაც კრიტიკული  $N_{cr}$  ძალის მნიშვნელობისას დგება განურჩეველი წონასწორობის

მდგომარეობა, ანუ ვერტიკალური მდგომარეობიდან მცირე გადახრისას ღვარი იძენს წონასწორობას გადახრილ მდგომარეობაშიც (წყვეტილი ნახ. 222,გ), წარმოიქმნება ბიფურკაცია-მომიჯნავე წონასწორული ფორმების თანაარსებობა, რომელიც ხასიათდება ღეროს ორ წონასწორულ ფორმას შორის მდგრადობის "გაცვლით". წრფივი ფორმა კარგავს მდგრადობას, ხოლო მრუდწირული ჯერ ვერ ასწრებს მის შექმნას. ძალას, რომელსაც გადაჰყავს ღერო წრფივხაზოვანი მდგრადი მდგომარეობიდან მრუდხაზოვან მდგრად მდგომარეობაში კრიტიკული ძალა ეწოდება.



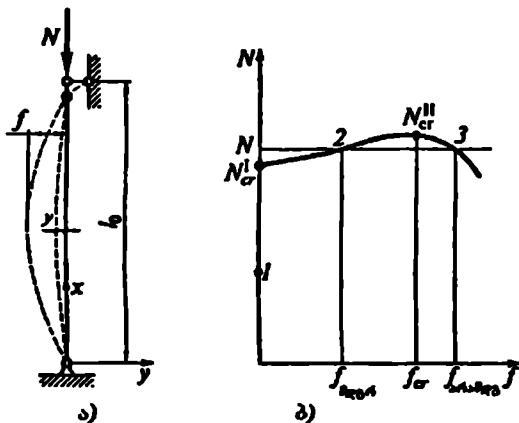
ნახ. 222. გრძელი წერილი ღვარი, რომელზეც მოქმედებს ღერძული დატვირთვა

ა)-ძაბვების განაწილება ცენტრალური კუმშვისას; ბ)-წრფივხაზოვანი მდგრადი მდგომარეობა; გ)-არამდგრადი და განურჩეველი (ბიფურკაცია) წონასწორობა; დ)-მრუდწირული წონასწორული მდგომარეობა

ახალი წონასწორული, მრუდწირული ფორმა თეორიულად ხდება მდგრადი დატვირთვისას, რომლის სიდიდე შეტია კრიტიკულზე (ნახ. 222,დ). ასეთი მდგომარეობა პრაქტიკულად მიუღებელია, რამდენადაც ღერო უკვე მუშაობს არა კუმშვაზე, არამედ კუმშვაზე ღუნვით. ე.ი. ძალის მიერ კრიტიკული მნიშვნელობის მიღწევის შემთხვევაში ღეროს სწორხაზობრივი ფორმა აღარ არის მდგრადი იგი გაიღუნება ნაკლები სიხისტის მქონე სიბრტყეში და მიიღებს მდგრადი მდგომარეობის მრუდწირულ ფორმას. ამ დროს დატვირთვის უმნიშვნელო გაზრდითაც კი ღეროს გამრუდება სწრაფად იწყებს ზრდას და იგი კარგავს ზიდვის უნარს.

2.6.3.2. ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად არეში. დატვირთვის ქვეშ მომუშავე ღეროს მუშაობას კარგად

ახასიათებს ნახ. 2.23-ზე ნაჩვენები გრაფიკი. დატვირთვის გაზრდის დასაწყისისას, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ღერო ინარჩუნებს მდგრადი მდგომარეობის წრფივხაზოვან ფორმას. კრიტიკული დატვირთვის მიღწევისას  $N = N'_{cr}$  ღერო იწყებს მკვეთრად გამობურცვას. შემდგომში დატვირთვის უმნიშვნელო გაზრდა გამოიწვევს ღეროს განივი ჩაღუნვის  $f$  სწრაფ ზრდას. მეორე კრიტიკული ძალის მიერ მაქსიმალური დატვირთვის მიღწევისას  $N = N''_{cr}$  ღერო კარგავს ზიდვის უნარს (არამდგრადი მდგომარეობა).



ნახ. 2.23 ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მუშაობა: ა)-საანგარიშო სქემა; ბ)-ღეროს დატვირთვისა და ჩაღუნვას შორის დამოკიდებულება.

ნახაზიდან ჩანს, რომ მდგრადი მდგომარეობა შეიძლება იყოს, როცა  $f = 0$  და  $f > 0$  (წერტილები 1 და 2). მხოლოდ როცა  $f > 0$  ღერო შეიძლება იმყოფებოდეს მდგრად მდგომარეობაში (წერტილი 2) და არამდგრად მდგომარეობაში (წერტილი 3) ერთი და იგივე მკუმშავი ძალისას.

კრიტიკული შეიძლება იყოს ორ მდგომარეობაში, როცა  $f = 0$  და  $f > 0$  (წერტილები-  $N'_{cr}$  და  $N''_{cr}$ ). ამ მდგომარეობების ზუსტი განსაზღვრა შესაძლებელია ენერგეტიკული თეორიის პრინციპების საფუძველზე, როდესაც მუშაობას ასრულებს გარე და შიგა ძალები შესაძლო გადაადგილების გასწვრივ.

ფიქსირებული ძალისას  $N = const$ , ღეროსათვის შესაძლო გადაადგილების მინიჭებისას, შესაძლებელია გამოთვლილი იქნას

გარე  $\delta A_e$  და შიგა  $\delta A_i$ , ძალების მუშაობის ნაზრდი. თუ  $\delta A_i > \delta A_e$  ღეროს მდგომარეობა იქნება მდგრადი, თუ  $\delta A_i < \delta A_e$  ღეროს მდგომარეობა იქნება არამდგრადი, ხოლო თუ  $\delta A_i = \delta A_e$  - კრიტიკული.

პირველ შემთხვევაში ვირტუალურ მუშაობებს შორის სხვაობა სისტემას აბრუნებს საწყის მდგომარეობაში. მეორე შემთხვევაში შიგა ძალების მუშაობის ნაზრდი  $\delta A_i$  არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ სისტემა დააბრუნოს საწყის მდგომარეობაში, ამიტომ ღერო კარგავს მდგრადობას. მესამე შემთხვევა არის სასაზღვრო, კრიტიკული.

ღეროების მდგრადობის პრობლემის შესწავლისას შესაძლო გადაადგილების გასწვრივ მუშაობების ნაზრდი შეიძლება შეიცვალოს შესაბამისი მომენტების ნაზრდებით  $\delta M_e$  და  $\delta M_i$ . ეს შესაძლებელია, რადგან მათ აქვთ პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება.

დაეუშვათ მოცემული გეაქვს სახსრულად ჩამაგრებული  $l$  სიგრძის მქონე დრეკადი ღერო, რომელზეც მოქმედებს  $N = const$  ძალა (ნახ. 2.23, ა). გარე ძალების მიერ გამოწვეული მომენტის ნაზრდი შესაძლო ჩაღუნვაზე  $y$  ამპლიტუდით ტოლი იქნება  $\delta M_e = Ny$ . შიგა ძალების მიერ გამოწვეული მომენტის ნაზრდი  $\delta M_i = (1/\rho)EI$ .

ძალის მოქმედებით ღერო იღუნება და დებულობს მრუდწირულ წონასწორულ ფორმას. უმაღლესი მათემატიკის კურსიდან ცნობილია, რომ სიმრუდე  $(1/\rho)$  აღებულ წერტილში, მიახლოებით, ტოლია კორდინატის მეორე რიგის წარმოებულის

$$\frac{1}{\rho} = -y'' \quad (2.41)$$

ღეროს შესაძლო გადაადგილება აღვეწროთ სინუსოიდაზე. შემდეგი კანონით,  $y = -f \sin(\pi x/l_0)$ , მივიღებთ სიმრუდის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას  $1/\rho = -y''(x=l_0/2) = \pi^2 f/l_0^2$ . ამ მნიშვნელობის  $\delta M_i$ -ში ჩასმით და  $\delta M_i = \delta M_e$  გატოლებით, მივიღებთ პირველი კრიტიკული ძალის მნიშვნელობას  $N'_{cr} = \pi^2 EI/l_0^2$ . მეორე კრიტიკული ძალისას შეიმჩნევა ღეროს დიდი ჩაღუნვები და როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ღერო უკვე მუშაობს არა კუმშვაზე, არამედ კუმშვაზე ღუნვით, ამიტომ ის პრაქტიკული თვალსაზრისით არ არის ჩვენთვის საინტერესო. ეს არის  $(N'_{cr})$  ცნობილი გერმანელი მეცნიერის ლეონარდ ვილერის ფორმულა, რომელიც მან სხვა გზით გამოიყვანა, კერძოდ დაუბრუნდეთ

სახსრულად ჩამაგრებულ  $l$  სიგრძის მქონე ღეროს, რომელზეც მოქმედებს  $N$  ძალა (ნახ. 2.23,ა). როგორც ვთქვეთ სიმრუდე ( $1/\rho$ ) აღებულ წერტილში მიახლოებით ტოლია კოორდინატის მეორე რიგის წარმოებულის იხ. ფორმულა (2.41).

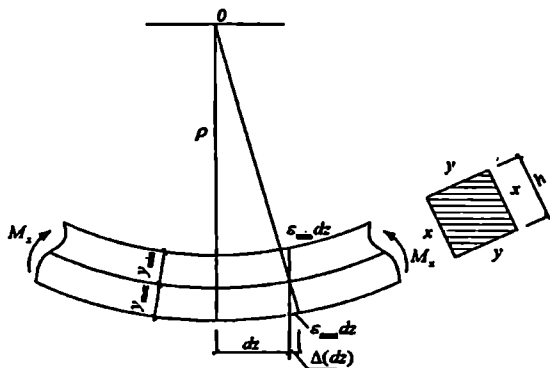
ახლა გავიხსენოთ ზოგიერთი საკითხი მასალათა გამძლეობის კურსიდან. თუ განვიხილავთ გაღუნულ ღეროს და გამოვყოფთ ელემენტარულ უბანს (ნახ. 2.24) მაქსიმალურად გაჭიმული შრის ფარდობითი წაგრძელება იქნება:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta_{\max}(dz)}{dz} \Rightarrow \Delta_{\max}(dz) = \varepsilon_{\max} dz$$

მაშინ სამკუთხედების მსგავსებიდან ჩაიწერება:

$$\frac{dz}{\rho} = \frac{\varepsilon_{\max} dz}{y_{\max}} \quad (2.42)$$

$$\varepsilon_{\max} = \frac{y_{\max}}{\rho} \quad (2.43)$$



ნახ. 2.24. გაღუნული ღეროს ელემენტარული უბანი

ხოლო ჰუკის კანონის თანახმად:

$$\sigma_{\max} = \frac{E \cdot y_{\max}}{\rho} \quad (2.44)$$

სადაც  $\rho$  ღეროს ღერძის სიმრუდის რადიუსია;  $y_{\max}$ —მანძილი განაპირა შრიდან ღეროს ღერძამდე;  $E$ —დრეკადობის მოდული;  $\Delta_{\max}(dz)$ —მაქსიმალურად გაჭიმული შრის აბსოლუტური წაგრძელება;  $\sigma_{\max}$ —ძაბვა მაქსიმალურად გაჭიმულ შრეში.



ნეიტრალური შრიდან  $y$  მანძილით დაშორებულ ნებისმიერ ბოჭკოსათვის ფარდობითი წაგრძელება განისაზღვრება (2.43) გამოსახულებით. მაშინ, ღეროს  $A$  განივ კვეთში განაწილებული შიგა ძალების მომენტი გამოითვლება ტოლობით:

$$M_x = \int_A y dA \quad (2.45)$$

ხოლო (2.44) გათვალისწინებით

$$M_x = -\frac{E}{\rho} \int_A y^2 dA = -\frac{EI}{\rho} = -Ely'' \quad (2.46)$$

სადაც  $A$  ფართობზე გავრცობილი ინტეგრალი წარმოადგენს განივი კვეთის ინერციის მომენტს.

აქედან გამომდინარე გაღუნული ღერძის დიფერენციალური განტოლების მიახლოებითი მნიშვნელობა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$Ny = -Ely'' = 0; \text{ ან } y'' + k^2 y = 0, \text{ სადაც } k = \sqrt{N/EI} \quad (2.47)$$

(2.47) ერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$y = C_1 \cos kx + C_2 \sin kx. \quad (2.48)$$

ინტეგრირების მუდმივების  $C_1$  და  $C_2$ -ის პოვნისათვის ვწერთ სასაზღვრო პირობებს:

$$\text{როცა } x=0, y=0 \text{ და როცა } x=l, y=0 \quad (2.49)$$

(2.48) დან (2.49)-ს გათვალისწინებით ვღებულობთ ორ განტოლებას

$$0 = C_1 \cos k0 + C_2 \sin k0 ;$$

$$0 = C_1 \cos kl + C_2 \sin kl$$

პირველი განტოლებიდან ვღებულობთ  $C_1 = 0$ . მეორე განტოლება გვაძლევს საშუალებას ჩავწეროთ

$$C_2 \sin kl = 0$$

აქ შესაძლებელია ამოხსნის ორი ვარიანტი

$$C_2 = 0$$

ან

$$\sin kl = 0$$

პირველი ვარიანტი  $C_2 = 0$  გვაძლევს დიფგანტოლების ტრივიალურ ამონახსნს, რადგან  $C_2 = f = 0$   $k$ -ს ნებისმიერი მშენებლობებისას, ამის შესაბამისად  $N$ -ისაც (ეს, ნიშნავს, რომ თეორიულად და არა მარტო თეორიულად-წონასწორობა შესაძლებელია, ნებისმიერად დიდი რაოდენობის  $N$  ძალის შემთხვევაში).

მეორე ვარიანტი  $\sin kl = 0$  შესაძლებელია არგუმენტის მნიშვნელობისათვის

$$kl = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$n$  ნებისმიერი მთელი რიცხვია.

თუ გავითვალისწინებთ  $k^2 = N/EI$ -ის მნიშვნელობას, ეიპოვიით

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} n^2$$

ამ ძალის უმცირესი მნიშვნელობა იქნება როცა  $n = 1$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \quad (2.50)$$

ამასთან (2.48) დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$y = C_1 \sin\left(\frac{\pi x}{l} n\right)$$

ან მხოლოდ შემთხვევისათვის, როცა  $n = 1$

$$y = C_1 \sin\left(\frac{\pi x}{l} n\right) = f \sin \frac{\pi x}{l} \quad (2.51)$$

კრიტიკული ძაბვა ტოლია

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l_0^2 A} = \frac{\pi^2 E i_{\min}^2}{l_0^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_0^2}{i_{\min}^2}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (2.52)$$

სადაც  $i_{\min} = \sqrt{I_{\min}/A}$  არის ინერციის რადიუსი.  $A$ —განიკვეთის ფართობი.

$\lambda = l_0/i_{\min}$  არის ღეროს მოქნილობა, რომელიც ტოლია ღეროს საანგარიშო სიგრძის შეფარდებისა ინერციის რადიუსთან.

$l_0 = \mu \cdot l$  ღეროს საანგარიშო სიგრძეა.  $\mu$ —დაყვანის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ღეროს ჩამაგრების პირობებზე და განისაზღვრება ცხრილი 2.2-ის მიხედვით: ა)-ზედა და ქვედა ბოლოების სახსრული ჩამაგრებისას; ბ)-ზედა ბოლოს სახსრულად, ქვედას ხისტად ჩამაგრებისას; გ)-ზედა და ქვედა ბოლოების ხისტად ჩამაგრებისას; დ)-ზედა ბოლოს სახსრულად, ქვედას ხისტად ჩამაგრებისას; ე)-ზედა ბოლოს სახსრულად დრეკადი ჩამაგრებისას, ქვედას ხისტად ჩამაგრებისას.

(2.52) ფორმულა სამართლიანია დრეკადობის მოდულის მუდმივი მნიშვნელობისას  $E$ , ე.ი. ძაბვებისას, რომლებიც არ

აღმატებიან პროპორციულობის ზღვარს  $\sigma_{cr} \leq \sigma_{\mu}$ , ამასთან  $\lambda \geq \pi \sqrt{E/\sigma_{\mu}}$ . რბილი (მცირენახშირბადიანი) სამშენებლო

ფოლადებისათვის  $\sigma_{\mu} \approx 20 \text{ კნ/სმ}^2$ , ამიტომ  $\lambda \geq \pi \sqrt{2,06 \cdot 10^4 / 20} \approx 100$ . ამადლებული სიმტკიცის მქონე ფოლადებში ეილერის ფორმულის გამოყენება შეიძლება, როცა  $\lambda \geq 85$ .

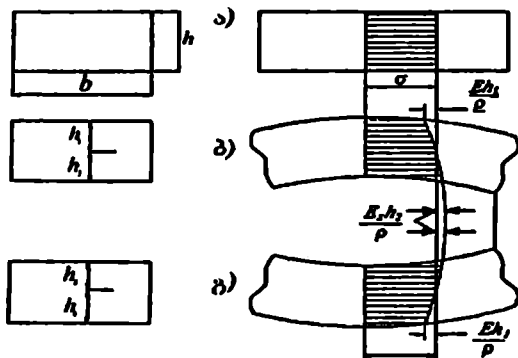
ცხრილი 2.2.

ღეროების ბოლოების ჩამაგრების სქემები						
		$\mu = 1$	$\mu = 0,7$	$\mu = 0,5$	$\mu = 2,0$	$\mu = 2,0$
კოეფიციენტი $\mu$	ფოლადი					$\mu$ - დამოკიდებულია საწარმის მოძრაობაზე

2.6.3.2. ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად-პლასტიკურ არეში. განვიხილოთ კრიტიკული დაბევის მნიშვნელობები მოქნილობის უფრო ნაკლები მნიშვნელობებისას. სიმარტივისათვის განვიხილოთ სწორკუთხოვანი განივი კვეთის ღერო (ნახ. 2.25). მდგრადობის დაკარგვის წინ დაბევის ეპიურა წარმოდგენილი სახისაა (ნახ. 2.25,ა). ღეროს ღერძის რამდენადმე გამრუდების გამო, რომელიც წარმოიქმნება მისი ამოზნექისას, განივ კვეთში დაბევის ეპიურა იცვლება, რადგან მკუმშავ დაბევებს ემატება ღუნვისაგან გამოწვეული დაბევები, ხოლო გაღუნული ღეროს შეკუმშული და გაჭიმული ნაწილებისათვის (2.44) გამოსახულებიდან გამომდინარე

$$\sigma_1 = \frac{Eh_1}{\rho}, \quad \sigma_2 = \frac{E_s h_2}{\rho}$$

აქ  $E_s$  - მკვეთი დრეკადობის მოდულია.



ნახ. 2.25. სწორკუთხოვანი ღერო:

- ა) — ძაბვების ეპიურა მდგრადობის დაკარგვის წინ;  
 ბ), გ) — ძაბვების ეპიურა დრეკად-პლასტიკურ არეში.

0 წერტილზე გამავალი ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა, თუ განვიხილავთ ძაბვებს მხოლოდ ღეროს ღუნვისაგან, შეიძლება ადვილად განისაზღვროს ყველა გამჭვირავი და მკუმშავი ძალების ტოლობის პირობიდან (ნახ. 2.25):

$$\frac{1}{2} \frac{E \cdot h_1}{\rho} h_1 b = \frac{1}{2} \frac{E_s \cdot h_2}{\rho} h_2 b \Rightarrow E h_1^2 = E_s h_2^2 \Rightarrow h_1 \sqrt{E} = h_2 \sqrt{E_s}$$

მაგრამ  $h = h_1 + h_2$  ამიტომ,  $h_1 \sqrt{E} = (h - h_1) \sqrt{E_s} \Rightarrow h_1 = \frac{h \cdot \sqrt{E_s}}{\sqrt{E} + \sqrt{E_s}}$

ანალოგიურად

$$h_2 = \frac{h \cdot \sqrt{E}}{\sqrt{E} + \sqrt{E_s}}$$

თუ  $b$  სწორკუთხა კვეთის სიგანეა (ნახ. 2.25), მაშინ მღუნავი მომენტი განსაზღვრული ძაბვებით იქნება:

$$M = \frac{E \cdot h_1}{\rho} \cdot \frac{b \cdot h_1}{2} \left( \frac{2}{3} \cdot h_1 + \frac{2}{3} \cdot h_2 \right) = \frac{E \cdot b \cdot h_1^2}{3 \cdot \rho} \cdot h$$

თუ შევიტანთ  $h_1$ -ის მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$M = \frac{E \cdot b \cdot h^3}{3 \cdot \rho} \cdot \frac{E_s}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_s})^2} = \frac{b \cdot h^3}{12 \cdot \rho} \cdot \frac{4 E \cdot E_s}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_s})^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M = \frac{I}{\rho} \cdot \frac{4 \cdot E \cdot E_s}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_s})^2}$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$T^* = \frac{4 \cdot E \cdot E_s}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_s})^2} \quad (2.53)$$

მაშინ

$$M = \frac{T^* I}{\rho} \Leftrightarrow \frac{M}{T^* I} = \gamma' \quad (2.54)$$

(2.54) დამოკიდებულება ანალოგიურია გაღუნული ღერძის (2.46) განტოლებისა პუკის კანონის ფარგლებში, ერთი განსხვავებით: ნაცვლად დრეკადობის  $E$  მოდულისა შემოდის სიდიდე  $T^*$ , რომელსაც იასინსკი-ენგესერ-კარმანის დაყვანილ დრეკადობის მოდულს (ორმაგ მოდულს) უწოდებენ.  $T^*$  როგორც ვხედავთ, დამოკიდებულია  $E$  და  $E_s$  მოდულებზე და აგრეთვე განივი კვეთის ფორმაზე, ვინაიდან მისი ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობა გამოყვანილია სწორკუთხა კვეთისათვის.

ანალოგიურად შეიძლება გამოყვანა სხვა კვეთებისათვისაც. თხელკედლიანი ორტესებრი კვეთისათვის:

$$T^* = \frac{2 \cdot E \cdot E_s}{E + E_s}$$

ამრიგად კრიტიკული ძალისა და კრიტიკული ძაბვის განსაზღვრა იასინსკი-ენგესერ-კარმანის მიხედვით შეიძლება წარმოებდეს ფორმულებით, რომლებიც გამოყვანილია პუკის კანონს დაქვემდებარებული მასალისათვის ამ ფორმულებში მასალის დრეკადობის მოდულის შეცვლით:

$$\sigma_{crT} = \frac{\pi^2 T^*}{\lambda^2} \quad N_{crT} = \frac{\pi^2 T^* I}{l^2} \quad (2.55)$$

სხვა მიდგომით მცირენახშირბადიანი ფოლადებისათვის მოქნილობის ასზე უფრო ნაკლები მნიშვნელობებისას ( $\lambda < 100$ ) ღეროები კარგავენ მდგრადობას მასალის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში დეფორმაციის მხები მოდულით  $E_t = d\sigma/d\varepsilon$ . ამ მიზეზით იასინსკი, ენგესერისა და კარმანის მიერ იქნა შემოთავაზებული ღეროს დრეკად-პლასტიკური მუშაობის შემდეგი სქემა (ნახ. 2.26).

როგორც წინა შემთხვევაში ფიქსირდება დატვირთვა  $N = const$ . მას შეესაბამება ღეროს კვეთში თანაბრად განაწილებული ძაბვების ეპიურა  $\sigma_0 = N/A > \sigma_{pl}$  (ნახ. 2.26,ა).

ღეროს შესაძლო ჩაღუნვისას  $\nu$  ამპლიტუდით, მის შეკუმშულ მხარეს ძაბვები გაიზრდება მხები მოდულის  $E_t$  შესაბამისად (იხ.

ასევე ნახ. 2.27). მოპირდაპირე მხარეს  $N$  ძალიდან გამოწვეულ კუმშვას დაედება ღუნვისაგან გამოწვეული გაჭიმვა ე. ი. მოხდება განტვირთვა, თანაც დრეკადი კანონით  $\sigma = \epsilon E$ . ამიტომ შესაძლო გაღუნვისაგან ძაბვების ეპიურა იქნება ასიმეტრიული. ნეიტრალური ღერძი გადაიწევს განტვირთული ბოჭკოების მხარეს ( $\sigma$  წერტილი ნახ. 2.26,ა). განიდება გრძივი ძალის დამატებითი ექსცენტრისიტეტი  $a$ . გარე ძალისაგან გამოწვეული მომენტის ნაზრდი  $\delta M_e = N(v+a)$ . შიგა ძალებისათვის  $\delta M_i$  განისაზღვრება  $A_1$  და  $A_2$  ფართობებზე ინტეგრალთა ჯამი, გაყოფილი 2-2 ნეიტრალური ღერძით (ნახ. 2.26,ბ).

$$\begin{aligned} \delta M_i &= \int_{A_1} \sigma_1 y \cdot dA + \int_{A_2} \sigma_2 y \cdot dA = \int_{A_1} \frac{E}{\rho} y^2 dA + \int_{A_2} \frac{E_1}{\rho} y^2 dA = \\ &= \frac{E}{\rho} \int_{A_1} y^2 dA + \frac{E_1}{\rho} \int_{A_2} y^2 dA = \frac{1}{\rho} (E \cdot I_1 + E_1 \cdot I_2) \end{aligned} \quad (2.56)$$

დრეკადი სტადიისას მომენტის ფორმულის ანალოგიურად გამოსახულება ჩაეწვროთ შემდეგი სახით  $\delta M_i = (1/\rho) T l$ , გაუტოლოთ ეს (2.56). სადაც  $T$  არის დეფორმაციის დაყვანილი მოდული, რომელიც განისაზღვრება ტოლობიდან

$$T = \frac{E I_1 + E_1 I_2}{l} \quad (2.57)$$

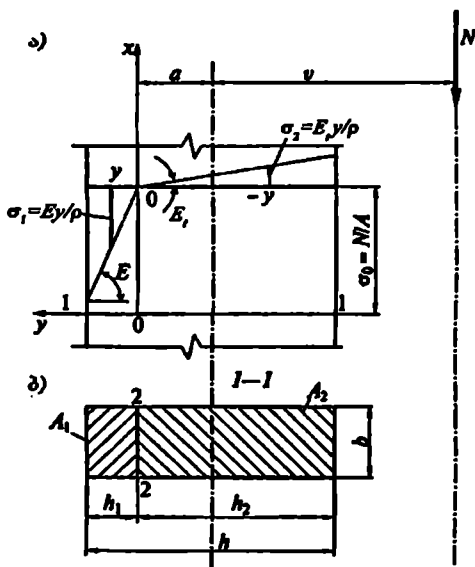
თუ ვიმოქმედებთ ისევე, როგორც დრეკადი მასალის შემთხვევაში, და  $\delta M_i = \delta M_e$  გატოლებით, მივიღებთ ეილერისებურ კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობას

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 T}{l^2} \quad (2.58)$$

დაყვანილი მოდულის შემოღების ქვეშ იგულისხმება: დაყვანილი მოდულის  $T$  შემოღება ექვივალენტურია სხვადასხვა მასალისაგან ( $A_1$  უბანი ექვიმდებარება დრეკად დამოკიდებულებას,  $A_2$  -პლასტიკურს) დამზადებული ღეროს შეცვლისა ერთგვაროვანი ღეროთი, რომელსაც აქვს შემცირებული დრეკადობის მოდული. შეიძლებოდა გაგვეკეთებინა სხვაგვარადაც: გაავარძელოთ (2.56)-ის გარდაქმნა. დაეწვროთ, რომ

$\delta M_i = \frac{E}{\rho} (I_1 + k I_2)$ , სადაც  $k = E_1/E$ . შემოვიღოთ აღნიშნა  $I_{ef} = I_1 + k I_2$  -ინერციის დაყვანილი მომენტი. მაშინ  $\delta M_i = E I_{ef} / \rho$ .

აქედან მივიღებთ კრიტიკული ძაბვების საანგარიშო ფორმულას  $\sigma_{cr} = \pi^2 E / \lambda_{ef}^2$ , სადაც  $\lambda_{ef} = l_0 / i_{ef}$ ,  $i_{ef} = \sqrt{I_{ef} / A}$ .



ნახ. 2.26. ცენტრალურად შეკუმშულ ღეროს დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა მდგრადობის დაკარგვის მომენტში: ა)-ძაბვების ეპიურა; ბ)-ღეროს განივი კვეთი.

$T$ -ს სიდიდის განსაზღვრისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ ნეიტრალური ღერძის 2-2 მდებარეობა (ნახ. 2.26,ბ). ის განისაზღვრება ყველა ძალების ღეროს გრძივ ღერძზე გეგმილების ნულთან ტოლობის პირობიდან  $\sum x = 0$ .

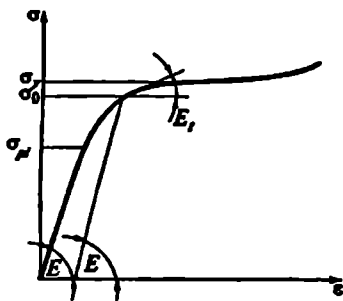
$N$  ძალას აწონასწორებს  $\sigma_0 = N/A$  ძაბვების ეპიურის ტოლქმედი, შესაბამისად ღუნვისაგან გამოწვეული შეკუმშული და გაჭიმული ზონების ტოლქმედები უნდა უტოლდებოდეს ერთმანეთს აბსოლუტური მნიშვნელობით.

$$\int_{A_1} |\sigma_1| dA = \int_{A_2} |\sigma_2| dA \text{ ან } \frac{E}{\rho} \int_{A_1} y dA = \frac{E_1}{\rho} \int_{A_2} y dA \text{ ან } S_1 = k S_2 \quad (2.59)$$

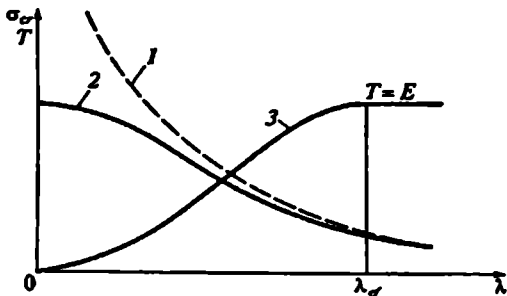
სადაც  $k = E_1/E$ ;  $S_1$  და  $S_2$  არის 2-2 ნეიტრალური ღერძების მიმართ  $A_1$  და  $A_2$  ფართობების სტატიკური მომენტები.

ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის თუ გამოვსახავთ  $S_1$  და  $S_2$ -ს ღეროს კვეთის გეომეტრიული ზომებით, შეიძლება

განისაზღვროს ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა და აქედან გამოვძინარე (2.57) ფორმულიდან  $T$ -ს მნიშვნელობა. მაშინ (2.58) გამოსახულებიდან თუ ჩავთვლით, რომ  $\sigma_0 = \sigma_{cr}$ , შეიძლება განისაზღვროს კრიტიკული მდგომარეობის შესაბამისი მოქნილობა  $\lambda = \pi \sqrt{T/\sigma_0}$ .



ნახ. 2.27. ფოლადის დეკად-პლასტიკური მუშაობის დიაგრამა



ნახ. 2.28. კრიტიკული ძაბვებისა და ტეფორმაციის დაყვანილი მოდულის დამოკიდებულება ღეროს მოქნილობაზე: 1-ეილერის მრუდი; 2-ფოლადი-3-ის კრიტიკული ძაბვების მრუდი; 3-T მოდულის გრაფიკი.

$\sigma_0$ -ზე სხედასხვა მნიშვნელობების მინიჭებით, შეიძლება ავაგოთ  $\sigma_{cr} - \lambda$  დამოკიდებულება (ნახ. 2.28).

ამავე ნახაზზე მოყვანილია სქემატურად  $T - \lambda$  დამოკიდებულება. აქ  $\lambda_{cr}$  არის  $\lambda$ -ს ზღვრული მნიშვნელობა, რომელიც ზღუდავს ეილერის ფორმულის გამოყენების საზღვრებს. როცა  $\lambda < \lambda_{cr}$ ,  $\sigma_{cr}$  და  $T$ -ს მრუდების სახე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მასალის მუშაობის მრუდზე, ე. ი. ფოლადის სახეზე ან ალუმინის შენადნობზე ( $E_t$ -ს გავლენა).

$\sigma_{cr}$ -ის გაანგარიშებისას გამოიყენება (2.59) ტოლობა, რომელიც განსაზღვრავს ნეიტრალური ღერძის მდებარეობას. ის თავის მხრივ დამოკიდებულია ღეროს განივი კვეთის ფორმაზე და მისი ღერძების ორიენტაციაზე.

მაგალითად ნახ. 2.26-ზე ნაჩვენებ მართკუთხა კვეთისათვის  $S_1 = bh_1^2/2$ ;  $S_2 = bh_2^2/2$ . მივიჩნიოთ რომ,  $m = h_2/h_1$ , მაშინ მივიღებთ  $h_2 = mh_1$ ,  $h_1 = (1-m)h$ . ამ მნიშვნელობების (2.59)-ში ჩასმით მივიღებთ  $m = 1/(1 + \sqrt{k})$ . მივიღოთ, რომ ფიქსირებული  $\sigma_0$ -ისათვის



$\sigma - \varepsilon$  გრაფიკის მიხედვით (ნახ. 5),  $E/E_1 = 0,1$ , მაშინ  $m = 0,76$ . ხოლო (2.57) ფორმულის მიხედვით ვღებულობთ  $T = 0,23E$ . დაყვანილი მოდულის ამ მნიშვნელობისათვის  $\sigma_{cr} = 0,23\pi^2 E/\lambda^2$ , აქედან  $\lambda = 0,48\pi \sqrt{E/\sigma_0}$ .

გაანგარიშება ანალოგიურად ხდება ორტესებრი კვეთების შემთხვევაშიც, რომელიც მოყვანილია შესაბამის ლიტერატურაში.

მოყვანილ კლასიკურ სქემაში იგულისხმება, რომ მდგრადობის დაკარგვის მომენტში ღეროს ბოლოების მდებარეობის ცვლილება არ ხდება, მაშინ ღეროს გამობურცული მხრიდან ხდება განტვირთვა და მასალა იწყებს მუშაობას დრეკადი კანონით. მხოლოდ, თუ გრძივი ღუნვისას კუმშვის დეფორმაცია იზრდება, ე. ი. განტვირთვა არ ხდება, მაშინ მთელი კვეთი იქნება პლასტიკურ მდგომარეობაში. უმნიშვნელო ექსცენტრისიტეტების (მკუმშავი ძალის თითქმის ცენტრალური მოქმედებისას) შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაცია ღეროს ამობურცულ მხარესაც წარმოიშობა. დეფორმაციის კვეთის წინააღობადობის ფიზიკური მახასიათებელი შეიძლება იყოს მხოლოდ ღერძული კრიტიკული დაძაბულობის შესატყვისი დეფორმაციის მხები მოდული, ე. ი. ასეთი პლასტიკური მდგომარეობა ყოველთვის ხასიათდება დეფორმაციის მხები მოდულით  $E_1$ .

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ არ არსებობს თვითგანმ-კიცების არე, მაშინ დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში სხვადასხვა ფოლადის მხები მოდულისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ შენლის უბრალო პარაბოლური დამოკიდებულება:

$$E_1 = E \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_{cr} - \sigma_{cl}}{\sigma_{pl} - \sigma_{cl}} \right)^2 \right] \quad (2.60)$$

სადაც  $E_1$  - მხები მოდულია;  $\sigma_{cr}$  - კრიტიკული ძაბვა;  $\sigma_{cl}$  - პროპორციულობის ზღვარი;  $\sigma_{pl}$  - დენადობის ზღვარი;  $E$  - გრძივი დრეკადობის მოდული. (2.60) ფორმულა 1889 წელს პირველად შემოთავაზებული იქნა ენგესერის მიერ, ხოლო 1946 წელს დადასტურებული შენლის მიერ და სტელმახის მიერ ცდებით იქნა დამტკიცებული.

მეორეს მხრივ, ენგესერის გამოთვლით კრიტიკული ძაბვა შეიძლება გამოესახოს მოქნილობისა და მხები მოდულისაგან დამოკიდებულებით:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_1}{\lambda^2} \quad (2.61)$$

(2.61) გამოსახულებაში მხები (2.60)–ში მიღებული მხები მოდულის მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_{\sigma} - \sigma_{el}}{\sigma_{\beta} - \sigma_{el}} \right)^2 \right] \quad (2.62)$$

აქედან ვღებულობთ შემდეგ კვადრატულ განტოლებას:

$$\sigma_{\sigma}^2 - \left[ 2\sigma_{el} - \frac{(\sigma_{\beta} - \sigma_{el})^2}{\pi^2 E} \right] \sigma_{\sigma} + \sigma_{\beta}(2\sigma_{el} - \sigma_{\beta}) = 0 \quad (2.63)$$

მოქნილობის მოცემული მნიშვნელობის შემთხვევაში კრიტიკული დატვირთვისათვის ვღებულობთ:

$$\sigma_{\sigma} = \left[ \sigma_{el} - \frac{(\sigma_{\beta} - \sigma_{el})^2}{2\pi^2 E} \lambda^2 \right] + \sqrt{\left[ \sigma_{el} - \frac{(\sigma_{\beta} - \sigma_{el})^2}{2\pi^2 E} \lambda^2 \right]^2 - \sigma_{\beta}(2\sigma_{el} - \sigma_{\beta})} \quad (2.64)$$

პროფ. ინგუშა მშვენიერაძისა და პროფ. გიზო ფარცხალაძის (ავტორები) მიერ მხები ძაბვების  $E_r$ -ს (2.60) მნიშვნელობა შეყვანილი იქნა დეფორმაციის დაყვანილი მოდულის  $T$ -ს (2.57) გამოსახულებაში. მიღებული დეფორმაციის დაყვანილი მოდულის  $T$ -ს მნიშვნელობა კი კრიტიკული ძაბვის (2.58) განზოგადოებულ მნიშვნელობაში და თუ გავითვალისწინებთ, რომ ვიღვრის კრიტიკული ძაბვა სამართლიანია მხოლოდ კრიტიკულ მოქნილობამდე, გვექნება:

$$\sigma_{\sigma}^* = \frac{\pi^2 E_1 I_1}{\lambda^2 I} + \frac{\pi^2 E_2 I_2}{\lambda_1^2 I} \quad (2.64)$$

$$\sigma_{\sigma}^* = \sigma_{\sigma} \frac{I_1}{I} + \sigma_{\sigma 1} \frac{I_2}{I} \quad (2.65)$$

$\sigma_{\sigma}$  ფორმულის მეორე შესაკრებიდან წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\sigma_{\sigma 1} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_1^2} \left[ 1 - \frac{(\sigma_{\sigma 1} - \sigma_{el})^2}{(\sigma_{\beta} - \sigma_{el})^2} \right] \quad (2.66)$$

(2.66) ფორმულის გარდაქმნით მივიღებთ შემდეგი სახის კვადრატულ განტოლებას:

$$\sigma_{\sigma 1}^2 - \left[ 2\sigma_{el} - \frac{(\sigma_{\beta} - \sigma_{el})^2}{\pi^2 E} \lambda_1^2 \right] \cdot \sigma_{\sigma 1} + \sigma_{\beta}(2\sigma_{el} - \sigma_{\beta}) = 0$$

თუ (2.67)–დან ამოვხსნით კრიტიკული ძაბვის მნიშვნელობას გვექნება:

$$\sigma_{cr}^* = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{cr}^2} \left(1 - \frac{I_2}{I}\right) + \left[ \sigma_{cl} - \frac{\lambda_i^2 (\sigma_{fl} - \sigma_{cl})^2}{2\pi^2 E} \right] \cdot \frac{I_2}{I} + \frac{I_2}{I} \sqrt{\left[ \sigma_{cl} - \frac{\lambda_i^2 (\sigma_{fl} - \sigma_{cl})^2}{2\pi^2 E} \right]^2 - \sigma_{fl} (2\sigma_{cl} - \sigma_{fl})} \quad (2.67)$$

ჩატარებული ანალიზი აჩვენებს, რომ (2.67) ფორმულით მიღებული კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები არის სხვებთან შედარებით უფრო მაღალი მნიშვნელობის და უფრო მეტად დაზუსტებული.

2.6.4. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადობის შემოწმება. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებში აღძრული ძაბვები უნდა იყვეს ნაკლები კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობაზე

$$\frac{N}{A_n} \leq \sigma_{cr} \quad (2.68)$$

თუ გაეყოფთ კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობას მასალის საანგარიშო წინააღობაზე მივიღებთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს:

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{R_y} \Rightarrow \sigma_{cr} = \varphi \cdot R_y \quad (2.69)$$

თუ შევიტანთ (2.69) მე-(2.68)-ში მივიღებთ საშუალო და დიდი მოქნილობის ღეროების მდგრადობაზე შემოწმების ფორმულას:

$$\frac{N}{A_n} \leq \varphi R_y \gamma_c \quad (2.70)$$

$\varphi$  -ს მნიშვნელობა აიღება დანართი 8-დან ღეროს მოქნილობასა ( $\lambda$ ) და ფოლადის საანგარიშო წინააღობასთან ( $R_y$ ) დამოკიდებულებაში.

2.7. ზღვრული მდგომარეობები და გარეცენტრალურად გაჭიმული და გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება. გარეცენტრალურად გაჭიმული და ხისტი გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების ზღვრული მდგომარეობები განისაზღვრება ზიდვის უნარის მიხედვით (სიმტკიცის პირობით ან პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებით), ხოლო მოქნილი გარეცენტრალურად შეკუმშულის-მდგრადობის დაკარგვით.

2.7.1. გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება. ღეროზე ღერძული ძალის  $N$  და მღუნავი მომენტის  $M$  ერთდროულად მოქმედებისას მისი ზიდვის უნარი განისაზღვრება განივი კვეთის ზომებითა და მასალის ზღვრული სიმტკიცით. თუ მღუნავი მომენტი გამოწვეულია დატვირთვის

გარეცენტრალურად მოდებისაგან  $M = Ne$  (ნახ. 2.29,ა.), მაშინ ღეროს ეწოდება გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული). თუ მომენტი გამოწვეულია განივი ძალით, მაშინ ღეროს ეწოდება შეკუმშულ-გაღუნული (გაჭიმულ-გაღუნული) (ნახ. 2.29,ბ), ექვივალენტური ექსცენტრისიტეტით  $e = M/N$ .

მასალის დრეკად არეში მუშაობისას ღეროს განივ კვეთში ძაბვები წარმოადგენენ ცენტრალური კუმშვისაგან გამოწვეულ ძაბვებისა  $\sigma_N = N/A$  და ღუნვისაგან გამოწვეულ ძაბვების  $\sigma_M = My/I_x$  ჯამს (ნახ. 2.30,ა). კვეთის ყველაზე მეტად შეკუმშული ნაწილის მიერ დენადობის მიღწევისას, ძაბვები იქნება შემოსაზღვრული დენადობის ზღვრით, ხოლო საპირისპირო მხარეს დაიწყებს გაზრდას გამჭიმავი ძაბვები (ნახ. 2.30,ბ).

ზღვრულ მდგომარეობაში ძაბვების ეპიურა იქნება შედგინილი სხვადასხვა სიდიდის ორი მართკუთხედისაგან.

ღუნვისას პლასტიკური სახსრის გაჩენის ანალოგიურ მდგომარეობას (ნახ.2.13,გ იხ. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება) შეესაბამება გარეცენტრალური კუმშვისას (გარეცენტრალური გაჭიმვისას) გაჩენილი პლასტიკური სახსარი.  $c$  სივანის მქონე ეპიურის ორი სხვადასხვა ნიშნა ნაწილები, აწონასწორებენ გარე მომენტს  $M = Pa$ , დანარჩენი ნაწილები კი ღერძულ ძალას  $N$ .

ზოგად შემთხვევაში, როდესაც ელემენტზე მოქმედებს ღერძული  $N$  ძალა და მომენტი ორი მიმართულებით  $M_x$  და  $M_y$ , სიმტკიცის მიხედვით ზღვრული ზიდვის უნარი მოწმდება ფორმულით:

$$\left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n \pm \frac{M_x}{c_x W_{xn, \min} R_y \gamma_c} \pm \frac{M_y}{c_y W_{yn, \min} R_y \gamma_c} \leq 1$$

სადაც  $A_n$ ,  $W_{xn, \min}$ ,  $W_{yn, \min}$  არის ღეროს განივი კვეთის ფართობი და წინალობის შესაბამისი ნეტო მომენტები;  $c_x$ ,  $c_y$  და  $n$  კოეფიციენტებია, რომლებიც ითვალისწინებენ მასალის ზიდვის უნარის მარაგს პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებისას (ღუნვადი ელემენტების ანალოგიურად იხ. 2.36 ფორმულა).

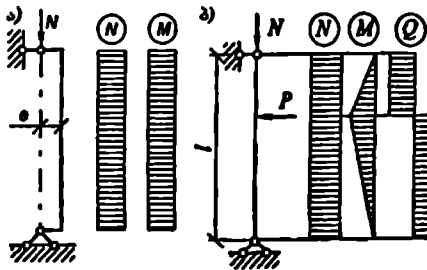
გარეცენტრალურად შეკუმშული (გარეცენტრალურად გაჭიმული) კონსტრუქციის ელემენტებზე დინამიკური ზემოქმედებისას, ასევე კონსტრუქციის ელემენტებისათვის, რომლებიც დამზადებული არიან მაღალი სიმტკიცის ფოლადებისაგან—საანგარიშო წინალობით  $R > 580$  მპა, სიმტკიცის პირობა განისაზღვრება ძაბვების საანგარიშო წინალობაზე მიღწევით. მათი გაანგარიშება სრულდება მასალის მუშაობის

დრეკად არეში ზემოთმოყვანილი ფორმულით, მხოლოდ უნდა მივიღოთ, რომ  $n = c_x = c_y = 1$  ე. ი.

$$\frac{N}{A_m} \pm \frac{M_x}{I_{xm}} y \pm \frac{M_y}{I_{ym}} x \leq R_y \gamma_c$$

2.7.2. გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობაზე გაანგარიშება. ახლა შევიხილავთ გარეცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობის საკითხი დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში და განვსაზღვროთ ღეროს გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი გარეცენტრალური კუმშვისას, ესე იგი, მაშინ როცა მკუმშავი ძალა ელემენტის გეომეტრიული ღერძიდან დაცილებულია  $e$  მანძილით. როგორც ვთქვი, ამ ღეროს კუმშვასთან ერთად ადგილი აქვს განივ ღუნვასაც (ნახ. 2.29,ა). თუ გრძივ ძალასთან ერთად მოქმედებს განივი დატვირთვაც, მაშინ ელემენტი განიცდის კუმშვა-ღუნვის დეფორმაციას (ნახ. 2.29,ბ). განსხვავება ამ ორ დეფორმაციას შორის შემდეგია: პირველ შემთხვევაში, ძალის ექსცენტრული მოქმედებით წარმოშობილი მღუნავი მომენტი  $M_{\omega} = Ne$  იცვლება  $N$  ძალის ცვლილების პროპორციულად. მეორე შემთხვევაში  $M$  და  $N$  იცვლებიან ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად.

მიუხედავად ამისა, გარეცენტრალურად შეკუმშული და შეკუმშულ-გაღუნული ელემენტების მუშაობათა შორის განსხვავება იმდენად მცირეა, რომ უკანასკნელს ანგარიშობენ გარეცენტრალური კუმშვის ფორმულებით.

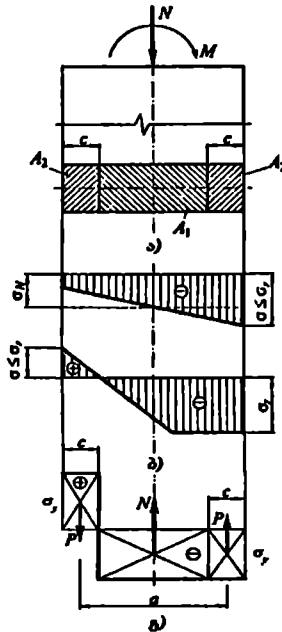


ნახ. 2.29. შეკუმშული ღერო:

- ა) გარეცენტრალურად შეკუმშული ღერო
- ბ) შეკუმშულ-გაღუნული ღერო

მკუმშავი ღერძული ძალის მოქმედების დროსაც კი რეალურად ყოველთვის არსებობს შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტი. გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მუშაობა დიდი თუ

მცირე ექსცენტრისიტეტით პრინციპულად ერთმანეთისაგან არ განსხვავდება. ექსცენტრისიტეტის და მღუნავი მომენტების დიდი რიცხვითი მნიშვნელობა უფრო ნათლად აისახება არაცენტრალურად შეკუმშული ღეროების მუშაობაზე, მდგრადობის დაკარგვის პროცესი კი ისეთივეა.



ნახ. 2.30. პლასტიკური სახსრის განვითარება ღეროზე ღერძული ძალისა და მღუნავი მომენტის მოქმედებისას:

ა) ძაბვების ეპიურა მასალის დრეკად არეში მუშაობისას; ბ) იგივე დრეკად-პლასტიკურ არეში; გ) ღეროს განივ კვეთში ძაბვებისა და ძაღვების განაწილების ეპიურა პლასტიკური სახსრის გაჩენისას.

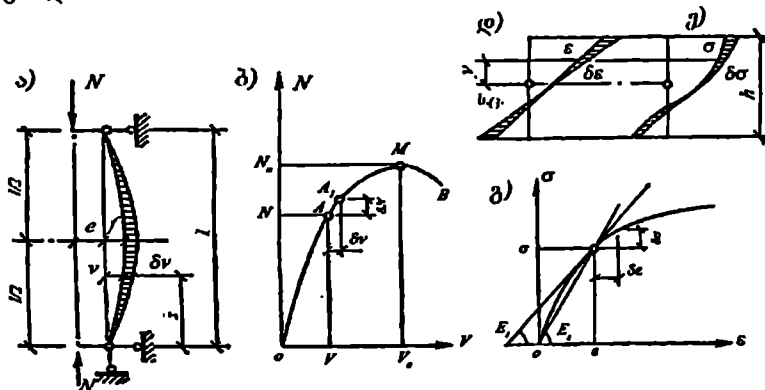
განვიხილოთ ორი ბოლოთი სახსრულად ჩამაგრებული ღერო, რომელზეც მოქმედებს მკუმშავი გრძივი  $N$  ძალა  $e$  ექსცენტრისიტეტით (ნახ. 2.31,ა).

ღერო არის მცირე ან საშუალო მოქნილობის, რაც განაპირობებს მის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში მუშაობას.

მომენტის მოქმედების სიბრტყეში ღეროს გაღუნვა იწყება მკუმშავი ძალის მოქმედების საწყისი მომენტიდან, ამიტომ მის გაანგარიშებას ვახდენთ დეფორმირებული სქემის მიხედვით.

2.31-ბ) ნახაზზე ნაჩვენებია დამოკიდებულება  $N$  მკუმშავ ძალასა და  $v$  ჩალუნვას შორის  $OMB$  დიაგრამის სახით. დიაგრამის აღმავალი შტო ახასიათებს ელემენტის მდგრად მდგომარეობას, დაღმავალი შტო-არამდგრად მდგომარეობას.

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, ელემენტის ზიდვის უნარი ტოლია მკუმშავი ძალის  $N$ -ის იმ მაქსიმალური მნიშვნელობისა, რომელიც შეუძლია აიტანოს ღერომ ისე, რომ არ დაკარგოს მდგრადობა.



ნახ. 2.31. გარეცხვრალურად შეკუმშული ღეროს მუშაობა

ა)-საანგარიშო სქემა; ბ)-წონასწორული მდგომარეობის მრუდი; გ)-მასალის მუშაობის დიაგრამა დ)-დეფორმაციის ეპიურა ე)-ძაბვების ეპიურა.

კრიტიკული ძალის განსაზღვრისათვის ვითვალისწინებთ ზოგიერთ დაშვებებს:

გადაადგილებები ჩავთვალოთ საკმაოდ მცირედ, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვიყენოთ გაღუნული წირის მიახლოებითი გამოსახულება:

$$\frac{1}{\rho} = -v'' \quad (2.71)$$

ფარდობითი დეფორმაციები განივ კვეთში  $\epsilon$  განისაზღვრება ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზის თანახმად.

$$\epsilon = \epsilon_0 + \frac{1}{\rho} y = \epsilon_0 - v'' y; \quad (2.72)$$

კავშირი ნორმალურ ძაბვებსა  $\sigma$  და ფარდობით დეფორმაციებს  $\epsilon$  შორის განისაზღვრება დამოკიდებულებებით:

$$\sigma = E\epsilon \quad (2.73)$$

კრიტიკული ძალის დადგენისათვის განვიხილოთ წონასწორობის პირობა  $OMB$  მრუდის  $A$  წერტილში კვეთში მოქმედი შიდა და გარე ძალებისა და შიდა და გარე მღუნავი მომენტებისათვის, რომელთაც ექნებათ სახე:

$$-\int_A \sigma dA + N = 0 \qquad -\int_A \sigma y dA + N(v + e) = 0 \qquad (2.74)$$

პარალელურად განვიხილოთ წონასწორობის პირობები  $A_1$  წერტილისათვის, რომელიც დაცილებულია  $A$  წერტილიდან ელემენტარული  $\delta V$  გადაადგილებით. ამასთან, დეფორმაციები და ძაბვები კვეთში შესაბამისად იღებენ ნაზრდებს:  $\delta \epsilon$   $\delta \nu$  და  $\delta \sigma$   $\delta \nu$  (ნახ. 2.31, ბ, გ). შიდა და გარე ძალების და მღუნავი მომენტების წონასწორობის განტოლებებს  $A_1$  წერტილისათვის ექნება სახე:

$$\begin{aligned} & -\int_A (\sigma + \delta \sigma) dA + N + \delta N = 0 \\ & -\int_A (\sigma + \delta \sigma) y dA + (N + \delta N)(v + \delta \nu + e) = 0 \end{aligned} \qquad (2.75)$$

ძალების და მომენტების წონასწორობის განტოლებებს  $A_1$  წერტილისათვის თუ გამოვაკლებთ წონასწორობის განტოლებებს  $A$  წერტილისათვის და მიღებული შედეგიდან გამოვირიცხავთ მეორე რიგის უსასრულოდ მცირე სიდიდეებს  $(\delta N \delta \nu) = 0$ , მივიღებთ წონასწორობის პირობას ნაზრდებისათვის.

$$-\int_A \delta \sigma dA + \delta N = 0 \qquad -\int_A \delta \sigma y dA + N \delta \nu + \delta N(v + e) = 0 \qquad (2.76)$$

მიღებული განტოლებები მართებულია  $OMB$  მრუდის (ნახ. 2.31, ბ) ნებისმიერ წერტილში წონასწორობის მდგომარეობის  $M$  წერტილამდე.

ჩვენთვის პრაქტიკულად საინტერესოს წარმოადგენს ამ განტოლების სახე  $OMB$  მრუდის მაქსიმალური წერტილისათვის.

$M$  წერტილის უსასრულოდ მცირე სიახლოვეში მკუმშავი ძალა მუდმივი სიდიდეა, რის გამოც გვაქვს  $(\delta N = 0)$ , ამის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$-\int_A \delta \sigma dA = 0 \qquad -\int_A \delta \sigma y dA + N \delta \nu = 0 \qquad (2.77)$$



მასალის მუშაობის დიაგრამიდან გვაქვს:

$$\delta\sigma = \delta\varepsilon \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_1 \delta\varepsilon \quad (2.78)$$

სადაც  $E_1$  არის ღეროს მასალის მუშაობის დიაგრამის მხები მოდული (ნახ. 2.31,გ)

თუ განვიხილავთ (2.72) განტოლებას ნაზრდებში და  $\delta\varepsilon_0$ -ს გამოვრიცხავთ, რადგან  $\varepsilon_0$  მუდმივია მისი ნაზრდი ნულის ტოლია და მიღებულ გამოსახულებას შევიტანთ (2.78) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\delta\sigma = -E_1 \delta^{\nu} y \quad (2.79)$$

ძაბვის ნაზრდის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (2.77)-ე განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\int_A E_1 \delta^{\nu} y^2 dA + N \delta\nu = 0 \quad (2.80)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $E_1 I = EI$ , და  $\int_A y^2 dA = I$ , მაშინ

$$EI \delta^{\nu} + N \delta\nu = 0 \quad (2.81)$$

სადაც  $I$ , არის დაყვანილი განივი კვეთის ინერციის მომენტი მხები მოდულის გათვალისწინებით, მისი საკუთარი ცენტრალური ღერძის მიმართ.

2.81 განტოლების ამონახსნი ჩაიწერება ასე:

$$\nu = f \sin \frac{\pi z}{l} \quad (2.82)$$

ამ ამონახსნის გათვალისწინებით (2.81) ფორმულიდან მიიღება:

$$N_u = \frac{\pi^2 EI_1}{l^2} \quad (2.83)$$

მივიღეთ კრიტიკული ძალის გამოსახულება  $E_1$  მხები მოდულის მიხედვით. ასევე ტოლობის მიღება შეიძლება მკვეთი დრეკადობის მოდულის შემთხვევაში. ამისათვის განვიხილოთ (2.74) განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლება (2.73)-ის გათვალისწინებით, მაშინ დრეკადი წირის განტოლებას ექნება სახე:

$$EI_{ef}v'' + N(v+e) = 0 \quad (2.84)$$

სადაც  $I_{ef} = M/E\rho$  არის დაყვანილი განივი კვეთის ინერციის მომენტი შვედის მოდულის გათვალისწინებით მისი საკუთარი ცენტრალური ღერძის მიმართ ( $E_s I = EI_{ef}$ )

თუ გავაწარმოებთ (2.82) განტოლებას ორჯერ და შევიტანთ (2.84)-ში მივიღებთ:

$$-\frac{\pi^2}{l^2} f \sin \frac{\pi}{l} z + k^2 f \sin \frac{\pi}{l} z = -k^2 e; \quad (2.85)$$

$$\text{აქ } k^2 = \frac{N}{E_s I}$$

$$-\frac{\pi^2}{l^2} f \sin \frac{\pi}{l} z = k^2 f \sin \frac{\pi}{l} z + k^2 e; \quad (2.86)$$

როცა  $z = \frac{l}{2}$  მაშინ (2.86) გადაიწერება ასე

$$\frac{\pi^2}{l^2} f = \frac{N}{E_s I} f + \frac{N}{E_s I} e; \quad (2.87)$$

$$\text{აქედან } f = \frac{N I^2}{\pi^2 E_s I} f + \frac{N I^2}{\pi^2 E_s I} e \quad (2.88)$$

$$\text{ვიცით რომ, } E_s I = EI_{ef} \Rightarrow \frac{\pi^2 E_s I}{l^2} = N_{ef}$$

ამიტომ (2.88) გადაიწერება ასე:

$$f = \frac{N}{N_{ef}} f + \frac{N}{N_{ef}} e \Rightarrow f \left( 1 - \frac{N}{N_{ef}} \right) = \frac{N e}{N_{ef}} \quad (2.89)$$

$$f = \frac{N e}{N_{ef} \left( 1 - \frac{N}{N_{ef}} \right)} = \frac{N e}{N_{ef} - N} = \frac{e}{\frac{N_{ef}}{N} - 1}; \quad (2.90)$$

$$f + e = \frac{N e}{N_{ef} - N} + e \Leftrightarrow f + e = e \left( \frac{N + N_{ef} - N}{N_{ef} - N} \right) \quad (2.91)$$

$$f + e = \frac{N e}{1 - \frac{N}{N_{ef}}} \quad (2.92)$$

(2.84) განტოლების ამონახსნს (2.82) განტოლების გათვალისწინებით  $OMB$  მრუდის  $M$  წერტილისათვის (ნახ. 2.31.), როცა  $v = f$  და  $N = N_u$  ექნება სახე:

$$M = N_u(e + f) = \frac{N_u e}{1 - \frac{N_u}{N_{ef}}} \quad (2.93)$$

სადაც

$$N_{ef} = \frac{\pi^2 EI_{ef}}{l^2}$$

გამომდინარე კრიტიკული ძალებიდან, კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები იქნება:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\pi^2 E}{\lambda_1^2} & \sigma_{ef} &= \frac{\pi^2 E}{\lambda_{ef}^2} \\ N_1 &= \sigma_1 A_1 & N_{ef} &= \sigma_{ef} A_{ef} \end{aligned}$$

თუ (2.93) განტოლებაში კრიტიკული ძალების მნიშვნელობების ნაცვლად შევიტანთ კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$e + f = \frac{e}{1 - \frac{\sigma_1}{\sigma_{ef}}} \quad (2.94)$$

$\sigma_1$  და  $\sigma_{ef}$  მიღებული ორი ძაბვიდან კრიტიკული ძაბვა მხები მოდულის მიხედვით მივიღოთ დენადობის ზღვრად და დავწეროთ შეკუმშულ-გაღუნული ღეროს ძაბვების გამოსათვლელი ფორმულა:

$$\sigma_y = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{N}{A} + \frac{N(e+f)}{W} = \frac{N}{A} \left( 1 + \frac{e+f}{r} \right) \quad (2.95)$$

სადაც  $r = W/A$  კვეთის გულის რადიუსია (შემდგომში კვეთის გულის რადიუსი აღნიშნული გვექნება  $\rho$  სიმბოლოთი).

აქ ხდება დაშვება იმისა, რომ შეკუმშულ ბოჭკოებში ძაბვების მნიშვნელობა აღწევს დენადობის ზღვარს.

(2.95) განტოლებიდან (2.94)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\sigma_y = \sigma_{cr} \left( 1 + \frac{e}{r} \cdot \frac{\sigma_{ef}}{\sigma_{ef} - \sigma_{cr}} \right) \quad (2.96)$$

რომლის გარდაქმნით  $\sigma_{cr}$ -ის მიმართ მივიღებთ:

$$\sigma_{cr}^2 - \sigma_{cr} \left[ \sigma_{ef} \left( 1 + \frac{e}{r} \right) + \sigma_y \right] + \sigma_y \sigma_{ef} = 0 \quad (2.97)$$

თუ განტოლების ორივე მხარეს გავყოფთ  $\sigma_y^2$ -ზე და გავითვალისწინებთ, რომ  $\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \varphi_{ex}$ , მივიღებთ:

$$\varphi_{ex}^2 - \varphi_{ex} \left[ \frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y} \left( 1 + \frac{e}{r} \right) + 1 \right] + \frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y} = 0 \quad (2.98)$$

მივიღეთ კვადრატული განტოლება  $\varphi_{ex}$ -ის მიმართ, რომლის ამონახსნს აქვს სახე:

$$\varphi_{ex} = \frac{\frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y} \left( 1 + \frac{e}{r} \right) + 1 \pm \sqrt{\left[ \frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y} \left( 1 + \frac{e}{r} \right) + 1 \right]^2 - \frac{4\sigma_{ef}}{\sigma_y}}}{2} \quad (2.99)$$

იმისათვის, რომ დაერწმუნდეთ ჩვენი გაანგარიშების სისწორეში, შევამოწმოთ იგი. დავუშვათ, რომ  $e = 0$ , მაშინ ადგილი უნდა ჰქონდეს ცენტრალურ კუმშვას. მართლაც, როცა  $e = 0$

$$\varphi_1 = \frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y} \quad \varphi_2 = 1$$

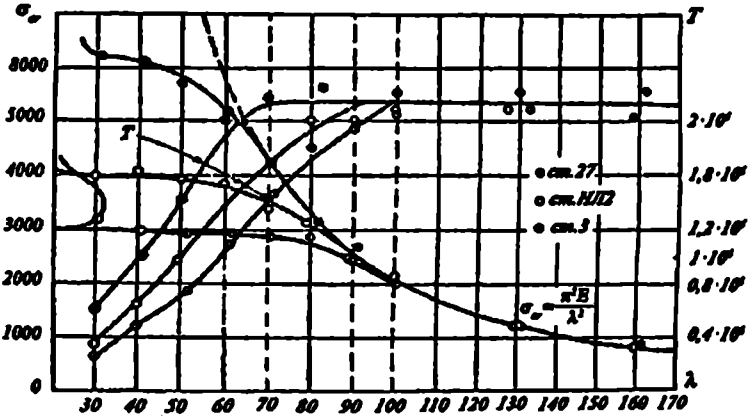
ესე იგი, პირველი ამონახსნის მიხედვით გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი განისაზღვრება ზუსტად ისევე, როგორც ცენტრალური კუმშვისას —  $\varphi_1 = \sigma_{ef} / \sigma_y$ . მეორე ამონახსნის მიხედვით  $\varphi_2 = 1$  გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი 1-ის ტოლია აბსოლუტურად ხისტი ღეროებისათვის, რომელთა მოქნილობა  $\lambda = 0$

2.32 ნახაზზე მოცემულია სტელმახის,  $\sigma$ -ს და  $\lambda$ -ს დამოკიდებულების, ექსპერიმენტული დიაგრამები სხვადასხვა ფოლადებისათვის.

1-ლი დიაგრამის მიხედვით, ელემენტის მდგრადობის კარგვა ხდება პროპორციულობის ზღვრის ფარგლებში. ეს დამახასიათებელია ღეროებისათვის, რომელთა მოქნილობა  $\lambda$  ძალიან დიდია ( $\lambda > 100$ ) ამ დროს კრიტიკული ძალა და ძაბვა განისაზღვრება ეილერის ფორმულის მიხედვით.

მე-2, მე-3 დიაგრამების მიხედვით მდგრადობის კარგვა ხდება მასალის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში, ე. ი. პროპორციულობის ზღვრის გარეთ და დენადობის ზღვრამდე.

სწორედ ამ სტადიას შეეხებოდა ჩვენს მიერ ამ პარაგრაფში განხილული საკითხი.



ნახ. 2.32.  $\sigma$  და  $\lambda$ -ს დამოკიდებულების ექსპერიმენტული დიაგრამები სხვადასხვა ფოლადებისათვის

2.73. გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობის შემოწმება. გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადობაზე შემოწმება ხდება ფორმულით

$$\frac{N}{\varphi_{ex} A} \leq R\gamma \quad (2.100)$$

სადაც,  $\varphi_{ex} = \frac{\sigma_{cr,ex}}{R}$  საანგარიშო წინაღობის სემამცირებელი კოეფიციენტია გარეცენტრალური კუმშვისას. ის განისაზღვრება პირობითი მოქნილობისა  $\bar{\lambda} = \lambda\sqrt{R/E}$  და დაყვანილი ექსცენტრისიტეტით  $m_1$ , რომელიც თავის მხრივ ტოლია

$$m_1 = \eta \cdot m$$

აქ  $\eta$  არის კვეთის ფორმის გავლენის კოეფიციენტი და აიღება დანართი 11-დან;  $m = eA/W_c$  არის ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი (ექსცენტრისიტეტის დამოკიდებულება კვეთის გულის რადიუსთან);  $W_c$  არის ყველაზე მეტად შეკუმშული ბოჭკოების წინაღობის მომენტი;  $e = M/N$  -ნომალური ძალის მოდების ექსცენტრისიტეტი;  $M$  -საანგარიშო მომენტი.

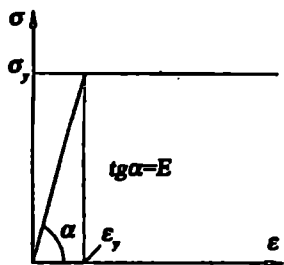
$\varphi_{ex}$ -ის მნიშვნელობები მოყვანილია დანართი 9-ში.

გამჭოლკედლიან სვეტებში  $\eta$  არ გაითვალისწინება, ამიტომ  $\sigma_{ex}$ -ის მნიშვნელობები მოყვანილია დანართი 10-ში.

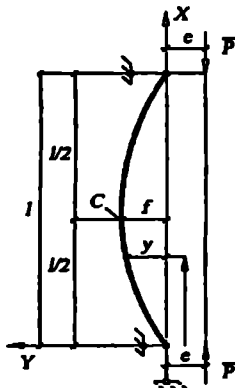
2.8. იდეალიზებული დრეკად-პლასტიკური მასალისგან შედგენილი ღეროების მდგრადობა. შეკუმშული დრეკად-პლასტიკური ღეროს მდგრადობის თეორიული მოდელი ეყრდნობა: ე. ხვალის მიერ შემოთავაზებულ იდეას, რომელიც პრაქტიკულად რეალიზებული იქნა კ. ექეკის შრომებში. ჩაეთვალეთ, რომ ღეროს მასალა აკმაყოფილებს პრანდტლის დიაგრამას, ნახ. 2.33.

ამ დიაგრამის ( $\sigma - \epsilon$ ) მიხედვით მასალის მუშაობა OA წრფეზე ექვემდებარება ჰუკის კანონს ( $\sigma = E\epsilon$ ); AB წრფეზე ხდება მასალის დეფორმაციების შემოუსაზღვრელი განვითარება (დენადობის ბაქანი) მუდმივი  $\sigma_y$ , ძაბვებისას, მას დენადობის ზღვარი ეწოდება. დენადობის ბაქანის დასაწყისი ხასიათდება დეფორმაციით, რომელიც ტოლია  $\epsilon_y = \sigma_y / E$ . ნახ. 2.33-ზე ნაჩვენები დიაგრამა ერთნაირია მასალის, როგორც გაჭიმვისას, ისე კუმშვისას.

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ნორმებში ღეროს ძირითად საანგარიშო მოდელად ითვლება სახსრულად დაყრდნობილი ექსცენტრულად შეკუმშული ღერო ნახ. 2.34. კუმშვადი ძალები  $P'$  მოდებულია ერთნაირი  $e$  ექსცენტრისიტეტებით, ღეროს სიგრძე არის  $l$ . ღეროს შუაში ჩაღუნვა აღნიშნულია  $f$ -ით.



ნახ. 2.33. პრანდტლის დიაგრამა

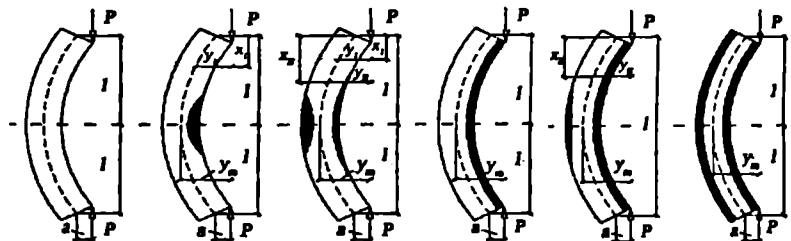


ნახ. 2.34. სახსრულად დაყრდნობილი ექსცენტრულად შეკუმშული ღეროს საანგარიშო სქემა

თავდაპირველად განვიხილოთ მუდმივი (მთლიანკედლიანი) მართკუთხა კვეთის მქონე დრეკად-პლასტიკური ღეროს დაძაბულ-დეფორმირებული კვეთი. აღმოჩნდა, რომ აუცილებელია განვიხილოთ იქნას ღეროს სიგრძის გასწორე პლასტიკური ზონის განვითარების ხუთი შემთხვევა ნახ. 235...

- I შემთხვევაში ღეროს მასალა აკმაყოფილებს პუკის კანონს. ამ შემთხვევაში ღეროს მდგრადობის დაკარგვა არ მოხდება.
- II - შემთხვევაში პლასტიკური ზონა ვითარდება ღეროს სიგრძის შუა ნაწილში შეზნექილი მხრიდან.
- III - შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციები ვითარდება ღეროს სიგრძის შუა ნაწილში ორივე მხრიდან.
- IV- შემთხვევაში პლასტიკური ზონა ვითარდება ღეროს მთელ სიგრძეზე უფრო მეტად შეკუმშული ბოჭკოების მხრიდან.
- V- შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციები ვრცელდება ღეროს მთელ სიგრძეზე შეზნექილი მხრიდან და ღეროს შუა ნაწილში გამობურცული მხრიდან.
- VI- შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციები განვითარება ხდება ღეროს მთელ სიგრძეზე, როგორც ამოზნექილი მხრიდან, ისე შეზნექილი მხრიდან. ნახ. 235.

➤



ნახ. 235. პლასტიკური ზონის განვითარების ხუთი შემთხვევა

კრიტიკული დამოკიდებულებების ველზე "სიგრძე-ძალა-ექსცენტრისტეტი" ყოველი შემთხვევა შეესაბამება აღნიშნული სიდიდეების  $l, P, e$  განსაზღვრულ დამოკიდებულებას.

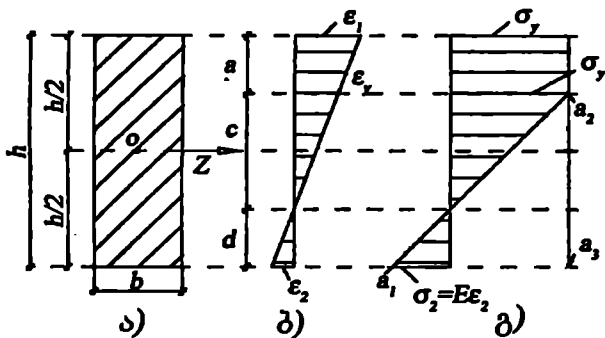
I-შემთხვევა-დრეკადი გარეცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა განხილული გვაქვს ადრე, აღნიშნაეთ, რომ დრეკადი ღერო მდგრადობას კარგავს, მხოლოდ ცენტრალური კუმშვისას, ხოლო გარეცენტრალური კუმშვისას დრეკადი ღერო მდგრადობას არ კარგავს.

დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში (II-VI შემთხვევა) ღეროს მდგრადობის ამოცანის ანალიზური გადაწყვეტა წარმოადგენს რთულ მათემატიკურ დამოკიდებულებას, რადგან აუცილებელია პლასტიკურობის ყოველ უბანზე მოხდეს დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება და გათვალისწინებული იქნას უბნების ერთმანეთთან შეუღლების პირობები. ამიტომ დრეკად-პლასტიკური მდგრადობის ამოცანებში ფართოდ გამოიყენება გაღუნული ღეროს ღერძის განტოლების მიახლოებითი წარმოდგენა (აპროქსიმაცია), რომელიმე შესაბამისი მრუდით, ასევე ხდება ამ მიახლოებითი წარმოდგენის დასაბუთება.

ქვემოთ მოყვანილია ერთ-ერთი ასეთი მიახლოებითი ამოხსნა, რომელიც გამოიყენება პრაქტიკაში. კონსტრუქციების მდგრადობაზე გაანგარიშების ნორმების შედგენისას, მიახლოებით ამოხსნაში, აღმოჩნდა, რომ შესაძლებელია განხილული იქნას მხოლოდ ერთი შუა კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. დაუშვათ, რომ ეს კვეთი მართკუთხაა.

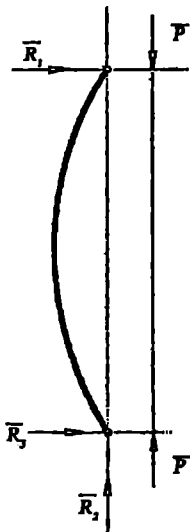
განვიხილოთ ცალმხრივი დენადობის შემთხვევა, რომელიც ჩნდება ღეროს შუა კვეთში. ნახ. 2.36.

ბმებისაგან გათავისუფლების პრინციპის საფუძველზე თავდაპირველად მოეხსნათ სისტემაზე მოდებული ბმები და მათ ნაცვლად მოვდოთ საყრდენთა რეაქციები ნახ. 2.37. წონასწორობის 3 განტოლებიდან ვპოულობთ, რომ საყრდენთა რეაქციები  $R_1, R_2, R_3$  ტოლია ნულის. შემდგომ გაკვეთით ღერო შუაზე  $C$  კვეთში და მოვაცილოთ ზედა ნაწილი ნახ. 2.38.

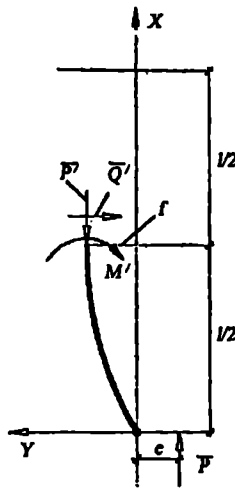


ნახ. 2.36. კვეთში ფარდობითი დეფორმაციებისა და ძაბვების განაწილება ცალმხრივი დენადობის შემთხვევაში





ნახ. 2.37. ღეროზე საყრდენ რეაქციების მოღება



ნახ. 2.38.6. ღეროს გაკვეთა

$P'$  ძალა არის ნორმალური ძაბვების ეპიურის მთავარი ვექტორი (ნახ 2.36);  $M'$  მომენტი არის ნორმალური ძაბვის ეპიურის მთავარი მომენტი. შუა კვეთში განივი ძალა  $Q'$  ტოლია ნულის.

კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზისას გამოიყენება ორი ჰიპოთეზა. პირველი: ბრტყელ კვეთთა ჰიპოთეზა; მეორე: ითვლება, რომ კვეთში ყოველ ბოჭკოს გააჩნია  $\sigma - \epsilon$  დიაგრამა პრანდტლის დიაგრამის სახით ნახ. 2.33. ამ ორი ჰიპოთეზის საფუძველზე მოინახება მთავარი ვექტორის  $\overline{P'}$  და მთავარი მომენტის  $\overline{M'}$ -ის სიდიდეები ნახ. 2.38.

ვწერთ შუა კვეთით მოცილებული ნახევარი ღეროს წონასწორობის ორ განტოლებას (ნახ. 2.38).

$$P = P'; \quad (2.101)$$

$$M = P(e + f) = -M' \quad (2.102)$$

ნორმალური ძაბვების ეპიურის მთავარი ვექტორის  $\overline{P'}$ -ის მოღული ტოლია (ნახ. 2.36,გ)

$$\overline{P'} = bh\sigma_y - \frac{1}{2}b(\sigma_2 + \sigma_y)(h-a) \quad (2.103)$$

აქედან (2.101)-ის გათვალისწინებით

$$P_y - P = \frac{1}{2}b(\sigma_2 + \sigma_y)(h-a) \quad (2.104)$$

სადაც  $P_y = bh\sigma_y$ ,

ნორმალური ძაბვების ეპიურის მთავარი მომენტი (2.103)-ის მიხედვით ტოლია, (ნახ. 2.36,გ)

$$M' = P_y \cdot 0 - \frac{1}{2}b(\sigma_2 + \sigma_y)(h-a) \left[ \frac{h}{2} - \frac{1}{3}(h-a) \right], \quad (2.105)$$

სადაც  $\left[ \frac{h}{2} - \frac{1}{3}(h-a) \right]$  არის, ძაბვების სამკუთხედის  $a_1, a_2, a_3$

ტოლქმედი ძალის მხარი (ნახ. 2.36,გ) კვეთის სიმძიმის  $O$  ცენტრის მიმართ (ნახ. 2.36,ა).

(2.105)-ის გარდაქმნით (2.104)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$M' = -(P_y - P) \left( \frac{h+2a}{6} \right) \quad (2.106)$$

(2.106)-ის (2.102)-ში ჩასმით ვპოულობთ:

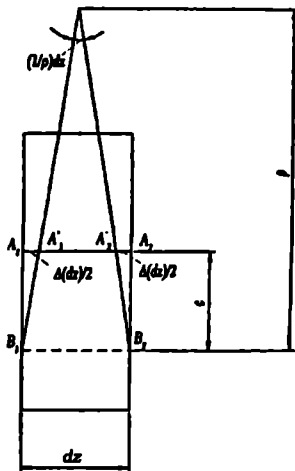
$$P(e+f) = (P_y - P) \frac{h+2a}{6} \quad (2.107)$$

აქედან განისაზღვრება ღეროს შუა კვეთში ჩაღუნვა:

$$f = \frac{P_y - P}{P} \cdot \frac{h+2a}{6} - e \quad (2.108)$$

მეორეს მხრივ ეს ჩაღუნვა შეიძლება განისაზღვროს შუა კვეთის დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრებით (ნახ. 2.36,ბ). ამისათვის გამოვიყენოთ ორი პიპოთეზა. პირველი მათგანი, ბრტყელ კვეთთა პიპოთეზა, აღნიშნული გეკონდა ზემოთ. მისი საშუალებით ღეროს სიმრუდე განსახილველ კვეთში გამოითვლება შემდეგნაირად:

ამოვჭრათ ღეროდან ელემენტი, რომლის სახე დეფორმაციამდე და დეფორმაციის შემდეგ ნაჩვენებია ნახ. 2.39-ზე. განვიხილოთ ნეიტრალური ღერძის პარალელური და მისგან  $c$  მანძილზე განლაგებული ( $A_1 A_2$ ) ბოჭკო, ამასთან



ნახ. 2.39. გაღუნული ღეროდან ამოჭრილი ელემენტარული უბანი

$$A_1A_2 = dz; \quad A_1'A_2' = dz - \Delta(dz); \quad \varepsilon_z = \Delta(dz)/dz,$$

$$\Delta(dz) = \varepsilon_z \cdot dz; \quad A_1'A_2' = dz - \varepsilon_z \cdot dz = dz(1 - \varepsilon_z);$$

სამკუთხედების  $B_1OB_2$  და  $A_1'O_1A_2'$  მსგავსებიდან მივიღებთ:

$$\frac{A_1'A_2'}{dz} = \frac{\rho}{\rho - c}. \quad (2.109)$$

$$\text{როცა } \varepsilon_x = \varepsilon_y; \quad 1 - \varepsilon_y = 1 - \frac{c}{\rho}, \quad \varepsilon_y = \frac{c}{\rho}, \quad \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_y}{c}; \quad \chi = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_y}{c} \quad (1.110)$$

სადაც,  $\rho$ -გაღუნული ღეროს ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსია;  $\chi$ -სიმრუდე.

მეორე ჰიპოთეზა გულისხმობს ღეროს გაღუნულ წირის განტოლების სინუსოიდალსთან აპროქსიმაციას

$$y = f \sin \frac{\pi x}{l} \quad (2.111)$$

(2.111) განტოლების გამოყენებით იპოვება გაღუნული ღერძის სიმრუდე, ამასთან გამოიყენება სიმრუდისათვის მიახლოებითი მნიშვნელობა

$$y'' = -\frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2.112)$$

ღეროს დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში მუშაობისას მდგრადობის დაკარგვა ხდება ჩალუნვის მცირე მნიშვნელობებისას, ამ მიზეზით სიმრუდისათვის მიახლოებითი გამოსახულების გამოყენება არის დასაბუთებული (განსხვავებით დრეკად არეში მომუშავე ღერობისაგან, რომლებსაც აქვთ დიდი ჩალუნვები).

(2.111) და (2.112)-ის საფუძველზე გაღუნული ღერძის სიმრუდე ტოლია

$$y'' = f \frac{\pi^2}{l^2} \sin \frac{\pi x}{l} \quad (2.113)$$

შუა კვეთში, როცა  $x = \frac{l}{2}$  გვაქვს

$$y'' = f \frac{\pi^2}{l^2} \quad (2.114)$$

თუ შევადარებთ (2.110) და (2.114) მივიღებთ

$$f \frac{\pi^2}{l^2} = \frac{\epsilon_y}{c}$$

აქედან ვპოულობთ ჩალუნვის მნიშვნელობას

$$f = l^2 \frac{\epsilon_y}{\pi^2 c} \quad (2.115)$$

ეს სიდიდე ჩაესვით წონასწორობის (2.108) განტოლებაში

$$l^2 \cdot \frac{\epsilon_y}{\pi^2 \cdot c} = \frac{P_y - P}{P} \cdot \frac{h + 2a}{6} - e, \quad (2.116)$$

საიდანაც ვპოულობთ წონასწორობის პირობების დამაკმაყოფილებელ ღერძის სიგრძეს.

$$l^2 = \left( \frac{P_y - P}{P} \cdot \frac{h + 2a}{6} - e \right) \frac{\pi^2}{\epsilon_y} c \quad (2.117)$$

ნახ. 2.36-ზე ნაჩვენები მსგავსი სამკუთხედებიდან ვწერთ:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_y} = \frac{d}{c} = \frac{h - a - c}{c} = \frac{h - a}{c} - 1,$$

$$\sigma_2 = \sigma_y \frac{h-a}{c} - \sigma_y \quad (2.118)$$

(2.118)-ის (2.114)-ში ჩასმით ვპოულობთ:

$$c = \frac{1}{2} b \sigma_y \frac{(h-a)^2}{(P_y - P)} \quad (2.119)$$

(2.119)-დან განსაზღვრულ  $c$ -ს მნიშვნელობას ვსვავთ (2.117)-ში, გვექნება

$$I^2 = \frac{1}{2} \cdot b \sigma_y \frac{\pi^2}{\epsilon_y} \cdot \frac{1}{(P_y - P)} (h-a)^2 \cdot \left( \frac{P_y - P}{P} \cdot \frac{h+2a}{6} - e \right) \quad (2.120)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნები

$$k = \frac{1}{2} b E \frac{\pi^2}{(P_y - P)}; \varphi_1(a) = (h-a)^2; \varphi_2(a) = \frac{1}{6} \frac{P_y - P}{P} (h+2a) - e \quad (2.121)$$

აქედან

$$I^2 = k \varphi_1(a) \varphi_2(a) \quad (2.122)$$

(2.122), (2.102) და (2.103) გამოსახულებებით ისაზღვრება ღეროს წონასწორული მდგომარეობა. ამოცანა შედგება მდგრადობის დაკარგვის პირობების მოძებნაში. 2.40 ნახაზზე 1 წრფით წარმოდგენილია დრეკად-პლასტიკური ღეროსთვის „დატვირთვა-ჩალუნვის“ დიაგრამა.

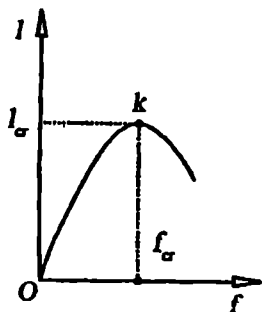
მრუდი 1-ს მაქსიმუმის წერტილი შეესაბამება დრეკად-პლასტიკურ ღეროს კრიტიკულ მდგომარეობას-მდგრადობის დაკარგვის მომენტში. ნახ. 2.40-ის მე 2-ე წრფე ახასიათებს დრეკად გარეცენტრალურად შეკუმშულ ღეროს, რომელსაც არ აქვს მდგრადობის დაკარგვა.  $\gamma$  წერტილში, რომელიც ხასიათდება  $P_y$  ძალით, დრეკადი ღეროს ყველაზე მეტად დატვირთულ ბოჭკოში ძაბვები აღწევენ დენადობის ზღვარს  $\sigma_y$  (მდგრადი სიმტკიცე) ნახ.

2.33. განსხვავება  $P_y$  და  $P_{cr}$  ძალებს შორის არის არსებითი.

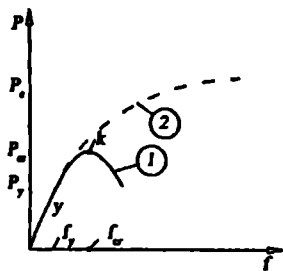
კრიტიკულ ძალად  $P_y$ -ძალის გამოყენებისას, ხდება ელემენტის ზიდვის უნარის არსებითი გამოუყენებლობა.

მდგრადობის ამოცანაში 1 მრუდის განხილვა, სამეცნიერო ლიტერატურაში „მეორე გვარის მდგრადობის თეორიის“ სახელითაა ცნობილი. კრიტიკული ძალა  $P_{cr}$  ხასიათდება კრიტიკული ჩალუნვით  $f_{cr}$ . ამ ჩალუნვის სიდიდე მცირეა ღეროს  $I$

სიგრძესთან შედარებით და  $f_{cr}$ -ის პოენისას დასაბუთებულია სიმრუდისათვის მიახლოებითი მნიშვნელობის გამოყენება



ნახ. 2.41. "სიგრძე ჩაღუნვის მრუდი"



ნახ. 2.40. "დატვირთვა-ჩაღუნვის" დიაგრამა

ნახ. 2.40-ზე წირი 1-ს ეწოდება ღეროს მდგომარეობის მრუდი. ღერო  $oyk$  წრფის მიხედვით დატვირთვისას იმყოფება მდგრად მდგომარეობაში. მაქსიმალურ- $k$  წერტილში ხდება დრეკად-პლასტიკური ღეროს მდგრადობის დაკარგვა (პუანკარეს ზღვრული წერტილი).  $k$ -წერტილის შემდგომ ღერო ხდება არამდგრადი.

მდგრადობის დაკარგვის ანალიზური კრიტერიუმი ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$dP/df = 0 \quad (2.123)$$

ამასთან ღეროს სიგრძე  $l$  ითვლება ფიქსირებულად.

ღეროს კრიტიკული მდგომარეობის პოენის ამოცანა შეიძლება დასმული იქნას სხვაგვარადაც. ფიქსირდება  $P$ -ძალის სიდიდე. ამ შემთხვევაში მრუდს „სიგრძე-ჩაღუნვა“-ს აქვს ნახ. 2.41-ზე ნაჩვენები სახე. ასეთი შემთხვევისათვის მდგრადობის დაკარგვის პირობას აქვს სახე

$$dl/df = 0 \quad (2.124)$$

აღსანიშნავია, რომ კრიტიკული მდგომარეობის პირობების გამოყენებას (2.123), (2.124) ტოლობების სახით მიუყვართ ერთი და იგივე შედეგებამდე. თუ ღეროს სიგრძე გამოსახულია, რომელიმე  $a$ -პერიმეტრით, მაშინ მდგრადობის დაკარგვის პირობები ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$dl/da = 0 \quad (2.125)$$

(2.125)-ის საფუძველზე და ღეროს სიგრძის  $l$  (2.122) გამოსახულებიდან შეიძლება ჩაიწეროს

$$2l \frac{dl}{da} = k(\varphi_1'(a) \cdot \varphi_2(a) + \varphi_1(a) \cdot \varphi_2'(a)) \quad (2.126)$$

აქედან კრიტიკული მდგომარეობის პირობას ექნება სახე

$$(\varphi_1'(a) \cdot \varphi_2(a) + \varphi_1(a) \cdot \varphi_2'(a)) = 0 \quad (2.127)$$

$\varphi_1'$  და  $\varphi_2'$  წარმოებულებს ეპოულობთ (2.121)-დან

$$\varphi_1(a) = (h-a)^2; \quad \varphi_1'(a) = -2(h-a);$$

$$\varphi_2(a) = \frac{1}{6} \frac{P_y - P}{P} (h+2a) - e; \quad \varphi_2'(a) = \frac{1}{3} \frac{P_y - P}{P}. \quad (2.128)$$

შევიტანოთ (2.126) (2.125)-ში და გავამარტივოთ, მივიღებთ:

$$-2(h-a) \left[ \frac{1}{6} \cdot \frac{P_y - P}{P} (h+2a) - e \right] + (h-a)^2 \frac{1}{3} \cdot \frac{P_y - P}{P} = 0,$$

$$(h-a) \left\{ -2 \left[ \frac{1}{6} \cdot \frac{P_y - P}{P} (h+2a) - e \right] + (h-a) \frac{1}{3} \cdot \frac{P_y - P}{P} \right\} = 0, \quad (2.129)$$

$$\frac{1}{3} (h-a) \frac{P_y - P}{P} - \frac{1}{3} (h+2a) \frac{P_y - P}{P} + 2e = 0,$$

$$-3a \frac{P_y - P}{P} + 6e = 0, \quad a \frac{P_y - P}{P} = 2e,$$

და ბოლოს

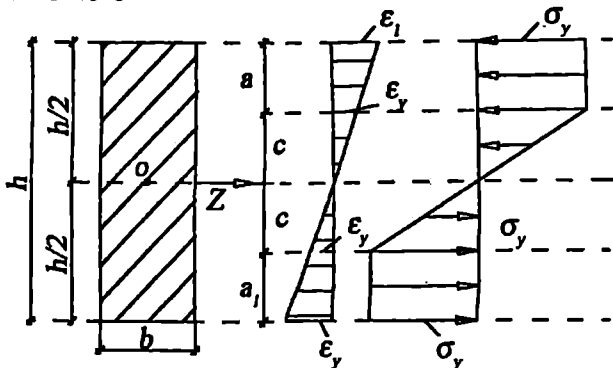
$$a = 2e \frac{P}{P_y - P} \quad \text{ან} \quad a_{cr} = 2e \frac{\sigma_{\sigma}}{\sigma_y - \sigma_{\sigma}}, \quad (2.130)$$

$P$ -ძალის სიდიდის და  $e$  ექსცენტრისიტეტის მოცემული მნიშვნელობისას (2.130) განტოლებიდან განისაზღვრება კრიტიკული პარამეტრის მნიშვნელობა  $a_{cr}$  (დენადობის ზონის ზომა ნახ. 2.36,ბ). ეს მნიშვნელობები  $a_{cr}$ ,  $P$  და  $e$  ჩაისმება 1.120-ში და იპოვება ღეროს კრიტიკული სიგრძე  $l_{cr}$ .

ღეროს კრიტიკულ მდგომარეობას ახასიათებს სამი ერთმანეთთან დაკავშირებული სიდიდეები:  $e$ -დატვირთვის მოდების ექსცენტრიტეტი;  $P$ -მკუმშავი ძალის სიდიდე;  $l_{cr}$ -სიგრძე.

სანეაროესკიმ პლასტიკური ზონის საანგარიშო ფორმულა (ჩვენთან-(1.130), ხოლო ლიტ. [7]-ში 5.127) მიიღო არა (1.127)-ის მიხედვით, არამედ მცდარი ფორმულით:  $(\varphi'_1 \cdot \varphi_1 + \varphi'_2 \cdot \varphi_2) = 0$ .

ანალოგიური სახით გამოიყვანება ღეროს შუა კვეთის ორმხრივი დენადობის შემთხვევაში ანალიზური დამოკიდებულებები (ნახ. 2.42).



ნახ. 2.42. ორმხრივი დენადობის შემთხვევა

2.9. კონსტრუქციის ელემენტების გრეხაზე მუშაობა. ელემენტები, რომლებიც ყველაზე კარგად მუშაობენ გრეხაზე არიან მთლიანკედლიანი წრიული და მილისებრი ელემენტები (ნახ. 2.43,ა-დ).

დაგრეხისას ასეთი ღეროების განივ კვეთში აღიძვრება მხოლოდ მხები ძაბვები  $\tau$ , რომლებიც აწონასწორებენ გარე მგრეხაზე მომენტს  $M_t$ :

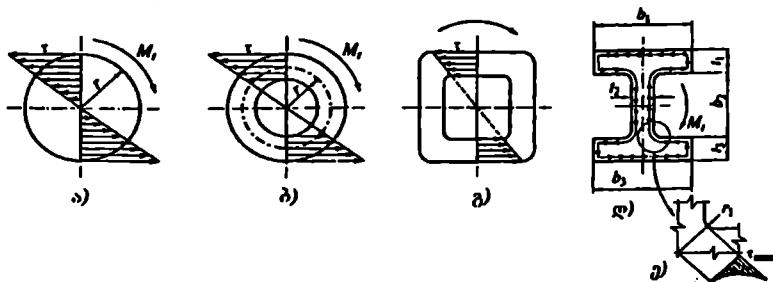
$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t r}{I_t} \quad (2.131)$$

სადაც,  $W_t$  და  $I_t$  - წინაღობის მომენტი და ინერციის მომენტი გრეხისას;  $r$  - წრიული ღეროს კვეთის რადიუსი ან მილის კედლის გასაშუალოებული რადიუსი. წრიული კვეთისათვის  $W \approx 0,2d^3$ ,  $I_t \approx 0,1d^4$ , თხელკედლიანი მილებისათვის ( $d/t > 5$ )  $W_t \approx 2\pi^2 t$ ,  $I_t \approx 2\pi^3 t$ .

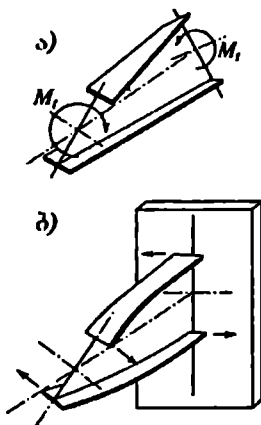
გახსნილი პროფილის მქონე ღეროების თავისუფალი გრეხისას - ორტესები, შევლერები და ა. შ. (ნახ. 2.43 დ, ნახ. 2.44 ა)  $I_t = \alpha \sum b_i t^3 / 3$ , სადაც  $\alpha = 1,3$  ორტესებისათვის, 1,12-



შეღებებისათვის, 1-კუთხოვანებისათვის, 0,5-მოქლონური კოჭებისათვის-0,5, ამასთან  $r$ -ად მიიღება კვეთის შემადგენელი ფურცლების უდიდესი სისქე.



ნახ. 243. ღეროს გრეხისას ძაბვების განაწილება: ა)-მთლიანკედლიან კვეთში; ბ),გ)-მილოვან კვეთში; დ)-ლია პროფილის (ორტესებრ) კვეთში; ე)-პროფილის კუთხეებში ძაბვების კონცენტრაცია.



ნახ. 244. კოჭის თავისუფალი (ა) და შეზღუდული გრეხა (ბ)

(2.131) ფორმულა არ იძლევა ნახ. 243, ე-ზე ნაჩვენებ კუთხეში ძაბვების კონცენტრაციის გამოვლენის საშუალებას. გამოკვლევებით დადგენილია ასეთ კუთხეებში ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობის სიდიდე

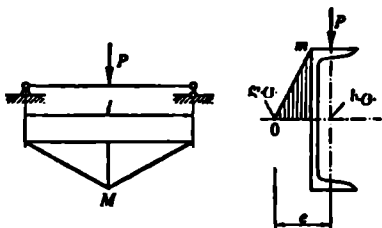
$$\tau_{\max} = 1,74 \tau_0 \sqrt{r/r_1} \quad (2.132)$$

სადაც  $r_0$ -ნომინალური ძაბვა, რომელიც განისაზღვრება (2.131) ფორმულით.

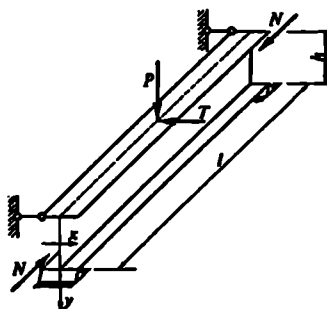
თავისუფალი გრეხისას ღია პროფილების სიხისტე არის მცირე, ამიტომ უნდა ვერიდოთ ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების მიღებას, რომლის დროსაც მოსალოდნელია ასეთი სახის გრეხა (ნახ. 2.44,ა). ღია პროფილის მქონე ღეროების შეზღუდულად გრეხისას (ნახ. 2.44,ბ) კი წარმოიქმნება დამატებითი ნორმალური ძაბვები, რომლებიც გამოწვეულია კვეთის დეპლანაციის შეზღუდვით

$$\sigma_{\omega} = \frac{B}{W_{\omega}} = \frac{B\omega}{I_{\omega}} \quad (2.133)$$

სადაც  $B$  არის ბიმომენტი;  $W_{\omega}$ ,  $I_{\omega}$ -წინააღმდეგობის სექტორული მომენტი და ინერციის სექტორული მომენტი;  $\omega$ -სექტორული კოორდინატი.



ნახ. 2.45. კოჭის კვეთის ბიმომენტისა და სექტორული მახასიათებლების განსაზღვრა შეზღუდულად გრეხისას



ნახ. 2.46. კოჭის საანგარიშო სქემა, რომელზეც მოქმედებს კუმშვა, ირიბი ღუნვა და შეზღუდული გრეხა

შეზღუდული გრეხა ყველაზე ხშირად წარმოიქმნება ღუნვად ელემენტებში (კოჭებში), როდესაც გარე ძალების ტოლქმედს გააჩნია ექსცენტრისიტეტი კვეთის ღუნვის ცენტრის მიმართ. არასიმეტრიულ პროფილების (შეველერი, ტესებრი, კუთხოვანა და ა. შ.) კვეთებში ღუნვის ცენტრი არ ემთხვევა სიმძიმის ცენტრს. სიმძიმის ცენტრში მოდებული დატვირთვა ღუნვასთან ერთად იწვევს შეზღუდულ გრეხას (ნახ. 2.45).

მგრეხავი მომენტი, რომელიც იწვევს გრეხისაგან გამოწვეულ მხებ ძაბვებს, ტოლია ძალისა და ექსცენტრისიტეტის ნამრავლის:  $M_1 = Pe$ . ბიმომენტი ტოლია მღუნავი მომენტისა და ექსცენტრისიტეტის ნამრავლის:  $B = Me$ . სექტორული  $\omega$

კოორდინატი ტოლია ფიგურის გაორმაგებული ფართობის, რომელიც აიღწერება რადიუს-ვექტორით. ის ამოდის ღუნვის ცენტრიდან და მიყვება კვეთის კონტურს განსახილველ წერტილამდე (ნახ. 2.45-ზე  $m$  წერტილისათვის  $\omega_m$ -ის მნიშვნელობა ტოლია დაშტრიხული სამკუთხედის გაორმაგებული ფართობისა). ინერციის სექტორული მომენტი ტოლია  $I_{\omega} = \int_A \omega^2 dA$ .

ამგვარად, ღეროში ნორმალური ძაბვების საერთო გამოსახულებას, როდესაც მასზე მოდებულია გრძივი ძალა  $N$ , განივი ძალები, რომლებიც იწვევენ მღუნავ მომენტებს ორ სიბრტყეში  $M_x$  და  $M_y$ , მგრესაეი მომენტი  $M$ , (ნახ. 2.46), აქვს სახე

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x + \frac{B\omega}{I_{\omega}} \quad (2.134)$$

$$\text{სადაც } M_x = \frac{Pl}{4}, \quad M_y = \frac{Tl}{4}, \quad B = \frac{M_y h}{2}.$$

## სორტამენტი

ფოლადის კონსტრუქციები მზადდება სხვადასხვა პროფილის ელემენტებისაგან, რომლებიც მიიღებიან მეტალურგიულ ქარხანაში გაგლინვით (ფოლადის ფურცლები, პროფილური ფოლადი), დაწნეხით (პროფილები ალუმინის შენადნობებისაგან) და დატვიფრვით (თხელკედლიანი პროფილები) იხ. დანართი 16. ყველა ეს ელემენტები გამგლინავი ქარხნებიდან მოდის მზა ნაწარმის სახით.

მეტალურგიული ქარხნიდან მიღებულ ლითონის ელემენტთა ტიპების კატალოგს სორტამენტი ეწოდება. სორტამენტში მოცემულია პროფილების განივკვეთების გეომეტრიული ზომები და მათი გეომეტრიული მახასიათებლები.

ქარხნები უშეებენ სხვადასხვა სახის ფოლადის ფურცლებს და პროფილოვან ფოლადებს, რომლებსაც ქვემოთ განვიხილავთ.

## 3.1. ფურცლოვანი ფოლადები (ნახ. 3.1, ა)

ა) სქელფურცლოვანი ფოლადები (ГОСТ 5681-57\*). იგლინება ცხელ მდგომარეობაში, რის შემდეგ ნაპირები ჩამოიჭრება. ფურცლის სისქე იცვლება ( $4+160$ ) მმ-მდე, ფურცლის სიგანე-6000 მმ-მდე, სიგრძე 12000 მმ-მდე. ასეთი ფურცლებისაგან მზადდება ფურცლოვანი კონსტრუქციები (რეზერვუარები, აირსაცაეები, შედგენილი კოჭების კედლები, წამწების საკვანძო ფურცლები და სხვა დეტალები).

ბ) თხელფურცლოვანი ფოლადები (ГОСТ 3680-57\*). იგლინება როგორც ცხელ, ისე ცივ მდგომარეობაში. ცივადნაგლინ ფურცლებს აქვს ( $0,2+4$ ) მმ-მდე სისქე, სიგრძე 5000 მმ-მდე, სიგანე  $600+2000$  მმ.

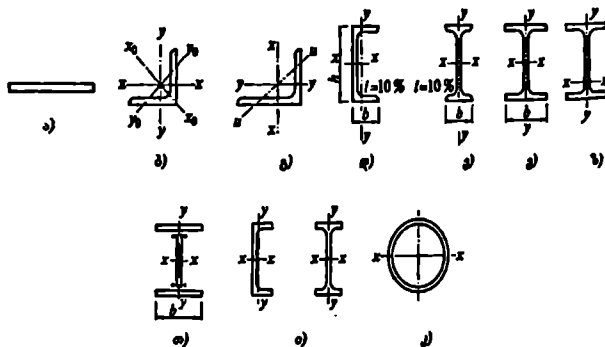
ცხლად ნაგლინის სისქე იცვლება ( $0,5+14$ ) მმ-მდე, სიგრძე - 4000 მმ-მდე, სიგანე ( $500+1400$ ) მმ-მდე. ასეთი ფურცლები ძირითადად გამოიყენება დატვიფრული პროფილებისა და რეზერვუარის სახურავებისათვის.

გ) უნივერსალური ფურცლოვანი ფოლადები (ГОСТ 82-57\*). ასეთი ფოლადები იგლინება სპეციალურ საგლინავ დაზგებში, ისე რომ აქვს სწორი ნაპირები. სისქე იცვლება ( $4+60$ ) მმ-მდე, სიგანე ( $160+1050$ ) მმ მდე, სიგრძე-18000 მმ-მდე. უნივერსალური ფურცლოვანი ფოლადების გამოყენებით მცირდება კონსტრუქციის დამზადების შრომატევადობა, რადგან არ მოითხოვს ნაპირების

ჩამოჭრასა და გასწორებას. ასეთი ფურცლებიდან მზადდება: შედგენილი, შედუღებული კოჭები და სექტები, წამწის საკეანძო ფურცლები და სხვ.

### 3.2. კუთხოვანები (ნახ. 3.1, ბ,ვ)

ფოლადის კუთხოვანები იგლინება ორი სახის: თანაბართარიანი (ГОСТ 8506-57\*) და არათანაბართარიანი (ГОСТ 8510-57\*). კუთხოვანის სისქე იცვლება (4÷30) მმ-მდე, თაროების სიგანე (45X45)-დან (200X200) მმ-მდე. არათანაბართარიანი კუთხოვანების ზომები იცვლება-(56÷36)-დან (200÷125) მმ-მდე. მათი სიგრძე აღწევს 19 მ-ს. კუთხოვანები ძირითადად გამოიყენება როგორც წამწეების ელემენტები.



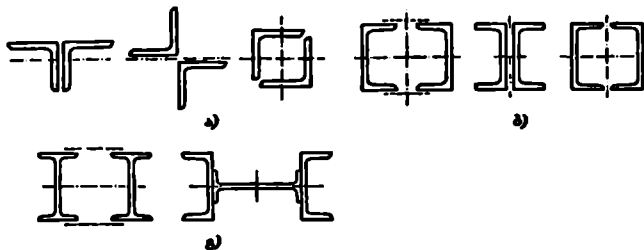
ნახ. 3.1. პროფილების ძირითადი სახეები

- ა)-ფურცელი; ბ,ვ)-კუთხოვანა; დ)-შველერი; ე)-ორტესი; ე)-ფართოთაროებიანი ორტესი; ზ)-ფართოთაროებიანი ტესებრი; თ)-შედუღებული ორტესი; ი)-შველერი და ორტესი პარალელური წიბოებით; კ)-მილი.

### 3.3. შველერები (ნახ. 3.1, დ,ი)

შველერებს (ГОСТ 8240-56\*) იყენებენ კოჭებად, გრძივებად, წამწის სარტყლებად და სექტებად. იგლინება ორი სახის: ჩვეულებრივი განიეკეთის, სიმაღლით 50-დან 400 მმ-მდე, შემსუბუქებული-სიმაღლით (160÷300) მმ-მდე.

შველერის სიმაღლეს სმ-ში შეესაბამება შველერის ნომერი. მისი სიგრძე აღწევს 19 მ-ს.



ნახ. 3.2. გაგლინული პროფილებისაგან კვეთების შედგენა  
 ა)-თანაბართარობიანი კუთხოვანებისაგან; ბ)-შველურებისაგან;  
 დ)-ორტესებისა დაშველურებისაგან შედგენილი პროფილები.

### 3.4. ორტესებრი კოჭები (ნახ. 3.1, ე,ი)

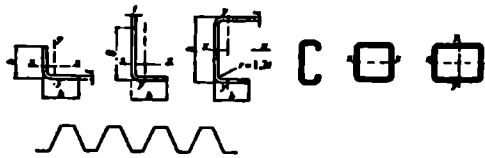
ისე, როგორც შველურები, იგლინება ორი სახის: ჩვეულებრივი განიეკვეთის, სიმაღლით (100±700) მმ-მდე (ГОСТ 8239-56\*) და შემსუბუქებული-თხელი კედლით და სიმაღლით (160±300) მმ-მდე (ГОСТ 6184-52\*). პროფილის ნომერს შეესაბამება მისი სიმაღლე სმ-ში. მისი უდიდესი სიგრძე 19 მ-ია. ორტესებრი პროფილებს იყენებენ გრძივბად, შედგენილი სვეტების ელემენტებად (შტოებად) და ა.შ. კუთხოვანებისაგან, შველურებისაგან და ორტესებისაგან შეიძლება შედგენილი იქნას სხვადასხვა სახის პროფილის კვეთები (იხ. ნახ. 3.2).

### 3.5. ფართოთარობიანი ორტესებრი კოჭები (ნახ. 3.1, ვ,ზ)

ფართოთარობიანი ორტესებრი კოჭები (ГОСТ 6183-53) იგლინება სამი დანიშნულებისთვის: კოჭებისათვის, მსუბუქი და მძიმე სვეტებისათვის. მისი სიმაღლე აღწევს 1000 მმ-ს.

### 3.6. დატვიფრული ფოლადები (ნახ. 3.3)

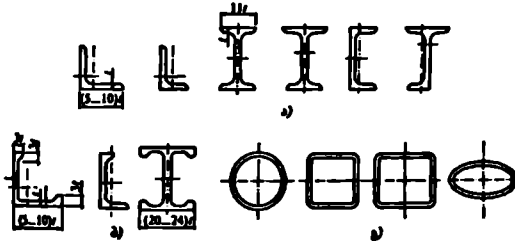
დატვიფრული (ცივად ნალუნი) ფოლადების პროფილების სისქე (2±10) მმ-მდეა, სიგანე-(320±1600) მმ-მდე, მზადდება თხელი ფურცლებისაგან. პროფილის სიგრძე იცვლება (8±12) მ-მდე. ასეთი პროფილები გამოიყენება მსუბუქი მზიდი კონსტრუქციების სახით და აქვს სხვადასხვა ფორმა. აღსანიშნავია, რომ წამწები, შემდგარი დატვიფრული პროფილებისაგან, 10%-ით მსუბუქია კუთხოვანებისაგან შემდგარ წამწებზე.



ნახ. 3.3. დატვიფრული თხელკედლიანი

### 3.7. მილები (ნახ. 3.1, კ)

მილები არსებობს ორი სახის: უნაკერო (ГОСТ 8732-70) და ელექტროშედუღებული (ГОСТ 10704-63). მათი დიამეტრი იცვლება (45-550) მმ-მდე, კედლის სისქე—16 მმ-მდე. განიკუთვით სიმეტრიულობისა და დიდი სიხისტის გამო, ისინი ითვლება საუკეთესო პროფილად. ფოლადის მილებს ძირითადად იყენებენ წამწების, კოშკების, ანძებისა და სხვა მსგავსი კონსტრუქციების ელემენტებად.



ნახ. 3.4. ალუმინის შენადნობების პროფილები: ა)-ბულებების გარეშე ბ)-ბულებებით; გ)-მილოვანი.

### 3.8. ალუმინის შენადნობის პროფილები (ნახ. 3.4)

ალუმინის შენადნობების პროფილებს ღებულობენ გლინით, წნეხით ან ღუნვით ცივ მდგომარეობაში. ფურცლები და ფილები იგლინება როგორც ცხელ, ისე ცივ მდგომარეობაში. ფურცლების სიგანე აღწევს 2000 მმ-ს. სისქე—7 მმ-ს. ფასონური პროფილები მზადდება ცხელი წნეხით. ალუმინისაგან დამზადებული გაგლინული პროფილების სიხისტის გაზრდის მიზნით, პროფილების თაროს ბოლოებს აძლიერებენ გასქელებით-ბულებებით (ნახ. 3.4). ალუმინის შენადნობების სტანდარტებია: ქიმიური შედგენილობით—ГОСТ 4784-74; მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით: ფურცლების—ГОСТ 12592-67; პროფილების—ГОСТ 8617-75 და ГОСТ 92022-73, მილების ГОСТ 18475-73 და ГОСТ 18482-73-ით.

## შედულება და შედულებითი შეერთება

4.1. შედულება. ლითონთა კონსტრუქციებში გამოიყენება სამი სახის ელექტრორკალური შედულება: 1. ხელით, 2. ავტომატური და 3. ნახევრად ავტომატური.

4.1.1. ხელით შედულება. ხელით შედულება ხორციელდება შემდეგი სახით: ელექტროდით ფოლადის მრგვალი ღერო, დიამეტრით  $4 \div 8$  მმ, რომელიც მოთავსებულია ელექტროდამჭერში, მოქნილი სადენის საშუალებით შეერთებულია დენის წყაროს ერთ პოლუსთან დენის წყაროს მეორე პოლუსი შეერთებულია შესადულებელ ელემენტთან (ნახ. 4.1), (ნახ. 4.2). შემდულებელი ელექტროდით ეხება შესადულებელ ელემენტებს და შემდეგ სწრაფად გამოხწევს მას  $2 + 3$  მმ-ით. ასეთი შეხებით შესაერთებელ ელემენტსა და ელექტროდს შორის წარმოიშობა ელექტრორკალი, სადაც ვითარდება  $400^{\circ}\text{C}$ -მდე ტემპერატურა. მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით შესაერთებელ ელემენტებში წარმოიშობა გამდნარი ლითონის აბაზანა, რომელშიც წვეთავს გამდნარი ელექტროდი.

გაცივების შემდეგ ელემენტების შეერთების ადგილას წარმოიქმნება შედულების ნაკერი. შიშველი დაუცავი ელექტროდით შედულებისას, ჰაერში მყოფი ჟანგბადი და აზოტი ინტენსიურად უერთდება გამდნარ ლითონს, ამის გამო ხდება ლითონის სასარგებლო მინარეების ამოწვა (ძირითადად ნახშირბადის), რაც მკვეთრად აქვეითებს შედულების ნაკერის ხარისხს. აღნიშნული დეფექტის თავიდან აცილების მიზნით, ელექტროდი იფარება სპეციალური საცხით. საცხი წარმოადგენს გარკვეული ხისქის შენარეუბის ფენას და შედგება არალითონური (მაგ. ცარცი) და ლითონური (მაგნიუმის მადანი, ფერომანგანუმი და სხვ.) კომპონენტებისაგან. საცხი შედულების დროს დნება ელექტროდთან ერთად და ქმნის გაზისებრ აპკს, რომელიც იცავს შედულების ნაკერს ამოწვისა და ჰაერის მავნე ზემოქმედებისაგან. შედულების სიმტკიცისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ჩადნობის (შესაერთებელი ელემენტების გადნობის სიღრმე) სიმაღლეს. მცირე ჩადნობის სიმაღლის შემთხვევაში ძირითადი ფურცელი ვერ ასწრებს გადნობას და გაცივების შედეგად ადგილი აქვს შეუდულებლობას. დიდი სიმაღლის მქონე შედულების ნაკერის დროს შეიძლება შესაერთებელი ელემენტების გადახურების გამო მოხდეს მათში შემავალი ნახშირბადის ამოწვა. ამ მოვლენას ფოლადის გადაწვას უწოდებენ. როგორც შედულებლობა, ისე გადაწვა წარმოადგენს შედუ-

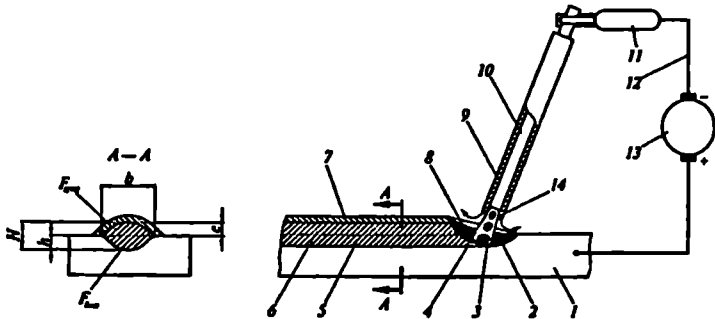


ღების ნაკერის სერიოზულ დეფექტს. ამიტომ ტექნიკური ნორმებით (ტ. ნ.) და პირობებით, კუთხური შედუღების ნაკერის სიმაღლე (კოთეტი) არ უნდა იქნეს ნაკლები ცხრილი 4-ში მოყვანილ სიდიდეებზე და მეტი 1,2l-სი. 1- შესაერთებელი ელემენტების უმცირესი სისქეა.

ხელით შედუღების დადებითი მხარეა: შედუღების წარმოება შეიძლება კონსტრუქციის ნებისმიერ ადგილას; უარყოფითი-მცირე მწარმოებლობა, ელექტროენერგიის და ელექტროდის საგრძნობი ხარჯი; ნაკერის ხარისხი დამოკიდებულია შემდუღებლის კვალიფიკაციაზე.

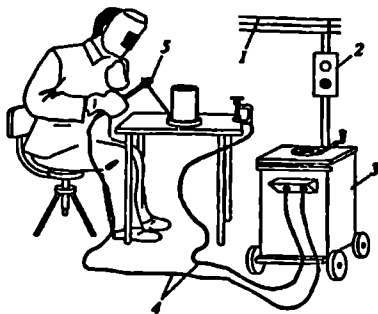
ხელით შედუღება ხდება ელექტროდების საშუალებით, რომლებიც იყოფიან მარკებად და ტიპებად (ГОСТ 94667-75\*). ელექტროდის ტიპი განსაზღვრავს ფოლადის ნაკერის სიმტკიცეს კნ/სმ<sup>2</sup>-ში (მაგ. 350 ან 350A ტიპის ელექტროდებში  $\sigma_u > 50$  კნ/სმ<sup>2</sup>, ასო A აღნიშნავს, რომ ფოლადის ნაკერს გააჩნია ამაღლებული პლასტიკური თვისებები). ელექტროდებს არჩევენ შესაძლებელი ფოლადების მარკის მიხედვით (ცხრ. 4.1).

ელექტროდის მარკა განისაზღვრება დამცავი შრის შემადგენლობით და აირჩევა შესაძლებელი დენის სახის (ცვლადი ან მუდმივი), ნაკერის სივრცითი მდებარეობის მიხედვით.



ნახ. 4.1. ელექტრორკალური შედუღების სქემა.

- 1- შესაერთებელი ლითონი; 2-გამდნარი ლითონის აბაზანა; 3- გამდნარი ელექტროდის წვეთი; 4-ელექტრორკალი; 5-გამდნარი ლითონი; 6-დამდნარი ლითონი; 7-წილის ქერქი; 8-თხევადი წიდა; 9- ელექტროდის საცხი; 10-ელექტროდის დერო; 11-დამპყერი; 12- შედუღების წრელი; 13-კეების წყარო; 14-ორთქლ-აირის დამცავი გარემო.



ნახ. 42. ხელით შედულების სქემა.  
 1-ელექტრო მომარაგების ქსელი; 2-  
 კონტაქტორი; 3-რკალის კვების წყარო;  
 4-მაეთულები; 5-ელექტროდამჭერი.

4.12. ავტომატური შედულება. ავტომატური შედულება დამყარებულია ელექტრორკალის სითბოს გამოყენების იმავე პრინციპებზე, როგორც ხელით შედულების დროს.

შედულება წარმოებს სპეციალური ავტომატ-აპარატის საშუალებით (ნახ. 43). ავტომატზე მოთავსებულია ელექტროდის ხვეულა, ელექტროდი და მდნობის ფხენილი. ელექტროდისა და მდნობის მიწოდება შედულების ნაკერის ადგილას ხდება ავტომატურად. შედულება წარმოებს მდნობის ფენის ქვეშ, რომელიც იცავს ნაკერს ჰაერის მავნე მოქმედებებისაგან. მდნობი წარმოადგენს გრანულირებულ წიდას მანგანუმოვან და სილიკატურ ფუქეზე. შედულების პროცესში აპარატის გადაადგილება პირაპირის მიმართულებით ხდება ავტომატურად.

ავტომატური შედულების უპირატესობა, ხელით შედულებასთან შედარებით შემდეგია:

1. შედულების ნაკერის ხარისხი და სიმტკიცე გაცილებით მაღალია;

2. შედულების მწარმოებლობა (4-5) ჯერ მეტია;

3. ელექტროენერგიის და ელექტროდის ეკონომია აღწევს  $40 \div 50 \%$  -ს;

4. რადგან შედულება წარმოებს მდნობის ფენის ქვეშ, არ არის საჭირო შემდულებლის თვალების მუზარადით დაცვა. ეს კი აუმიჯობსებს მისი მუშაობის პირობებს.

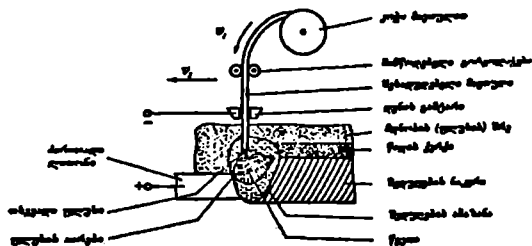
5. წარმოებს ღრმა ჩადულება, რითაც მიიღება მაღალხარისხიანი შედულების ნაკერი,

ავტომატური შედულების ნაკლია:

1) ავტომატის დიდი გაბარიტული ზომების გამო, კონსტრუქციის ბევრი ადგილი ასეთი შედულებისთვის მიუდგომელია.

2) მას შეუძლია შეასრულოს მხოლოდ უწყვეტი სწორხაზოვანი ნაკერები.

ავტომატური შედულებისათვის იყენებენ მთლიანკეუთიან ფოლადის შესადულებელ მათუულს და სხვადასხვა მდნობებს (ცხრ. 4.1.), ასევე ფხვნილისებრ მათუულს (ცხრ. 4.2.).



ნახ. 4.3. რკალით მდნობის (ფლუსის) ქვეშ ავტომატური შედულების სქემა.

1-ელექტრო მომარაგების ქსელი; 2-კონტაქტორი; 3-რკალის კეების წყარო; 4-მათულები; 5-ელექტროდამჭერი.

4.1.3. ნახევრად ავტომატური შედულება. წვეტილი და მრუდწირული ნაკერებისათვის და საერთოდ, ისეთ ადგილებში, რომლებიც მიუდგომელია ავტომატური შედულებისათვის, გამოიყენება ნახევრად ავტომატური შედულება. შედულება ასეთი ხერხით წარმოებს (1-2) მმ-იანი დიამეტრის შიშველი მათუულით (ელექტროდით). ელექტროდის მიწოდება შედულების ადგილას ხდება სპეციალური მექანიზმით. შედულების აპარატის გადაადგილება ხდება ხელით. ავტომატური შედულების ანალოგიურად შედულება მიმდინარეობს მდნობის ქვეშ. ნახევრად ავტომატური შედულება განსაკუთრებით მოსახერხებელია წამწის კვანძების შეერთებისას.

ე. ი. ხელითა და მექანიზებული მეთოდებით შედულებისას ელექტროდის ტიპის შერჩევა ასევე შეიძლება ცხრ. 4.1-ის მიხედვით, ხოლო თუ შედულება ხდება ფხვნილისებური მათუულით შესადულებელი მასალა შერჩევა ცხრ. 4.2-ის მიხედვით.

კონტაქტური შედულება ხდება: წერტილოვანი, ნაკერული და პირაპირული სახით.

შედულების ნაკერების საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობების განსაზღვრა პირაპირული და კუთხური შედულებისას ხდება ცხრ. 4.1 და ცხრ. 4.3-ის საშუალებით.

4.1.4. შედულების ნაკერის კონტროლი. წარმოებისათვის უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს შედულების ნაკერის ხარისხის განსაზღვრის სრულყოფილ და მარტივ მეთოდებს.

ნაკერის ხარისხის დასადგენად იყენებენ:

ა) რენტგენის სხივებით გაშუქებას. ამ მეთოდით შედულების ნაკერში ატარებენ რენტგენის სხივებს. ნაკერში დეფექტის არსებობისას იგი ვლინდება გადაღებულ ფირფიტებზე შავი ლაქების სახით.

ცხრილი 4.1.

შესადულებელი ფოლადები დროებითი წინაღობით $R_{\sigma}$	აეტომატური და ნახეერადეტომატური			ხელით ელექტროლის ტიპი	ნაკერის ფოლადის დროებითი წინაღობა $R_{\sigma 0.2}$ მპა	საანგარიშო წინაღობის ფოლადის ნაკერის კუთხურ ტრახე $R_{\sigma}$ მპა
	მდნობის ქვეშ		ნახშირვან გის აირში			
	მარკები					
	მდნობის	შესადულებელი მათუელის				
$R_{\sigma} < 430$	AH-348-A, AH-60*	Ca-08A, Ca-08GA		342*, 342A, 346*, 346A	410, 450	180, 200
$430 < R_{\sigma} < 520$	AH-47, AH-17-M	Ca-08GA*, Ca-10GA*	Ca-08G2C, Ca-08G2CII	346*, 346A, 350*, 350A	450, 490	200, 215
$R_{\sigma} > 520$	AH-348-A <sup>+</sup>	Ca-10GA*, Ca-10HMA, Ca-10GZ*	Ca-08G2C, Ca-08G2CII, Ca-08G2C <sup>~</sup> , Ca-08G2CII <sup>~</sup>	350*, 350A, 360	490, 590	215, 240

\*-გამოყენებული უნდა იქნას მხოლოდ 2, 3, და 4 ჯგუფის კონსტრუქციებისათვის, როცა  $t < -40^{\circ}C$ . \*\*-მხოლოდ კუთხური ნაკერებისათვის კათეტიით  $k_f < 8$  მმ; \*\*\*-თხოვლობს დამატებით კონტროლს მექანიკურ თვისებებზე, როცა შედულების სისქე მერია 32 მმ-ზე.

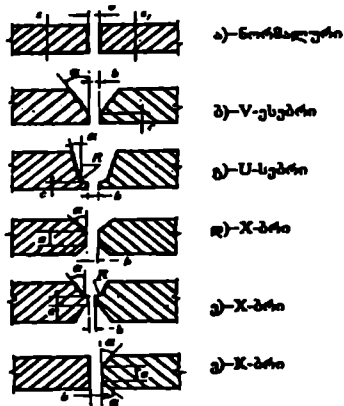
ბ) ელექტრომაგნიტურ ხერხს. ამ ხერხით ნაკერში არსებულ დეფექტებს აელენენ სპეციალური ხელსაწყოს დეფექტოსკოპის საშუალებით.

გ) რადიოაქტიური ნივთიერებების სხივებით. ეს ხერხი დამყარებულია რადიუმის რადიოაქტიუობაზე და ირითადად გამოიყენება სქელი ნამზადის ( $l \geq 30$  მმ) გასაშუქებლად.

ცხრილი. 4.2

შესადრელებელი ფოლადების მარკები	ფუნქციონირების მარკა	ფუნქციონირების მარკის ტიპი	მათემატიკური დიაგრამა	მათემატიკური მახასიათებლები
Cr3, Cr3Hnc, 09Г2, 10Г2С1, 10ХСНД	ПП-АН8	ПГ-50-Н1	2,2;2,5	შედულება ნახშირბადი აორში
Cr3, Cr3nc, 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 10Г2С1, 14Г2Б, 17Гс	ПП-АН3	ПС-50-Н4	2,8;3,0	თვითდამცავი მათემატიკური

ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდები მოითხოვს ძვირად ღირებულ სპეციალურ აგრეგატებს; ამიტომ მათ ძირითადად იყენებენ საპასუხისმგებლო ნაკერების შესამოწმებლად. ამ მეთოდებს უწოდებენ ნაკერის ხარისხის შემოწმების სპეციალურ მეთოდებს. პრაქტიკის მრავალ შემთხვევაში შედულების ნაკერის კონტროლი წარმოებს მარტივი, ე. წ. ვიზუალური ხერხით. ასეთი ხერხით ნაკერი მოწმდება ზედაპირული დათვალიერებით, ჩაქუნის დარტყმით (ხმის მიხედვით), თარგების საშუალებით (ნაკერის ზომების შესამოწმებლად), ნაკერის გაბურღვით (ნაბურღის შემადგენლობისა და გაბურღული ხერხის კედლის დათვალიერების მიზნით). ნაკერის შემოწმება ვიზუალური ხერხით არასრულყოფილია, ამიტომ ასეთი ხერხით შემოწმების დროს შედულების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა მცირდება ( $10 \div 15$  %) -ით (ცხრ. 4.3).



ნახ. 4.6. პირაპირული ნაკერების სახეები

სიგრძის მიხედვით ნაკერები შეიძლება იყოს უწყვეტი და წყვეტილი, ჯაჭვისებური და ჭადრაკისებური, ძალვის მოქმედების მიმართულების მიხედვით კი, ფლანგური, შუბლური, კომბინირებული და ირიბი (ნახ. 4.5).

სივრცეში მდებარეობის მიხედვით ანსხეავენ ხუთი ტიპის ნაკერს: ქვედა, პორიზონტალური ვერტიკალურ სიბრტყეზე, ვერტიკალური, ჰერისეული და ნაეისებრი (ნახ. 4.5).

შესაერთებელი ფურცლების ნაპირების პირაპირები დამუშავების მიხედვით იყოფა:

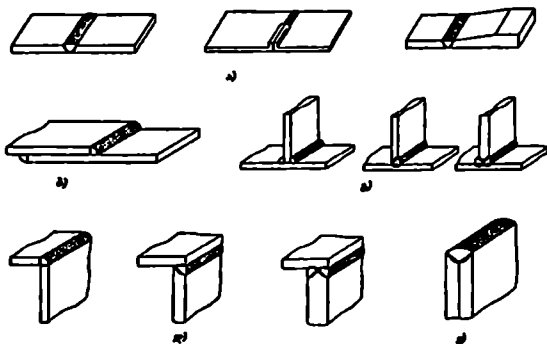
- ა) ნორმალური (ნახ. 4.6,ა); ბ) V-ებრი (ნახ. 4.6,ბ); გ) U-ებრი (ნახ. 4.6,გ); დ-ე) X-ებრი (ნახ. 4.6,დ-ე); ე) K-ებრი (ნახ. 4.6,ე)

ცხრილი. 43

შედულებითი შეერთებები	დაძაბული მდგომარეობა		პოპითი აღნიშვნა	შედულებითი შეერთებების საანგარიშო წინაღობა
პირაპირული	კუმშვა, გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური და ნახევრად ავტომატური ან ხელით შედულების დროს ნაკერის ხარისხის ფიზიკური შემოწმებისას	დენადობის ზღურის მიხედვით	$R_{wy}$	$R_{wy} = R_y$
		დროებითი წინაღობის მიხედვით	$R_{wn}$	$R_{wn} = R_n$
	გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური და ნახევრად ავტომატური ან ხელით შედულების დროს ნაკერის ხარისხის ეიზუალური შემოწმებისას	დენადობის ზღურის მიხედვით	$R_{wy}$	$R_{wy} = 0,85 R_y$
	ბერა		$R_{wz}$	$R_{wz} = R_z$
კუთხური ნაკერებით	ჭრა (პირობითი)	ნაკერის ლითონის მიხედვით	$R_{wf}$	$R_{wf} = 0,55 R_{wn} / \gamma_{wn}$
		ლითონის დანადგლის საზღვარზე	$R_{wz}$	$R_{wz} = 0,45 R_{wn}$

შენიშვნა: 1. ხელით შედუღების ნაკერებისათვის  $R_{\text{წმ}}$  საჭიროა აღებული იქნეს ტოლი ლითონის ნაკერის დროებითი წინაღობისა გაგლეჯაზე.

2. საიმედოობის კოეფიციენტი  $\gamma_{\text{წმ}}$  ნაკერის მასალის მიხედვით აიღება ტოლი: 1,25 როცა  $R_{\text{წმ}}$  არის არა უმეტეს 490 მპა; 1,35—როცა  $R_{\text{წმ}}$  არის 590 მპა და მეტი;



ნახ. 4.4. შედუღებითი შეერთების ძირითადი ტიპები.  
 ა)-პირაპირული; ბ)-პირგადადებითი; გ)-ტესებრი;  
 დ)-კუთხური; ე)-გვერდითი.

ნორმალური პირაპირი გამოიყენება მცირე სისქის მქონე ( $t = 8 + 10$  მმ.) ფურცლების შესაერთებლად (ნახ. 4.6,ა). ასეთი შეერთება ფურცლის ნაწიბურების დამუშავებას არ საჭიროებს. ფურცლის მცირე სისქის გამო მისი ნაწიბურები შედუღების პროცესში დნება. სქელი ფურცლის შეერთებისას ფურცლის ნაწიბურების დამუშავება აუცილებელია, წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება ადგილი ექნეს შეუდუღებლობას.

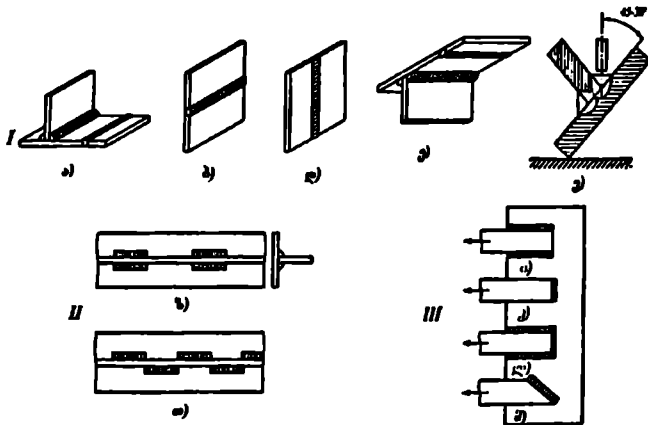
#### 4.2. შედუღებითი შეერთება

4.2.1. პირაპირული შეერთება. შესაერთებელი ელემენტების ერთ სიბრტყეში განლაგებისას, მათი ურთიერთშეერთება ხდება პირაპირული შედუღების ნაკერებით (ნახ. 4.7). ძალისა და პირაპირის მიმართულებებს შორის მდებარე კუთხის მიხედვით პირაპირული ნაკერები სრულდება: ნორმალური და ირიბი.

პირაპირულ ნაკერებში შედუღების დასაწყისში ადგილი აქვს შეუდუღებლობას, ხოლო შედუღების დამთავრებისას, პირაპირის ბოლო ნაწილში წარმოიშობა კრატერი. როგორც ერთი, ისე მეორე წარმოადგენს შედუღების ნაკერის დეფექტს, ამიტომ

რეკომენდებულია, სპეციალური ქვესაღებით ნაკერი გადაყვანილი იქნას პირაპირის საზღვრებს გარეთ. შედუღების დამთავრების შემდეგ ნაკერები ჩამოიჭრება. ქვესაღების გამოყენების შემთხვევაში შედუღების ნაკერის საანგარიშო სიგრძე აიღება ფურცლის სიგანის ტოლი

$$l_w = b$$



ნახ. 4.5. შედუღებითი ნაკერების კლასიფიკაცია  
 I - სივრცეში მდებარეობის მიხედვით: ა)-ქვედა; ბ)-  
 პორიზონტალური; გ)-ვერტიკალური; დ)-ჭერისეული; ე)-  
 ნავისებრი. II - განფენილობის მიხედვით: ე)-  
 ჯაჭვისებური; ზ)-ჭადრაკისებური. III - ძალის  
 მოქმედების მიმართულების მიხედვით თ)-ფლანგური;  
 ი)-შუბლური; კ)-კომბინირებული; ლ)-ირიბი.

თუ ნაკერის გადაყვანა არ ხდება, მაშინ

$$l_w = b - 2l \quad (4.1)$$

სადაც  $l$  შესაერთებელი ელემენტის უმცირესი სისქეა.

ნორმალური ტიპის შედუღების ნაკერის გაანგარიშება ბირითადად მდგომარეობს მისი სიმტკიცის შემოწმებაში (ნახ. 4.8). გულისხმობენ, რომ ნაკერის მთელ სიგრძეზე ძაბვები ნაწილდება თანაბრად. ასეთი დაშვების საფუძველზე შედუღების ნაკერის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ან კუმშვაზე მოწმდება ფორმულით

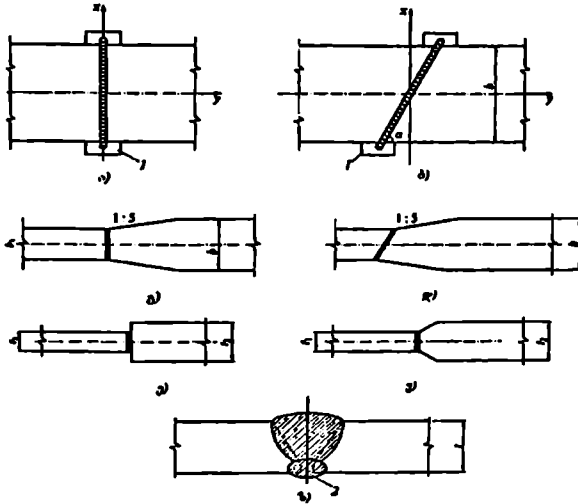
$$\sigma_w = \frac{N}{l l_w} \leq R_w \gamma_c \quad (4.2)$$



$N$ -შეერთებაში მოქმედი ძალა.

$\gamma_c$ -მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (დან. 14)

$R_{wy}$ -პირაპირული შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა (ცხრ. 4.3).



ნახ. 4.7. პირაპირული შედუღების სახეები.

ა)-ნორმალური; ბ)-ირიბი; გ),დ)-შესაერთებელი

ელემენტების სახედასხვა სივანისას; ე),ე)-

შესაერთებელი ელემენტების სხვადასხვა სისქისას;

ზ)-ფუძის ერთშიანი ჩადუღებისას; 1-

ტექნოლოგიური თამასა; 2-ჩასადუღებელი ნაკერი.

როდესაც ნაკერის ხარისხი მოწმდება მარტივი ხერხით, ნაკერის საანგარიშო წინაღობა ( $R_{wy}$ ) ნაკლებია ფოლადის საანგარიშო წინაღობაზე  $R_{wy} = 0,85 R_y$ , ამის გამო ზოგჯერ ნორმალური ნაკერის სიმტკიცე საკმარისი არ არის. ნაკერის სიმტკიცის გაზრდის მიზნით საჭიროა ნაკერის სიგრძის გაზრდა. ასეთ შემთხვევაში მიმართავენ ირიბ პირაპირულ ნაკერებს (ნახ. 4.6.ბ, ნახ. 4.7,ბ). ამ შემთხვევაში სიმტკიცის პირობა ასე ჩაიწერება

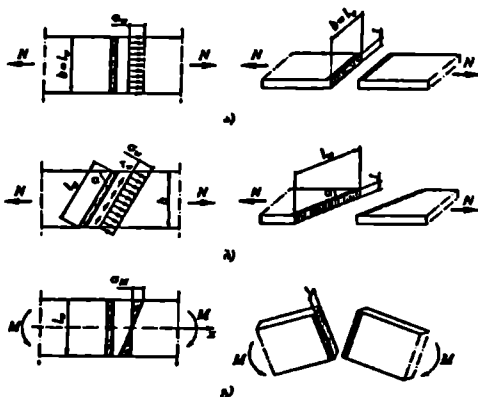
$$\sigma_w = \frac{N \sin \alpha}{l' w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c \quad (4.3)$$

აქ  $l' w = \frac{l_w}{\sin \alpha}$  -ირიბი ნაკერის საანგარიშო სიგრძეა.

თუ შეერთებაში მოქმედებს მღუნავი მომენტი, მაშინ ძაბვა ნაკერში ტოლია

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} \leq R_{wy} \gamma_c \quad (4.4)$$

აქ  $W_w = \frac{H^2}{6}$  - ნაკერის წინაღობის მომენტი.



ნახ. 4.2. პირაპირული შეერთების საანგარიშო სქემები.  
 ა)-გრძივი ძალის მოქმედებისას; ბ)-გრძივი ძალის მოქმედებისას ირიბი შეერთებისას; გ)-ღუნვისას.

როცა ნაკერში ერთდროულად მოქმედებს მღუნავი მომენტი ( $M$ ) და განივი ძალა ( $Q$ ), მაშინ ნაკერის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{wx}^2 + 3\tau_{wxy}^2} \leq 1.15 R_{wy} \gamma_c \quad (4.5)$$

აქ  $\sigma_{red}$  - დაყვანილი ძაბვა,  $\sigma_{wx} = M/W_w$ ,  $\tau_{wxy} = Q/A_w$

პირაპირული ნაკერების დადებითი მხარეა: კონსტრუქციის სიმარტივე. ძაღვების გადაცემა ერთი ელემენტიდან მეორეზე ხორციელდება თანაბრად, ძაბვათა კონცენტრაციის გარეშე. მისი უარყოფითი მხარეა: სქელი ფურცლები მოითხოვს ნაწიბურების დამუშავებას, ძნელდება პირაპირის მთელ სიგრძეზე თანაბარი სიდიდის ღრეჩოს დაცვა.

4.2.2. კუთხური შედუღების ნაკერები. როდესაც შესაერთებელი ელემენტები განლაგებულია სხვადასხვა სიბრტყეში, მათი შეერთება წარმოებს კუთხური შედუღების ნაკერით (იხ. ნახ.

4.4,ბ,გ,დ). მოქმედი ძალისა და ნაკერის ურთიერთგანლაგების მიხედვით, კუთხური შედუღების ნაკერები შეიძლება იქნეს: შუბლური ფლანგური და ირიბი (იხ. ნახ. 4.5,თ,ი,ლ).

მოქმედი ძალის სახის მიხედვით შედუღების ნაკერი არსებობს ნორმალური ნახ. 4.10,ა. შეზნექილი ნახ. 4.10,ბ. და დამრეცი ნახ. 4.10,გ. ნორმალური ნაკერი გამოიყენება სტატიკური დატვირთვებისას და აქვს ტოლფერდა სამკუთხედის სახე (ნახ. 11,ბ).

თვალით უხილავი დეფექტების შესაძლებლობის გამო ნორმალური ნაკერი ძლიერდება ჩადუღებით, რომლის სიმაღლე არ აღემატება  $0,1k_f$ , სადაც  $k_f$  კუთხური ნაკერის კათეტის სიმაღლეა. ასეთი ნაკერის უარყოფითი მხარეა ძაბვათა შესაძლო კონტრაცია შეერთების ადგილას, ამიტომ დინამიკური დატვირთვების მოქმედებისას კეთდება შეზნექილი ფლანგური კუთხური ნაკერი (ნახ. 4.10,ბ), ხოლო შუბლური ნაკერი კეთდება, როგორც შეზნექილი დამრეცი (კათეტების ფარდობით 1:1,5 ნახ. 4.10,გ).

შედუღებლობის თავიდან აცილების მიზნით, ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით კუთხური ნაკერის უმცირესი სიმაღლე ( $k_f$ ) არ უნდა იქნეს ცხრ. 4.4-ში მოცემულ სიდიდეებზე ნაკლები.

დიდი შედუღების ნაკერებმა შეიძლება გამოიწვიოს შესაერთებელი ფოლადის ელემენტის გადაწვა. ამის გამო, ნაკერის სიმაღლე არ უნდა იქნეს მეტი  $1,2t$  ( $t$ -შესაერთებელი ელემენტების უმცირესი სისქეა).

შეერთებისას კუთხური ნაკერი სრულდება უწყვეტი და წვეტილი სახით. წვეტილ ნაკერებს შორის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს: შეკუმშულ ელემენტებში  $15t$ -ს. გაჭიმულ ელემენტებში  $30t$ -ს. ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით ორივე შემთხვევაში ნაკერის სიგრძე არ უნდა იქნეს მეტი  $85\beta_f k_f$ -ის.  $\beta_f$  აიღება ცხრილი 5-დან. ეს მითითება არ ვრცელდება ისეთ ნაკერებზე, სადაც ძალები მოქმედებენ ნაკერის მთელი სიგრძის გასწვრივ. მაგ. შედუღებული კოჭის სარტყლის ნაკერები.

როგორც ექსპერიმენტებით გამოირკვა, კუთხური ნაკერები მუშაობენ რთულ დაძაბულ პირობებში. მათი ზუსტი გაანგარიშება უადრესად რთულ ამოცანას წარმოადგენს, ამიტომ ანგარიშის გამარტივების მიზნით მიმართავენ შემდეგ დაშვებებს:

ა) გულისხმობენ, რომ კუთხური ნაკერების რღვევა ხდება ჭრის ძაბვების ზეგაუღენით, ისე როგორც ეს ნახ. 4.9,ა-ზეა ნაჩვენები.

ბ) ძაბვები ჭრის სიბრტყეზე ნაწილდება თანაბრად.

ასეთ დაშვებათა საფუძველზე ღერძული ძალის მოქმედებისას კუთხური ნაკერების სიმტკიცე მოწმდება ორ კვეთში, ნაკერის ლითონში (კვეთი 1-ში, ნახ. 4.11,ა).

$$\tau = \frac{N}{\beta_f \kappa_f l_w} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (4.6)$$

შენადნობის ლითონის საზღვარზე (კვეთი-2, ნახ. 4.11,ა).

$$\tau = \frac{N}{\beta_z \kappa_f l_w} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c; \quad (4.7)$$

სადაც  $l_w$  არის კუთხური ნაკერის საანგარიშო სიგრძე

$$l_w = l - 10 \text{ მმ.}$$

$l$  - ნაკერის მთლიანი სიგრძე;

$\beta_f, \beta_z$  - კოეფიციენტები, აიღება ცხრილი 4.5-დან.

როდესაც შესადუღებელი ელემენტების დენადობის ზღვარი ნაკლებია 580 მპა-ზე  $\beta_f$  და  $\beta_z$  აიღება ცხრილი 4.5-დან. როდესაც დენადობის ზღვარი მეტია 580 მპა-ზე  $\beta_f = 0,7$  და  $\beta_z = 1$ -ს.

$\gamma_{wf}, \gamma_{wz}$  არის კუთხური ნაკერების მუშაობის პირობების კოეფიციენტები, რომლებიც უდრის 1 გარდა  $I_1, I_2, II_2, III_3$  კლიმატურ რაიონებში მომუშავე კონსტრუქციებისათვის, სადაც  $\gamma_{wf} = 0,85$  როცა  $R_{wst} = 410$  მპა-ს, და ყველა ფოლადისათვის  $\gamma_{wz} = 0,85$ .

$R_{wf}, R_{wz}$  არის კუთხური ნაკერების საანგარიშო წინაღობა და აიღება ცხრ. 4.3-დან.

პრაქტიკული გაანგარიშების დროს წინასწარ ნიშნავენ ნაკერის სიმაღლეს  $k_f$  და (4.6) და (4.7) ფორმულებით ანგარიშობენ ნაკერის ჯამურ სიგრძეს.

$$l'_w = \frac{N}{\beta_f \kappa_f \gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}} \quad (4.8)$$

$$l''_w = \frac{N}{\beta_z \kappa_f \gamma_{wz} \gamma_c R_{wz}} \quad (4.9)$$

$l'_w$  და  $l''_w$  -დან საბოლოოდ აიღება უდიდესი.

შესაძლებელია ანგარიში ჩატარდეს პირიქით დაინიშნოს ნაკერის სიგრძე და ვიანგარიშოთ ნაკერის სიმაღლე.

$$\kappa_f' = \frac{N}{\beta_f l_w \gamma_w \gamma_c R_w} \quad (4.10)$$

$$\kappa_f'' = \frac{N}{\beta_z l_w \gamma_w \gamma_c R_w} \quad (4.11)$$

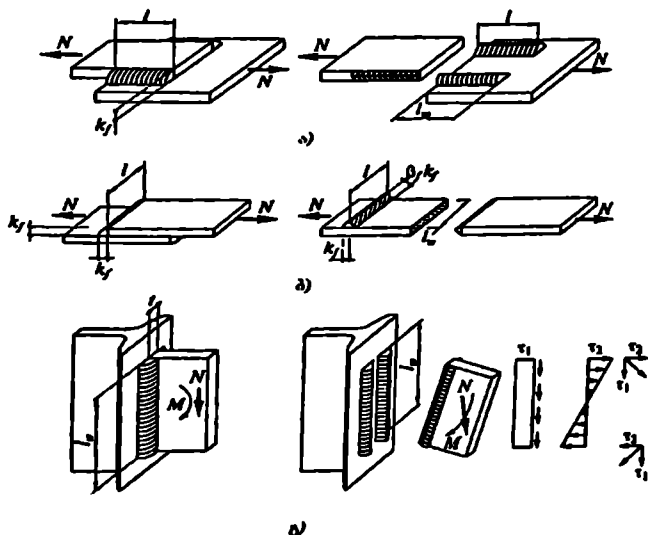
$\kappa_f'$  და  $\kappa_f''$ -დან საბოლოოდ აიღება უდიდესი.

მლუნავი მომენტისა და გრძივი ძალების ერთობლივი მოქმედებისას, კუთხური ნაკერის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით

შედულების ნაკერის ლითონში:

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{M}{W_f} + \frac{N}{A_f}\right)^2 + \left(\frac{Q}{A_f}\right)^2} \leq R_w \gamma_w \gamma_c \quad (4.12)$$

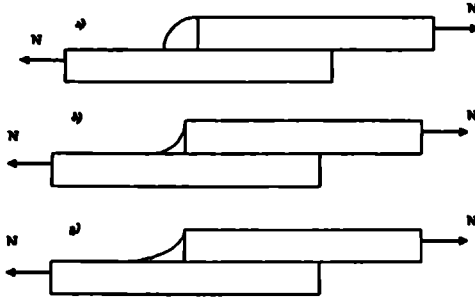
ნაკერის ლითონის საზღვარზე:



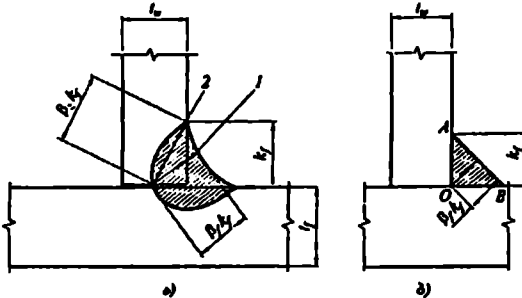
ნახ. 4.9. კუთხური შედულების ნაკერების საანგარიშო სქემები. ა) - შეერთების რღვევა ფლანგური ნაკერებით; ბ) - შუბლური ნაკერებით; გ) - ღუნვაზე და ჭრაზე მომუშავე ნაკერები.

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{M}{W_z} + \frac{N}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q}{A_z}\right)^2} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c \quad (4.12)$$

სადაც  $W_f = \frac{\beta_f k_f l_w}{6}$ ,  $W_z = \frac{\beta_z k_z l_w}{6}$ ,  $A_f = \beta_f k_f l_w$ ,  $A_z = \beta_z k_z l_w$ .



ნახ. 4.10. კუთხური ნაკერების სახეები  
ა)-ნორმალური; ბ)-შეზნექილი; გ)-დამრეცი



ნახ. 4.11. კუთხური ნაკერების რღვევის სქემა  
1-ნაკერის ლითონში; 2-შენადნობის ლითონის საზღვარზე

შეერთების სახე	შედულების ხერხი	ფოლადის დენადობის ზღვარი მპა	შედულების მინიმალური კათეტი $k_f$ , (მმ) როდესაც უფრო სქელი შესადულებელი კულმენტის სისქვა (1 მმ)						
			4-5	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40	41-80
ტესებრი ორმხრივი კუთხური ნაკერით, პირგადადებ ული და კუთხური	ხელით	430-დან	4	5	6	7	8	9	10
		430- დან 580-მდე	5	6	7	8	9	10	12
	ავტომატუ რი და ნახევრად ავტომატუ რი	430-მდე	3	4	5	6	7	8	9
		> 430- დან 580-მდე	4	5	6	7	8	9	10
ტესებრი ცალმხრივი კუთხური ნაკერებით	ხელით	380-მდე	5	6	7	8	9	10	12
	ავტომატუ რი და ნახევრად ავტომატუ რი		4	5	6	7	8	9	10

შედულების სახე ელექტროდის შესადულებელი მაეთულის დიამეტრის ( $d$ მმ) მიხედვით	ნაკერის მდებარეობა	კოეფიციენტები	$\beta_f$ და $\beta_z$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები ნაკერის კათეტების შემთხვევაში, მმ			
			3-8	9-12	14-18	18 და მეტი
ავტომატური, როცა $d = 3 + 5$	ნავისებ რი	$\beta_f$	1,1			0,7
		$\beta_z$	1,15			1,0
	ქვედა	$\beta_f$	1,1	0,9		0,7
		$\beta_z$	1,15	1,05		1,0
ავტომატური და ნახევრად ავტომატური, როცა $d = 1,4 + 2$	ნავისებ რი	$\beta_f$	0,9		0,8	0,7
		$\beta_z$	1,05		1,0	
	ქვედა	$\beta_f$	0,9	0,8	0,7	
		$\beta_z$	1,05	1,0		
ხელით; ნახევრად ავტომატური მთლიანკეუთიანი მაეთულის შემთხვევაში როცა $d < 1,4$ ან ფხენილიანი მაეთულის შემთხვევაში	ნავისებრი ქვედა პორიზონტალური ვერტიკალური	$\beta_f$	0,7			
		$\beta_z$	1,0			

შენიშვნა: კოეფიციენტის მნიშვნელობები შეესაბამება  
შედულების ნორმალურ რეჟიმს.



## ჭანჭიკებით შეერთება

5.1. სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოყენებული ჭანჭიკების ტიპები. ამჟამად ფოლადის კონსტრუქციებში, შედუღებით შეერთებასთან ერთად, იყენებენ ჭანჭიკებით შეერთებას. ჭანჭიკები (ნახ. 5.1) ისმება წინასწარ მომზადებულ შესაერთებელი ელემენტების ნახერეტებში (ნახ. 5.3). მათი დაყენების პროცესი გაცილებით მარტივია, ვიდრე მოქლონებისა, რადგან იგი არ მოითხოვს კვალიფიციურ მუშახელს და რთულ მოწყობილობას. ამავე დროს, ჭანჭიკებით შეერთება მოქლონურ შეერთებასთან შედარებით, ნაკლებად მონოლითურია. ლითონების კონსტრუქციებში ჭანჭიკებით შეერთებას ძირითადად იყენებენ:

1. ასაწყობ დასაშლელ კონსტრუქციებში;
2. მონტაჟის დროს (მაგ. წამწის საყრდენი კვანძების მისამაგრებლად სვეტებთან, კაეშირების მისაერთებლად წამწის კვანძებთან და სხვა);
3. მოქლონვისა და შედუღების დროს დროებითი სამონტაჟო სამაგრის სახით;
4. სახსროვანი კვანძების მოსაწყობად;
5. სვეტების საძირკველში მოსაწყობად;
6. როდესაც შესაერთებელი პაკეტის დიდი სისქის გამო ტექნიკურად შეუძლებელია მოქლონებით შეერთება.

ჭანჭიკები, რომლებსაც იყენებენ ლითონის კონსტრუქციებში, იყოფა ოთხ ჯგუფად:

1)-უხეში (ГОСТ 15589-70) ან (ГОСТ 15591-70), 2)-ნორმალური (ГОСТ 7798-70) ან (ГОСТ 7796), 3)-ამაღლებული (ГОСТ 7805-70) სიზუსტის, 4)-მაღალი სიმტკიცის (ГОСТ 1050-74) ჭანჭიკებად; არსებობს ასევე თვითსატრეფი კუთხვილიანი და საძირკველის ჭანჭიკები (ნახ. 5.1).

სიმტკიცის მიხედვით ჭანჭიკები იყოფა კლასებად: 4.6; 5.6; 6.6; 4.8; 5.8; 8.6.

ნორმალური და უხეში სიზუსტის ჭანჭიკები მზადდება ნახშირბადმცირე\* (მარკით ВСтЗ, ВСт5) და მცირედლევირებული (09Г2, 14Г2, 15ГС, 15ХСНД) ფოლადებისაგან. ასეთი ჭანჭიკების, ნახერეტში ადვილად ჩასმის მიზნით, ნახერეტის დიამეტრს იღებენ 2÷3 მმ-ით მეტს ჭანჭიკის დიამეტრზე. უხეში და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკები ძირითადად გამოიყენება, როგორც სამონტაჟო საშუალებები (შეერთების ფიქსაციისათვის) და ხშირად მათ შავ ჭანჭიკებს უწოდებენ.

მაღალი სიზუსტის ჭანჭიკები მზადდება 8.8 კლასის ფოლადისაგან (დან. 21). ასეთი ჭანჭიკებით შეერთების დროს ჭანჭიკისა და ნახერტის დიამეტრების სხვაობა  $0,3+0,5$  მმ-ია. სუფთა ჭანჭიკებით შეერთება ხასიათდება საკმაო სიმძლავრით და ნაკლები დეფორმაციულობით. ამიტომ მათ იყენებენ, როდესაც საჭიროა მოქლონური შეერთების შეცვლა ჭანჭიკური შეერთებით ან სამონტაჟო შეერთებებში, როდესაც ჭანჭიკებს გადაეცემა ძერის ძალები. მაღალი სიზუსტის ჭანჭიკებს ზოგჯერ სუფთა ჭანჭიკებს უწოდებენ. სუფთა ჭანჭიკების ქანჩებით მჭიდროდ მოსატყურად იყენებენ ქანჩსატყურებს, სახელურის სიგრძით 400, 800 და 1200 მმ. ქანჩები მზადდება იმავე მარკის ფოლადისაგან, რისგანაც ჭანჭიკები. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები მზადდება ნახშირბადიანი ან ლეგირებული ფოლადების თერმული დამუშავებით (33XC, Cm35, 40X40XΦA). თერმული დამუშავების შედეგად ჭანჭიკების სიმტკიცე იზრდება  $800+1350$  მპა-მდე. ნახერტების დიამეტრი, ისე როგორც შავი ჭანჭიკების დროს, 3 მმ-ით მეტია ჭანჭიკების დიამეტრზე. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით შეერთებების სიმძლავრე ძირითადად დამოკიდებულია ჭანჭიკების მოჭიმვის ძალაზე. ამიტომ ჭანჭიკების მოჭიმვა ხდება სპეციალურად ტარირებული ქანჩსატყურების საშუალებით. ასეთი ქანჩსატყურებით შეიძლება მოჭიმვის ძალის გაზომვა და შემოწმება.

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკური შეერთება ხასიათდება მცირე დეფორმაციულობით და ღიდი სიმტკიცით. მაგრამ ასეთი შეერთების ღირებულება სხვა შეერთებებთან შედარებით მეტია. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებს იყენებენ მხოლოდ საპასუხის-მგებლო სამონტაჟო შეერთებებში.

5.2. ჭანჭიკებით შეერთების გაანგარიშება. ჭანჭიკურ შეერთებაში გარე ძალები ცდილობენ შესაერთებელი ელემენტების ერთიმეორის მიმართ გადაადგილებას-ძვრას. ასეთ ძვრას ეწინააღმდეგება ელემენტების ნახერტებში ჩასმული ჭანჭიკები. ისინი მუშაობენ საკმაოდ რთულ დეფორმაციაზე (გაჭიმვის, თელვის, ჭრის და ღუნვის ერთდროულ მოქმედებაზე) (ნახ. 5.2). ამიტომ მათი ზუსტი გაანგარიშება უადრესად რთულ ამოცანას წარმოადგენს. გაანგარიშების გამარტივების მიზნით პირობით მიმართავენ შემდეგ დაშვებებს.

1. ჭანჭიკებით შეერთების რღვევა ხდება ჭრის, თელვის ან გაჭიმვის პირობით (ნახ. 5.2).

2. შეერთებაში მოქმედი ძალა ჭანჭიკებზე ნაწილდება თანაბრად. აქედან გამომდინარე, შავი, ნორმალური ან სუფთა ჭანჭიკის ზიდვის უნარი (ან, რაც იგივეა, ერთი ჭანჭიკის

საანგარიშო ძალა, რომლის ატანაც შეუძლია ჭანჭიკის გამოითვლება ფორმულებით:

ჭრახზე

$$N_{bs} = R_{bs} \gamma_b A n_s \gamma_c \quad (5.1)$$

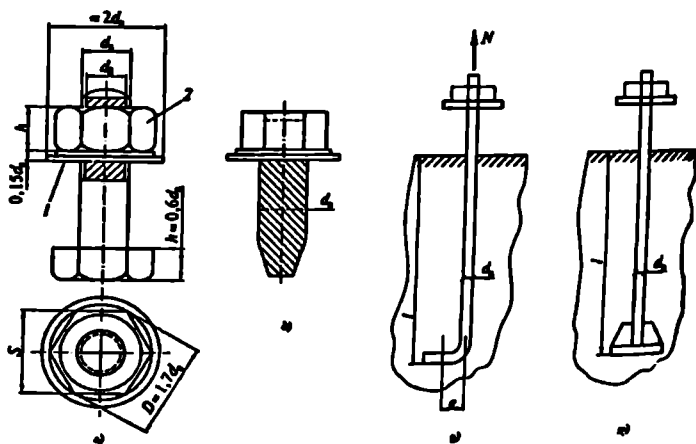
თელვაზე

$$N_{bp} = R_{bp} \gamma_b \gamma_c d \Sigma t \quad (5.2)$$

გაჭიმვაზე

$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn} \gamma_c \quad (5.3)$$

$N_{bs}, N_{bp}, N_{bt}$  სიდიდეებიდან უმცირესს ჭანჭიკის უმცირეს საანგარიშო ძალას უწოდებენ და აღინიშნება  $N_{\min}$ -ით



ნახ. 5.1. ჭანჭიკების სახეები

ა)-ჭანჭიკი საყვლურით (1) და ქანჩით(2); ბ)-თვითსაჭრელი კუთხვილიანი ჭანჭიკი; გ)-დ)-საძირკელის ჭანჭიკები, ტიპი 1- $d_b \leq 36$  მმ, ტიპი 1- $d_b \geq 30$  მმ.

$N_{\min}$  განსაზღვრის შემდეგ შეერთებისათვის საჭირო ჭანჭიკების რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

$$n \geq \frac{N}{N_{\min}} \quad (5.4)$$

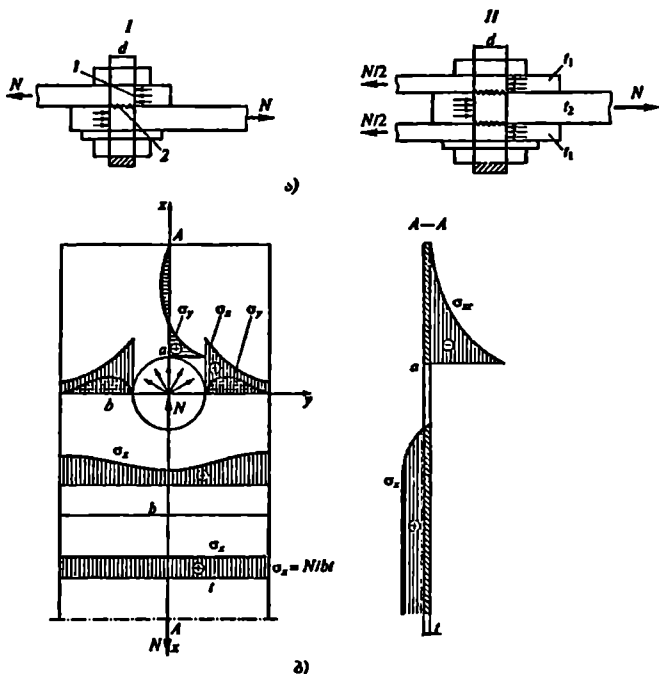
ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში:

$n$ , არის ერთი ჭანჭიკის საანგარიშო ჭრების რიცხვი;

$A = \pi d^2/4$  — ჭანჭიკის ღეროს განიკვეთის ბრუტო ფართობი;

$A_{bn}$  — ჭანჭიკის ღეროს განიკვეთის ნეტო ფართობი. მისი მნიშვნელობა ჭანჭიკის დიამეტრის მიხედვით განისაზღვრება მე-19 დანართის მიხედვით;

$d$  — ჭანჭიკის ღეროს დიამეტრი;



ნახ. 52. ჭანჭიკების მუშაობის სქემა: ა) — ერთჯრადი (I) და ორჯრადი (II) ჭანჭიკების "ჭრა";  
 ბ) — ჭანჭიკების ხერცის თელვა; 1-თელვის ზედაპირი; 2-ჭრის ზედაპირი.

$\Sigma l$  — შესაერთებელი ელემენტების თელვის უმცირესი ჯამური ფართობი;

$\gamma_b$  — ჭანჭიკური შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, მისი მნიშვნელობა აიღება დანართი 20-იდან;

$\gamma_c$  — მუშაობის პირობების კოეფიციენტი აიღება დანართი 14-დან;

$R_{bs}, R_{bp}, R_{bt}$  — ჭანჭიკის სანგარიშო წინაღობა ჭრის, თელვისა და გაჭიმვის შემთხვევაში.

ერთი ჭანჭიკის შეერთების დროს  $R_{bh}, R_{bp}$  და  $R_{b\gamma}$  განისაზღვრება ცხრილი 1-ში მოყვანილი ფორმულებით, ჭანჭიკებით შეერთების შემთხვევებში-21 და 22 დანართის მიხედვით.

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების გაანგარიშება ხდება შესაერთებელი ელემენტების შეერთების სიბრტყეში მოქმედი ხახუნის ძალების მიხედვით. მაღალი სიმტკიცის მქონე ჭანჭიკის მოჭერით წარმოშობილი ხახუნის ძალის გაზრდის მიზნით, შესაერთებელი ელემენტების ზედაპირებს წინასწარ წმენდენ ჟანგს, ზეთისა და ჭუჭყისაგან. გაწმენდა წარმოებს ლითონის ჯაგრისით, ქვიშის ჭავლით, ზედაპირების ქიმიური დამუშავებით და სხვა საშუალებით. ჭანჭიკის მოჭიმვით წარმოშობილი ხახუნის ძალა (ან რაც იგივეა ჭანჭიკის საანგარიშო ძალა), გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu}{\gamma_h} \quad (5.5)$$

სადაც  $\mu$  არის ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც ელემენტების შეერთების სიბრტყეების გაწმენდის ხერხის მიხედვით აიღება დანართი 23-ის მიხედვით;

$\gamma_b$  - მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკური შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი. მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ჭანჭიკების რაოდენობაზე და ტოლია:

როდესაც

$$\begin{aligned} n < 5, & \quad \gamma_b = 0,8 \\ 5 \leq n < 10, & \quad \gamma_b = 0,9 \\ n \geq 10, & \quad \gamma_b = 1,0 \end{aligned} \quad (5.6)$$

$\gamma_h$  - შეერთების საიმედოობის კოეფიციენტი აიღება დანართი 23-ის მიხედვით;

$R_{bh}$  - ჭანჭიკის საანგარიშო წინაღობა გამოითვლება ფორმულით:

$$R_{bh} = 0,7 R_{bun} \quad (5.7)$$

$R_{bun}$  - მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის დროებითი წინაღობის უმცირესი მნიშვნელობა გაჭიმვის დროს; აიღება დანართი 24-ის მიხედვით;

$Q_{bh}$  - ის განსაზღვრის შემდეგ, შეერთებისათვის საჭირო მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით

$$n = \frac{N}{\gamma_c Q_{bh}} \quad (5.8)$$

ხოლო ძალა, რომლითაც მოჭიმული უნდა იქნეს ჭანჭიკი, ცოლობით

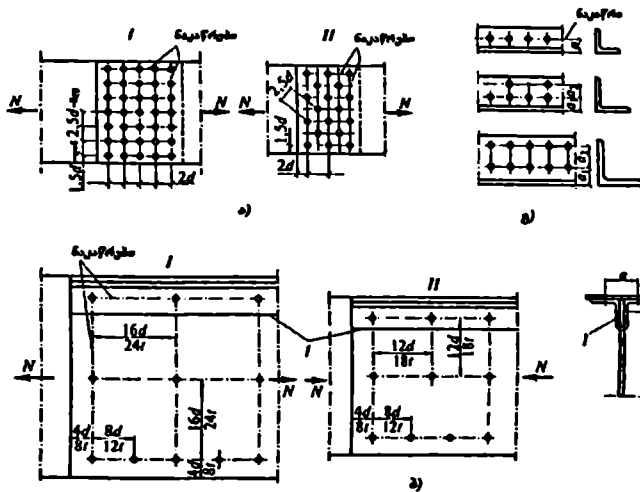
$$P = R_{bh} A_n \quad (59)$$

ცხრილი. 5.1

დაძაბული მდგომარეობა	პირობითი აღნიშვნები	ერთჭანჭიკიანი შეერთების ჭანჭიკის საანგარიშო წინააღობები			
		ჭრაზე და გაჭიმვაზე ჭანჭიკებისათვის, კლასით:			შესაერთებელი ელემენტების თელვაზე, როდესაც ელემენტების ფოლადის დენადობის ზღვარი $\leq 440$ მპა
		4,6; 5,6; 6,6;	4,8; 5,8	8,8	-
ჭრა	$R_{Bz}$	$R_{Bz} = 0,38 R_{Bst}$	$R_{Bz} = 0,4 R_{Bst}$	$R_{Bz} = 0,4 R_{Bst}$	-
გაჭიმვა	$R_{Bt}$	$R_{Bt} = 0,42 R_{Bst}$	$R_{Bt} = 0,4 R_{Bst}$	$R_{Bt} = 0,5 R_{Bst}$	-
თელვა ა) ამაღლებული სიზუსტის ჭანჭიკები ბ) ნორმალური და უხეში სიზუსტის ჭანჭიკები		-	-	-	$R_b = \left( \begin{matrix} 0,5+ \\ +340 \frac{R_{\sigma}}{E} \end{matrix} \right) R_n$ $R_w = \left( \begin{matrix} 0,5+ \\ +280 \frac{R_{\sigma}}{E} \end{matrix} \right) R_n$

ზემოთ მოყვანილი ფორმულებით ჭანჭიკის რაოდენობის განსაზღვრის შემდეგ, საჭიროა მათი განაწილება შეერთებაში. ჭანჭიკების განაწილება ხდება საწარმოო და კონსტრუქციული მოსაზრებებით. საწარმოო მოსაზრებით არჩევენ ჭანჭიკების განლაგების ისეთ სქემას, რომლის დროს ჭანჭიკების ქანჩების მოჭერა ადვილია ქანჩსაჭერით.

ამ მოსაზრებით, ყველაზე მიზანშეწონილია ჭანჭიკის რიგობრივი განლაგება (ნახ. 5.3,ა). ჭანჭიკების დიდი რიცხვის შემთხვევაში, მათი რიგობრივი განლაგების დროს პირაპირის სიგრძე გამოდის დიდი. პირაპირის სიგრძის შემცირების მიზნით მიმართავენ ჭანჭიკების ჭადრაკული წესით განლაგებას (ნახ. 5.3,ბ).



ნახ. 5.3 ჭანჭიკების განაწილების სქემა; ა) ჭანჭიკების I რიგითი და II ჭადრაკული განლაგება; ბ) ელემენტების I გაჯიშვისა და II კუმშვისას ჭანჭიკების შორის უდიდესი მანძილი; გ) ჭანჭიკების პროფილურ ელემენტებზე განლაგების სქემა;

ნახაზი 5.3-ზე ნაჩვენებია ნახევრეტების (ჭანჭიკების) ცენტრების განლაგების ხაზებს კაწრულებს უწოდებენ. ჭანჭიკების ცენტრებს შორის მანძილს ძალის მიმართულებით ბიჯი ეწოდება (ა). კონსტრუქციული მოსაზრებით ჭანჭიკების ბიჯი ისე უნდა შეირჩეს, რომ ჯერ ერთი, უზრუნველყოფილი იქნეს პირაპირის სიმტკიცე, და მეორეც-პირაპირის სიგრძე იქნეს მინიმალური. ამ მოსაზრებათა საფუძველზე ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით დადგენილი ბიჯის უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობები მოცემულია დანართი 25-ში.

5.3. მოქლონებით შეერთება. შედუღებით შეერთებასთან შედარებით, მოქლონურ შეერთებაში მასალის ხარჯი და ღირებულება 10 + 15% -ით მეტია. ის ხასიათდება დიდი შრომატევადობით, ამიტომ ასეთი შეერთება ამჟამად გამოიყენება იშვიათად, მხოლოდ იქ სადაც მოქმედებენ დიდი დინამიკური ძალები (მაგ. დიდი ტვირთამწეობის მქონე ამწისქვეშა კოჭებში, ხიდებში და სხვ.). მოქლონური შეერთება ხორციელდება მოქლონების საშუალებით (ნახ. 5.4) მოქლონები წარმოადგენენ მრგვალ ცილინდრულ ღეროს, თავით. მეორე თავი უკეთდება დამოქლონების დროს. მოქლონები მზადდება სპეციალურ წნეხებში, რბილი ფოლადის ცხელ მდგომარეობაში დაწნევით.

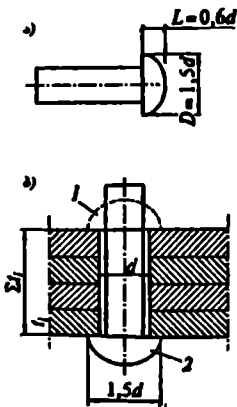
ჩვეულებრივ, მოქლონები მზადდება Cm2 მარკის ფოლადისაგან (ГОСТ499-77). დაბალლევები ელემენტების შესაერთებლად იყენებენ 09Г2 მარკის ფოლადს.

თავის მოხაზულობის მიხედვით მოქლონები შეიძლება იქნეს (ნახ.5.5): 1. ნახევრად წრიულთაგანი; 2. ფარულთაგანი; 3. ბრტყელთაგანი

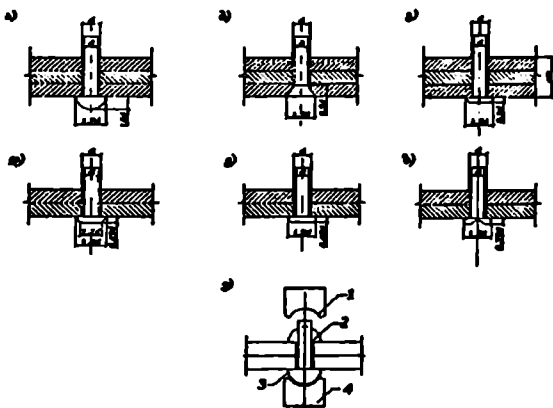
ფარულთაგან მოქლონებს იყენებენ მაშინ, როდესაც საჭიროა შეერთების ზედაპირი (პირაპირი) იქნეს გლუვი (ამოუბურცავი). ბრტყელთაგან მოქლონებს იყენებენ ცივად დამოქლონების დროს. სტანდარტის მიხედვით მოქლონები მზადდება დიამეტრით: 16, 20, 22, 24, 27 და 30 მმ. ნახვრეტის დიამეტრი აიღება მოქლონის დიამეტრზე 1-1,5 მმ-ით მეტი. ნახვრეტის მომზადება ხდება სამი წესით: ჩაჭყლვით, გაბურღვით, ან ჯერ ჩაჭყლვით და შემდეგ საჭირო დიამეტრამდე გაბურღვით. სამოქლონო ნახვრეტის მომზადება წარმოებს ჩაჭყლვით, თუ შესაერთებელი პაკეტის ფურცლების სისქე  $\leq 25$  მმ-ზე. ასეთი ხერხის დადებითი მხარეა: ნაკლები შრომატევადობა, უარყოფითი-ნახვრეტის კედლები გამოდის არაგლუვი. ამის გამო, იზრდება ნახვრეტის ახლო მდებარე მასალის სიმყიფე, რაც იწვევს მოქლონის საანგარიშო წინააღობის შემცირებას. როდესაც შესაერთებელი ფურცლების სისქე  $\geq 25$  მმ-ზე, ნახვრეტები მზადდება „გაბურღვით“ ან ჯერ ჩაჭყლვით და შემდეგ გაბურღვით. ნახვრეტების მომზადების შემდეგ დამოქლონება ხდება ცხელი ან ცივი წესით: დამოქლონების ძირითადი სახეა ცხლად მოქლონება. ასეთი წესით დამოქლონების დროს 800-1000<sup>0</sup>-მდე (ღია წითელ ფერამდე) გახურებული მოქლონები ისმება წინასწარ მომზადებულ შესაერთებელი პაკეტის ნახვრეტებში და შემდეგ ჩაქუჩის (ხელის ან პნევმატური) საშუალებით უკეთდება მეორე ჩამკეტი თავი (ნახ.5.5). გაცივების შემდეგ მოქლონები მოკლდება და თავებით მჭიდროდ უჭერს შესაერთებელ ელემენტებს, რის შედეგად, ძვრის დროს პაკეტის შეერთების სიბრტყეში წარმოიშობა დიდი ხახუნის ძალები; უკანასკნელი საგრძნობლად ზრდის შეერთების ზიდვის უნარს. ცივად გლინვის შემთხვევაში, მოქლონის ჯდომა და ჩამკეტი თავის გაკეთება წარმოებს დიდწნევიანი სპეციალური მანქანების საშუალებით. ასეთი ხერხით დამოქლონების უპირატესობად ითვლება: მოქლონურ სამუშაოთა სისწრაფე და სიმარტივე, საწვავის ეკონომია, ნახვრეტების მჭიდროდ შევსება. უარყოფითი მხარეა: დიდწნევიანი სამოქლონე მანქანების აუცილებლობა, შესაერთებელი ელემენტების ზედაპირებს შორის მცირე ხახუნის ძალების არსებობა, მოქლონების პლასტიკური თვისებების შემცირება და ფოლადის სიმყიფის გაზრდა.



მოქლონური შეერთების გაანგარიშება და მათი განაწილება შეერთებაში წარმოებს ტანჯიკური შეერთების ანალოგიურად.



ნახ. 5.4.. მოქლონებით შეერთება  
 ა)-მოქლონი ნახევრად მრგვალი თავით; ბ)-მოქლონის დაყენება შეერთებაში; 1-ჩამკეტი თავი; 2-ჩასატანებელი თავი.



ნახ. 5.5. მოქლონების ტიპები:  
 ა)-ფოლადის ნახევრად წრიულთავეიანი; ბ)-ფოლადის ფარულთავეიანი;  
 გ)-მოქლონი ცივადჭედვისათვის; დ),ე),ვ)-მოქლონები ალუმინის შენადნობებისაგან; ზ)-ჩამკეტი თავის გამოჭედვა ცხლად დამოქლონების შემთხვევაში; 1-მომჭერი; 2-ჩამკეტი თავი; 3-მოქლონის თავი; 4-დამჭერი.

## კოჭები და კოჭოვანი კონსტრუქციები

## 6.1. კოჭოვანი კონსტრუქციების საერთო დახასიათება

კოჭები წარმოადგენენ უმარტივეს კონსტრუქციულ ელემენტებს, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე. ისინი დებულობენ დატვირთვებს გადახურვისაგან და გადასცემენ საყრდენებს. მშენებლობაში კოჭებს იყენებენ შენობის მალეების გადახურვებში, კოჭოვანი მოედნების გადახურვებში, სართულშორის გადახურვებში, ხიდების აგებისას, და ა. შ.

შენობის მალი, რომელშიც გამოიყენება კოჭები, საშუალოდ შეიძლება იყოს 24 მეტრამდე. უფრო დიდი მალის შემთხვევაში გამოიყენება სხვა სახის კონსტრუქციები (ფერმები, თალები, ჩარჩოები და ა. შ.).

დანიშნულების მიხედვით კოჭები შეიძლება იყოს: გრძივების, რიგელების და ზღუდარების სახით.

სტატიკური სქემის მიხედვით კოჭები იყოფა, როგორც ტრილი, უჭრი და კონსოლური.

6.1.1. კოჭებისა და მისი კვეთების ტიპები. ლითონის კოჭების კვეთის ყველაზე მეტად გავრცელებულ ტიპს წარმოადგენს ორტესებრი პროფილი. ზოგადად, განიკვეთის ფორმის მიხედვით კოჭი შეიძლება იყოს მართკუთხა, ტესებრი, ორტესებრი, შველერის, წრიული და სხვა მოხაზულობის (ნახ. 6.1). ის შედგება ზედა და ქვედა სარტყლებისაგან, კედლისაგან, სიხისტის წიბოებისაგან და ა. შ. კვეთში მასალის ეფექტურად გამოყენებას ახასიათებენ სიდიდით, რომელსაც კვეთის გული ეწოდება  $\rho = W/A$  და ტოლია კვეთის წინაღობის მომენტის ფარდობისა განიკვეთის ფართობზე. მას გააჩნია სიგრძის განზომილება. თუ გამოვთვლით წრიული, მართკუთხა, მილოვანი და ორტესებრი პროფილების კვეთის გულის სიდიდეებს და შევადარებთ ერთმანეთს შევამჩნევთ, რომ ორტესებრი პროფილის კვეთის გულის სიდიდე მართკუთხა პროფილზე 2,5-ჯერ მეტია, ხოლო წრიულზე 3,4-ჯერ, რადან ამ კვეთში მასალის განაწილება ყველაზე უფრო მეტად შეესაბამება კოჭის ღუნვისაგან გამოწვეული ნორმალური ძაბვების განაწილების ეპიურას. ამიტომ ლითონის კოჭებს ძირითადად აპროექტებენ ორტესებრი პროფილის, რაც უზრუნველყოფს ლითონის მხებ ძაბვებზე კარგ მუშაობას. ეს პირობები იძლევა საშუალებას გავაკეთოთ კოჭის კედელი საკმაოდ თხელი. (იხ. ნახ. 6.1).

კოჭები ზოგადად არსებობს გაგლინული და შედგენილი ტიპის.

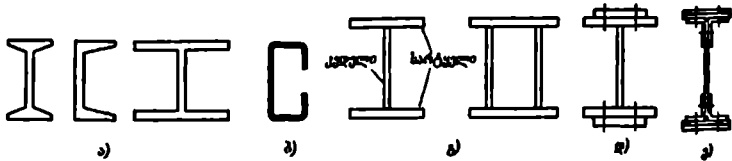


ნახ. 6.1. კოჭის კვეთის ტიპების შედარება:

ა)-წრიული,  $\rho_1 = 0,125d$ ; ბ)-მართკუთხა,  $\rho_2 = 0,17h$ ;

გ)-წრიული,  $\rho_3 = 0,25d_{\text{საშ}}$ ; დ)-ორტესებრი,  $\rho_4 = 0,42d$ ;

დატვირთვისა და მალის მიხედვით გამოიყენება ორტესებრი, შევლერის, გაგლინული ან შედგენილი პროფილების კოჭები (ნახ. 6.2). შედგენილი პროფილების კოჭები შეიძლება იყოს შედუღებული და ჭანჭიკებიანი ან მოქლონებიანი. ზოგადად უპირატესობა ენიჭება გაგლინულ კოჭებს, რადგან ისინი ნაკლებად შრომატევადია, მაგრამ სორტამენტის შეზღუდულობა არ იძლევა მათი გამოყენების საშუალებას დიდი მლუნავი მომენტების არსებობისას. ასეთ დროს გამოიყენება შედგენილი კოჭები.



ნახ. 6.2. კოჭის კვეთები:

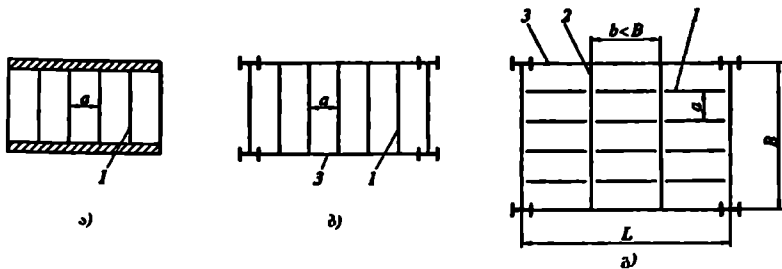
ა)-გაგლინული; ბ)-თხელკედლიანი ნაღუნი; გ)-შედგენილი შედუღებული; დ)-შედუღებული გაძლიერებული ჭანჭიკებით ე)-ჭანჭიკებით ან მოქლონებით შედგენილი.

6.1.2. კოჭოვანი გადახურვის სქემები. კოჭების სისტემას, რომლებითაც გადახურულია სხვადასხვა დანიშნულების მოედნები კოჭოვანი გადახურვა ეწოდება. ლითონის კოჭებით გადახურვა გამოიყენება სამრეწველო საამქროებში სპეციალური მოედნების მოსაწყობად, ხიდების სავალი ნაწილის გადასახურად და სხვა სახის ნაგებობებში. ასეთი კონსტრუქციებისათვის საჭიროა შევარჩიოთ მზიდი კოჭების სისტემა, რომელსაც კოჭოვანი უჯრედი ეწოდება.

გადახურვის მალის, დატვირთვის სიდიდის და ფენილის სახის მიხედვით, კოჭოვანი გადახურვა იყოფა: 1)-გამარტივებული, 2)-ნორმალური და 3)-გართულებული ტიპის კოჭოვანი უჯრედებად (ნახ. 6.3).

გამარტივებული ტიპის გადახურვა (ნახ. 6.3,ა) შედგება გადახურვის ფენილისაგან და ფენილის კოჭებისაგან-1. ფენილის კოჭები ეყრდნობა სვეტებს ან მზიდ კედლებს. ისინი ჩვეულებრივ,

განლაგებული არიან გადახურვის მცირე გვერდის პარალელურად. გადახურვაზე მოსული დატვირთვები ფენილის საშუალებით გადაეცემა კოჭებს, ხოლო კოჭებიდან-საყრდენ კონსტრუქციებს.



ნახ. 63. კოჭოვანი უჯრედის ტიპები:  
 ა)-გამარტივებული; ბ)-ნორმალური; გ)-გართულებული;  
 1-ფენილის კოჭები; 2-დამხმარე კოჭები; 3-მთავარი კოჭები.

ნორმალური ტიპის გადახურვა შედგება ურთიერთ-მართობულად განლაგებული კოჭებისა და ფენილისაგან (ნახ.63,ბ). კოჭებს, რომლებიც განლაგებულია უჯრედის გრძელი გვერდის მიმართულებით, მთავარი კოჭები ეწოდება-3, ხოლო კოჭები, რომლებზედაც დალაგებულია ფენილი და ეყრდნობიან მთავარ კოჭებს-ფენილის კოჭებს-1 უწოდებენ.

გართულებული ტიპის გადახურვა, მთავარი-3 და ფენილის კოჭების-1 გარდა, დამატებით შედგება დამხმარე კოჭებისაგან-2 (ნახ. 63,გ). ფენილის კოჭები-1 განლაგებულია დამხმარე კოჭების-2 მართობულად და უშუალოდ ეყრდნობა მას.

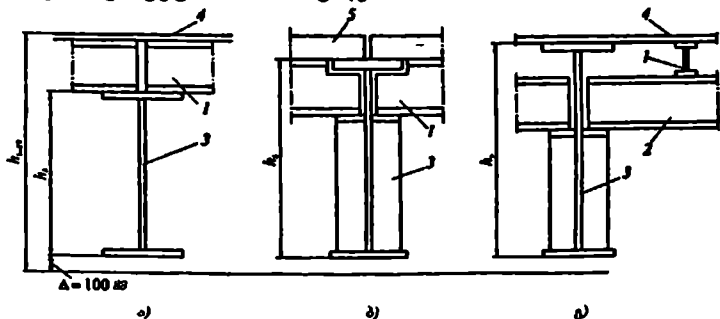
დამხმარე და ფენილის კოჭებად გამოიყენება გაგლინული ორტესებრი პროფილი (ნახ. 62,ა). მთავარ კოჭებად - დიდი ნომრის ორტესებრი გაგლინული პროფილი. თუ ასეთი პროფილის ზიდვის უნარი საკმარისი არ არის ( $h > 70$ ), მაშინ გეგმარდება შედუღებული ან მოქლონური შედგენილი კოჭები (ნახ. 62,გ,დ,ე). მოქლონური კოჭების ღირებულება და მასალის დანახარჯი, შედუღებულ კოჭებთან შედარებით, 10+15%-ით მეტია, ამიტომ გამოიყენება იშვიათად. მოქლონური კოჭების გამოყენება მიზან-შეწონილია, თუ ადგილი აქვს დიდი დინამიკური დატვირთვების ზემოქმედებას.

გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის მიხედვით, (სამშენებლო სიმაღლედ- $h_{საშ}$  ითვლება მანძილი გადახურვის ქვედა კიდური წერტილიდან ფენილის ზედაპირამდე ნახ. 65. იგი ჩვეულებრივ წინასწარ მოცემულია ტექნოლოგის ან არქიტექტორის მიერ, საჭირო მოწყობილობათა განლაგების ან არქიტექტურული

მოსაზრებებით) კოჭოვანი უჯრედის მთავარი და დამხმარე კოჭების ურთიერთშედულება შეიძლება იყოს: სართულებრივი (ნახ. 6.5,ა); ერთ დონეზე (ნახ. 6.5,ბ) და დადაბლებული (ნახ. 6.5,გ).

სართულებრივი შედულების დროს დამხმარე კოჭები-2 უშუალოდ ეყრდნობა მთავარი კოჭების-3 ზედა სარტყელს, რაც ამარტივებს მათი ურთიერთშედულების კონსტრუქციას. ასეთი შეერთების უარყოფითი მხარეა დიდი სამშენებლო სიმაღლე. როდესაც სართულებრივი შედულების კონსტრუქციული სიმაღლე არ თავსდება გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის საზღვრებში, მიმართავენ კოჭების ერთ დონეზე შედულებას.

ერთ დონეზე შედულების შემთხვევაში, დამხმარე და მთავარი კოჭების ზედა სარტყელები განლაგებულია ერთ თარაზულ სიბრტყეში, ასეთი შედულების დადებითი მხარეა მცირე კონსტრუქციული სიმაღლე, უარყოფითი-კოჭების ურთიერთშედულების კონსტრუქციის სირთულე.



ნახ. 6.5. კოჭების შედულება:

ა)-სართულებრივი; ბ)-ერთ დონეზე; გ)-დადაბლებული;

( $h_{აა}$  - გადახურვის სიმაღლე;  $h_{ბ}$  - კოჭის სიმაღლე;  $\Delta$  - კოჭის ჩაღუნვა; 1-ფენილის კოჭები; 2-დამხმარე კოჭები; 3-მთავარი კოჭები; 4-ფენილი; 5-რკინაბეტონის ფილები)

გართულებული კოჭოვანი უჯრედის შემთხვევაში გამოიყენება გადახურვის კონსტრუქციული სიმაღლის კიდევ უფრო შემცირების მიზნით, კოჭების დადაბლებული შედულება, რომელშიც მთავარი-3 და ფენილის კოჭების-1 ზედა თაროები ერთ სიბრტყეში არიან განლაგებული, ხოლო დამხმარე კოჭის-2 ზედა თაროს სიბრტყე დადაბლებულია. შედულების ეს სახეც ეკონომიურია, მაგრამ ურთულესია სამივე სახეს შორის.

კოჭოვანი უჯრედის ძირითადი ზომები (მთავარი კოჭის მაღლი, მთავარ და დამხმარე კოჭებს შორის მანძილი) დამოკიდებულია სვეტების განლაგებაზე, ეს უკანასკნელი კი სათავის ტექნო-

ლოგიური პროცესის ხასიათზე, თუ სვეტების განლაგება ტექნოლოგიური პროცესით შეზღუდული არ არის, მაშინ ძირითადი ზომები შეირჩევა ისე, რომ გადახურვის ღირებულება (ან ლითონის დანახარჯი) დაყვანილი გადახურვის ფართობის 1 მ<sup>2</sup>-ზე იქნეს უმცირესი. ასეთი მოსაზრებით შერჩეულ ზომებს კოჭოვანი გადახურვის ოპტიმალურ ზომებს უწოდებენ.

პრაქტიკის უმეტეს შემთხვევებში, კოჭოვანი უჯრედის ოპტიმალურ ზომებად იღებენ

$$L \times B = (12 \times 6) \text{ მ ან } (10 \times 5) \text{ მ-ზე.}$$

$L$  და  $B$  - კოჭოვანი უჯრედის გრძივი და განივი ბიჯებია (ნახ.6.3).

6.1.3. კოჭოვანი უჯრედების ფენილები. თავისი დანიშნულებისა და გადახურვის კონსტრუქციული გადაწყვეტის მიხედვით კოჭოვანი უჯრედების ფენილები მრავალგვარია. გადახურვის დანიშნულების მიხედვით ფენილები შეიძლება იქნეს რკინაბეტონის ან ფოლადის (ნახ. 6.4). რკინაბეტონის ფილები უმეტეს შემთხვევაში მზადდება მსუბუქი ბეტონისაგან (იშვიათად ჩვეულებრივი ბეტონისაგან).

წინასწარ დაძაბული არმატურით (ნახ. 6.4,ა). ფოლადის ფენილები წარმოადგენენ დაშტამპულ ან ბრტყელ ფოლადის ფურცლებს (ნახ. 6.4,ბ,გ,დ) ისინი მეტად მსუბუქია, რაც ითვლება მათ დიდ უპირატესობად, ამავე დროს, ლითონის დანახარჯი ფოლადის ფენილებში დიდია; ამიტომ მათი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ ქიმიურ და მეტალურგიულ საამქროებში.

ფოლადის ფენილი ჩვეულებრივ ედულება ფენილის კოჭებს (ნახ. 6.4,ბ), თუ არის საჭიროება, იმისა რომ ფენილი იქნეს დასაშლელ-ასაწყობი კონსტრუქციის, მაშინ მას აძლიერებენ სიხისტის წიბოებით (მცირე ზომის კუთხოვანებით) (ნახ. 6.4,გ).

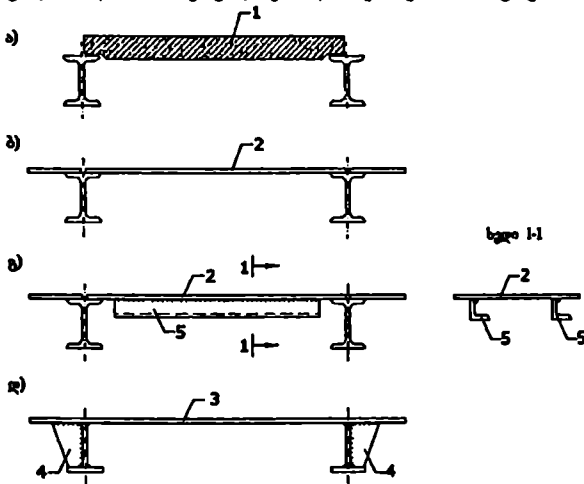
კოჭებზე მიდუღებული ფოლადის ბრტყელი ფენილის საკმარის სიქის შემთხვევაში, იგი შეიძლება გამოყენებული იქნეს როგორც კოჭის ზედა სარტყელი (ნახ. 6.4,დ).

ფენილის კოჭები გეგმაში განლაგებული უნდა იყვნენ მუდმივი ბიჯით, რომელიც ისაზღვრება ფენილის ზიდვის უნარიტა და სიხისტით. ფენილის კოჭების ბიჯი (ა), ფოლადის ფენილისას რეკომენდებულია დაინიშნოს 0,6...1,6 მ. ფარგლებში, ხოლო რკინაბეტონის ფენილისას 1...3 მ-დე (იხ. ცხრ. 6.1).

დამხმარე კოჭების ბიჯი (ბ), რეკომენდებულია დაინიშნოს 2...5მ-ის ფარგლებში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ყველაზე ხშირად მზიდ ფენილად ფოლადის ბრტყელ ფურცლებს ან რკინაბეტონის ფილების ასაწყობ ფენილს იყენებენ. ბოლო დროს დაიწყეს ფარის ფენილის

გამოყენება, რომელიც შედგება მზიდი ფოლადის ფურცლისგან. მას ზემოდან დამცავი ფენა აქვს, ხოლო ქვემოდან გრძივი და განივი წიბოებით არის გამაგრებული. ფენილის ფარების ზომაა 3x12 მ. იგი გადახურვების კოჭებზე თავსდება. ასეთი ფენილი ინდუსტრიულია და მნიშვნელოვნად აჩქარებს მონტაჟს (ნახ. 6.5).



ნახ. 6.4. კოჭოვანი უჯრედის ფენილი.

1-რკინა-ბეტონის ფილა; 2-ფოლადის დაღარული ფენილი;  
3-ფოლადის ფურცლოვანი ფენილი; 4-შეუღული სიხისტის  
წიბო; 5-ფენილის სიხისტის წიბო.

დიდი დატვირთვებისას ფარის ფენილის კონსტრუქცია შედგება გრძივი და განივი წიბოების სისტემისაგან, რომლებიც ქმნიან კოჭოვან როსტვერკს, უჯრედის ზომებით დაახლოებით 0,5x1,5 მ. მასზე ზემოდან დადებულია ფურცლოვანი ფენილი. როსტვერკის კოჭებს-წიბოებს, რომლებიც იჭერენ ფენილს, ხშირად ნაღუნი პროფილებისგან ამზადებენ. ფენილზე მათი მიდრეკილება შესაძლებელს ხდის, ფენილის ზოლს, სიგანით  $b = 1,3t\sqrt{E/R_y}$ , როგორც კოჭის ზედა სარტყლად გაანგარიშებაში ჩართვას.

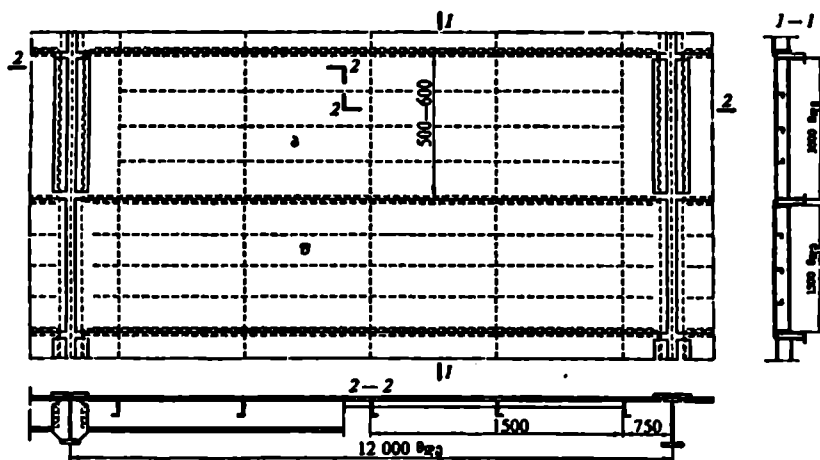
თავად ფურცლოვანი ფენილი, ეყრდნობა რა წიბოებს, მუშაობს როგორც ფირფიტა, რომლებიც ოთხივე გვერდს ეყრდნობა და კონტურზეა დამაგრებული.

გადახურვების ფენილის სასარგებლო დატვირთვად მიზანშეწონილია მიღებული იქნას თანაბრად განაწილებული

დატვირთვა, ინტენსივობით 40 კნ/მ<sup>2</sup>, ხოლო ზღვრული ფარდობითი ჩაღუნვა  $[f/l] \leq 1/150$ .

ცხრილი 6.1

სასარგებლო დატვირთვა კნ/მ <sup>2</sup>	ფურცლის სისქე, მმ.					რკინაბეტონის ფილის სისქე, მმ.			
	6	8	10	12	14	60	100	140	180
10...15	0,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1...1,5	2...2,5	2,5...3	-
15...20	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1...1,5	1,5...2	2,5...3	-
20...25	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	-	1,5...2	2,5...3	-
25...30	-	0,6	0,8	1,0	1,2	-	1,5...2	2...2,5	2,5...3
30...35	-	0,6	0,8	0,8	1,0	-	-	1,5...2	2,5...3

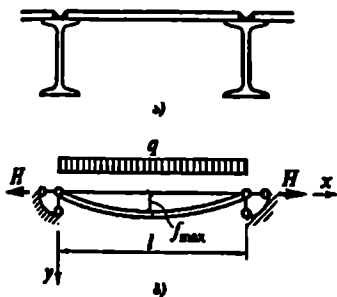


ნახ. 6.5. ფარის ფენილი: ბ-ბლოკი; ფ-ფარი

**ფოლადის ფენილი.** მზიდი ფენილის უმარტივესი კონსტრუქცია შედგება ფოლადის ფურცლისგან, რომელიც განლაგებულია კოჭებზე და შედუღებულია მათთან (ნახ. 6.6,ა). ფენილების დამჭერ კოჭებს შორის მანძილი მისი ზიდვისუნარით, ან სიხისტით პირობით განისაზღვრება.

მასალის დანახარჯების შემცირებასთან დაკავშირებით ყველაზე ხელსაყრელი გადაწყვეტილება, მიიღება ფენილის მინიმალური სისქის შემთხვევაში.





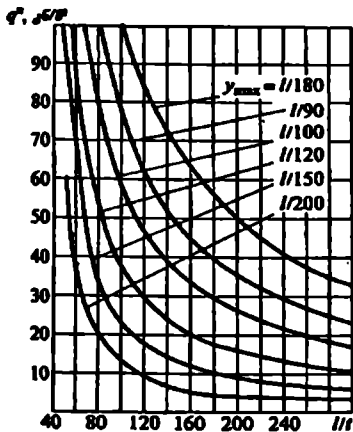
ნახ. 6.6. ფოლადის ბრტყელი ფენილი  
 ა) - ფენილის დაყრდნობა კოჭზე; ბ) - საანგარიშო სქემა.

როდესაც დატვირთვები ფარდობითი ჩაღუნვა შეადგენს მალის არაუმეტეს 1/150, კიდევში სახსროვნად-დამაგრებული თვის უზრუნველყოფილი

ამიტომ, რეკომენდებულია ფენილების სისქის 6-8მმ სისქის ფირფიტების გამოყენება როცა  $q \leq 10$  კნ/მ<sup>2</sup>;  $11 \leq q \leq 20$  კნ/მ<sup>2</sup> დატვირთვის შემთხვევაში 8-10 მმ;  $21 \leq q \leq 30$  კნ/მ<sup>2</sup>-თვის 10-12 მმ;  $q > 30$  კნ/მ<sup>2</sup>-თვის 12-14 მმ. კოჭებზე ფენილის მიდრეკილება შეუძლებელს ხდის ფენილის საყრდენების მიახლოებას დატვირთვის ქვეშ მისი ჩაღუნვისას, რაც მასში გამჭიმავ ჯაჭურ ძალებს- $H$  წარმოქმნის. მას სხვაგვარად განმბრჯენი ეწოდება. უკანასკნელი ამცირებენ მღუნავ მომენტს, რაც მალში ფენილის მუშაობას აუმჯობესებს (ნახ. 6.6,ბ).

არ აღემატება 50 კნ/მ<sup>2</sup> და ზღვრული ფოლადის ფენილის სიმტკიცე ყოველი იქნება და მისი გაანგარიშება უნდა მოხდეს მხოლოდ ჩაღუნვაზე.

პარალელურ კოჭებზე ფენილის დაყრდნობა საშუალებას იძლევა ჩაითვალოს, რომ ის ცილინდრულ ზედაპირზე იღუნება. ასეთი ფენილის გასაანგარიშებლად მასში წარმოსახვით ამოეჭრათ ერთეულოვანი სიგანის ზოლი, რომელიც ბოლოებით, უძრავი სახსრებით, არის დამაგრებული (იხ. ნახ. 6.6,ბ). მაშინ დატვირთვის ქვეშ მისი ჩაღუნვა ტოლი იქნება



ნახ. 6.7. ფურცლოვანი ფენილის  $l/i$  დამოკიდებულება ნორმატიულ დატვირთვისასთან

სადაც  $f = f_0 \frac{1}{1+\alpha} \sin \frac{\pi x}{l}$  (6.1)  
 სადაც  $f_0 = (5/384)(q l^4 / E_1 I)$  არის ნორმატიული განივი დატვირთვისგან ( $q''$ ) მალის შუაში კოჭის ჩაღუნვა;  $E_1 I$  -ცილინდრული ღუნვის სიხისტეა, როდესაც განივი დეფორმაციები

შეუძლებელია;  $E_1 = E/(1-\nu^2)$ ;  $\nu$ -პუასონის კოეფიციენტი (ფოლადისთვის  $\nu = 0,3$ );  $\alpha = H/P_e$ ;  $H$ -ზოლის გამჭიმავი ძალა (განმზღენი);  $P_e = \pi^2 E_1 I / l^2$ -ეილერის ძალა;  $x$ -მანძილი მარცხენა საყრდენიდან ჩანაღუნის განსაზღვრის ადგილამდე;  $l$ -ფენილის მალა.

ისარგებლა რა ტიმოშენკოს განტოლებებით და მიიღო ნორმატიული დატვირთვისგან ფირფიტის ფარდობითი ჩაღუნვა  $[f/l]$  მოცემულად, ტელოიანმა გამოიყვანა ფენილის უდიდესი მალის მის სისქესთან ფარდობის განმსაზღვრელი განტოლება მოცემული ზღვრული ჩაღუნვის პირობიდან

$$\left(\frac{l}{t}\right)^3 - \frac{96}{5n_0^3} \frac{E_1}{q^n} \left(\frac{l}{t}\right)^2 - \frac{32}{5n_0} \frac{E_1}{q^n} = 0, \quad (6.1)$$

საიდანაც მიახლოებით

$$\frac{l}{t} \approx \frac{4n_0}{15} \left(1 + \frac{72E_1}{n_0^4 q^n}\right), \quad (6.2)$$

სადაც  $(l/t)$ -არის ფირფიტის მალის საძიებელი ფარდობა მის სისქესთან;  $n_0 = [l/f]$ -ფენილის მალის ფარდობა მის ზღვრულ ჩაღუნვასთან;  $q^n$ -ნორმატიული დატვირთვა ფენილზე.

საძიებელი ფარდობა  $(l/t)$  ასევე შეიძლება განისაზღვროს ნახ. 6.7-ზე ნაჩვენები გრაფიკების მიხედვით, რომელიც ტიმოშენკოს შრომებზე დაყრდნობით ლეიტენის მიერ იქნა მიღებული.

ჯაჭვური ძალვა  $H$ , რომლის მოქმედებაზეც უნდა შემოწმდეს ფენილის დამჭერი კონსტრუქცია და შედუღების ნაკერები, და რომლებიც ფენილს ამაგრებენ კოჭთან, შეიძლება განისაზღვროს მიახლოებითი ფორმულით

$$H = \gamma_f \frac{\pi^2}{4} \left[\frac{f}{l}\right]^2 E_1 t, \quad (6.3)$$

სადაც  $\gamma_f$ -ფენილზე მოქმედი დროებითი დატვირთვის საიმედობის კოეფიციენტი.

თუკი ფენილის ზომები (სისქე  $t$  და მალა  $l$ ) ცნობილია, მაშინ მისი ზიდვის უნარისა და ჩაღუნვის შემოწმება შესაძლებელია შემდეგი ტოლობების მეშვეობით:

$$f = f_0 / (1 + \alpha); \quad (6.4)$$

$$\sigma = H/A + M/W \leq \gamma_c R_y; \quad (6.5)$$

$$H = \pi^2 E_1 I \varepsilon / l^2; \quad (6.6)$$

$$M = M_0 / (1 + \alpha), \quad (6.7)$$

სადაც  $f_0$  არის კოჭის ჩაღუნვა, რომელიც განისაზღვრება ნორმატიული დატვირთვისაგან (6.4) მიხედვით შემოწმებისას, ხოლო საანგარიშო დატვირთვისაგან (6.5)-ით შემოწმებისას;  $\alpha$  განისაზღვრება  $\alpha(1 + \alpha)^2 = 3(f_0/l)^2$  განტოლებით;  $A = 1 \cdot l$  და  $W = 1 \cdot l^2 / 6$  - შესაბამისად, არის ერთეულოვანი სიგანის მქონე ფენილის ზოლის განივი კვეთის ფართობი და წინაღობის მომენტი;  $M_0 = ql^2 / 8$  - კოჭური მღუნავი მომენტი.

## 6.2. გაგლინული კოჭები

გაგლინულ კოჭებად, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე, ჩვეულებრივ იყენებენ ორტესებს (ГОСТ 8239-89), *Б* ტიპის ნორმალურ ორტესებს (ГОСТ 26020-83), *III* ტიპის ფართოთარობიან ორტესებს. ქანობიანი გადახურვისათვის გაგლინულ გრძივებად იყენებენ შეველერებს (ГОСТ 8240-89). გლინული სორტამენტის სხვადასხვაობა საკმაოდ დიდია და გაგლინული კოჭები ფართოდ გამოიყენება კონსტრუქციებში, სადაც საჭიროა წინაღობის მომენტი  $W \leq 13000$  სმ<sup>3</sup>.

გაგლინული კოჭები გლინვის პირობიდან გამომდინარე, მიიღება საკმაოდ "სქელკედლიანი", რაც უზრუნველყოფს მისი სარტყლებისა და კედლის "კარგ მდგრადობას". ასეთი "კარგი მდგრადობის" მიზეზია ის, რომ კრიტიკული ძაბვები ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვისას ყოველთვის არის დენადობის ზღვარზე მეტი. გაგლინული კოჭების სქელკედლიანობა ღუნვისას უწყობს ხელს მასალის მუშაობას დრეკად-პლასტიკურ არეში, რაც ამაღლებს მის ზიდვის უნარს.

6.2.1. გაგლინული კოჭების კვეთის შერჩევა. გაგლინული კოჭების სიმტკიცის შემოწმება, რომლებიც მუშაობენ დრეკად საზღვრებში და იღუნებიან ერთ-ერთ მთავარ სიბრტყეში (ნახ. 2.13), ხდება მღუნავი მომენტის მიხედვით, შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W^{nt}} \leq R_y \gamma_c \quad (6.8)$$

კოჭის კვეთის შერჩევისას მისი საჭირო წინაღობის მომენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$W_{\text{საჭ}}^{nt} = \frac{M_{\max}}{R_y \gamma_c} \quad (6.9)$$

სადაც  $R_y$  არის ფოლადის საანგარიშო წინაღობა (აიღება დან. 5);  $\gamma_c$ -მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (აიღება დან. 14).

წინააღობის მომენტის მიხედვით პროფილის ტიპის შერჩევის შემდგომ, სორტამენტიდან შეირჩევა კოჭის პროფილის უახლოესი ნომერი მეტობით. შეირჩეული კვეთი მოწმდება სიმტკიცეზე მხები ძაბვების მოქმედებისას ფორმულით

$$\frac{Q_{\max} S}{I_w} \leq R_y \gamma_c \quad (6.10)$$

სადაც  $Q_{\max}$  არის უდიდესი მღუნავი მომენტი საყრდენთან ახლოს;  $S$ -კვეთის იმ ნაწილის სტატიკური მომენტი, რომელზეც ხდება ძვრა;  $I$ -მთელი კვეთის ინერციის მომენტი;  $I_w$ -კოჭის კედლის სისქე;  $R_y$ -ფოლადის საანგარიშო წინააღობაა ჭრაზე (აიღება დან. 5).

გაგლინული ჭრილი კოჭებისათვის, რომლებიც დამზადებული არიან ფოლადებისაგან ნორმატიული საანგარიშო წინააღობით 530 მპა-მდე, მასზე სტატიკური დატვირთვის ზემოქმედებისას, უზრუნველყოფილი საერთო მდგრადობის დაკარგვისაგან, ამასთან მხები ძაბვების შეზღუდული მნიშვნელობისას  $M$  და  $Q$ -ს ყველაზე მეტად არახელსაყრელი შეთანწყობისას, მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას მასალის დრეკად-პლასტიკური მუშაობა და შემოწმებული იქნას მათი სიმტკიცე შემდეგი ფორმულებით:

ერთ მთავარ სიბრტყეში ღუნვისას, როცა მხები ძაბვები  $\tau \leq 0,9R_s$ ,

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{c_1 W_{x1}} \leq R_y \gamma_c \quad (6.11)$$

და ორ სიბრტყეში ღუნვისას, როდესაც მხები ძაბვები  $\tau \leq 0,5R_s$ ,

$$\sigma = \frac{M_x}{c_x W_{x1, \min}} + \frac{M_y}{c_y W_{y1, \min}} \leq R_y \quad (6.12)$$

სადაც  $M_x$  და  $M_y$  არის მღუნავი მომენტების მნიშვნელობები მთავარი ( $x$ ,  $y$ ) ღერძების მიმართ; როცა  $\tau \leq 0,5R_s$ , მაშინ მხები ძაბვების გაველენა პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებაზე არ არის არსებითი და კოეფიციენტი  $c_1 = c$  და მისი მნიშვნელობა მოყვანილია დან. 6-ში. ხოლო როცა  $0,5R_s < \tau < 0,9R_s$ , მაშინ  $c_1$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება ფორმულით:

$$c_1 = 1,05\beta c = 1,05c \sqrt{\frac{1 - (\tau/R_x)^2}{1 - \alpha(\tau/R_x)^2}}$$

სადაც  $\alpha$  არის კოეფიციენტი და ტოლია 0,7 ორტესებრი კოჭებისათვის, რომლებიც კედლის სიბრტყეში იღუნებიან (სხვა ტიპის კვეთებისათვის  $\alpha = 0$ );  $\tau = Q/ih$  საშუალო მხები ძაბვაა,  $i$  და  $h$ -კვეთის სისქე და სიმაღლე,  $Q$ -უდიდესი განივი ძალა (საყრდენებზე);  $c_x$  და  $c_y$  აიღება დან. 6-ის მიხედვით;  $W_{xm}$  და  $W_{ym}$  კვეთის ნეტო წინაღობის მომენტებია შესაბამისად  $x$  და  $y$  ღერძების მიმართ.

სუფთა ღუნვის ზონის არსებობისას (6.11) და (6.12) ფორმულებში  $c_1$ ,  $c_x$  და  $c_y$  კოეფიციენტების ნაცვლად შესაბამისად ვღებულობთ:  $c_{1m} = 0,5(1+c)$ ;  $c_{xm} = 0,5(1+c_x)$ ;  $c_{ym} = 0,5(1+c_y)$ .

კოჭების სიმტკიცე საყრდენ კვეთში, როცა  $M = M_x = M_y = 0$ , მოწმდება მხები ძაბვების მოქმედებაზე ფორმულით:

$$\tau = \frac{Q}{ih} \leq R_y \gamma_c$$

მასალის დრეკად-პლასტიკური მუშაობის გათვალისწინებით, ერთ მთავარ სიბრტყეში ღუნვისას, კვეთის შერჩევა ხდება საჭირო ნეტო წინაღობის მომენტის მიხედვით:

$$W_{საჭ}^m = \frac{M_{max}}{c_x R_y \gamma_c} \quad (6.13)$$

სადაც თავდაპირველად მიიღება  $c_x = 1,1$  ტოლად, შემდგომ ეს მნიშვნელობა ზუსტდება.

კოჭები საერთო მდგრადობაზე (ღუნვის ბრტყელი ფორმის მდგრადობა) შემოწმებას არ საჭიროებს თუ:

1. დატვირთვის გადაცემა ხდება ხისტი ფენილით, რომელიც უწყვეტად (მთელ სიგრძეზე) ეყრდნობა კოჭის შეკუმშულ სარტყელს და საიმედო კავშირშია მასთან (რკინაბეტონის ფილები, ბრტყელი და პროფილირებული ლითონის ფენილი, ტალღოვანი პროფილი და სხვა).

2. კავშირებს შორის კოჭის საანგარიშო სიგრძის  $l_f$ , რომელიც ეწინააღმდეგება კოჭის შეკუმშული სარტყლის განივ გადაადგილებას, ფარდობა შეკუმშული სარტყლის სიგანესთან  $b_f$ -არ აღემატება ქვემოთ მოყვანილ სიდიდეს, როცა  $1 \leq h/b_f < 6$  და  $15 \leq b_f/t_f < 35$

$$\frac{l_f}{b_f} \leq \delta \left[ 0,41 + 0,0032 \frac{b_f}{l_f} + \left( 0,73 - 0,016 \frac{b_f}{l_f} \right) \frac{b_f}{h} \right] \sqrt{E/R_y} \quad (6.14)$$

სადაც  $l_f$  არის შეკუმშული სარტყლის სისქე;  $h$ -სარტყლების ფურცლების ღერძებს შორის მანძილი (სიმაღლე).

$$\delta = 1 - 0,7 \frac{(c_1 - 1)}{c - 1}$$

(კოჭების კვეთებისათვის, რომლებიც მუშაობენ დრეკადად,  $\delta = 1$ ).

თუ კოჭის შეკუმშული სარტყელი არის არასაკმარისად ჩამაგრებული, მის საერთო მდგრადობას ამოწმებენ ფორმულით (იხ. თემა 2.53.5.)

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_{\alpha}} \leq R_y \gamma_c \quad (6.15)$$

სადაც  $\gamma_c = 0,95$  მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, კოჭების საერთო მდგრადობაზე შემოწმებისას;  $W_{\alpha}$ -წინააღობის მომენტი შეკუმშული სარტყლისათვის.

ორტესებრი კვეთის მქონე კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სიმეტრიის ორი ღერძი  $\phi_b = \phi_1$  როცა  $\phi_1 \leq 0,85$  და  $\phi_b = 0,88 + 0,21\phi_1$ , მაგრამ არაუმეტეს 1-ისა, როცა  $\phi_1 > 0,85$ , რადგან ამ შემთხვევაში მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძაბვები იმყოფება მასალის დრეკად-პლასტიკური მუშაობის ზონაში.

აქ

$$\phi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left( \frac{h}{l_f} \right)^2 \frac{E}{R} \quad (6.16)$$

აქ  $\psi$  კოეფიციენტის მნიშვნელობებს ღებულობენ დანართი 7-დან. ის გამოანგარიშებულია  $\alpha$ -ს ფუნქციაში და დამოკიდებულია კოჭის ჩამაგრების ხერხზე, დატვირთვის სახეზე, დატვირთვის მოდების ხერხზე (დატვირთვის მოდება ზედა ან ქვედა სარტყელზე, სუფთა ღუნვის შემთხვევა).

ორტესებრი კვეთის მქონე კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სიმეტრიის ორი ღერძი, შეკუმშული სარტყლის მალში ორი და მეტად ჩამაგრებისას, დატვირთვის ნებისმიერი სახისას, მოდებული ნებისმიერ სარტყელზე, როცა  $0,1 \leq \alpha \leq 40$  კოეფიციენტი  $\psi = 2,25 + 0,07\alpha$ .

გაგლინული კოჭებისათვის

$$\alpha = 1,54 \frac{I_x}{I_y} \left( \frac{l_{ef}}{h} \right)^2 \quad (6.17)$$

აქ  $I_x$  არის ინერციის მომენტი სუფთა გრეხისას.

შველურის ან სხვა ტიპის კვეთის მქონე კოჭების მდგრადობაზე შემოწმებას აქვს თავისებურებები, რომლებიც მოყვანილია სამშენებლო ნორმებში. თუ შემოწმებისას აღმოჩნდა, რომ კოჭის საერთო მდგრადობა არ არის უზრუნველყოფილი, მაშინ მიზანშეწონილი იქნება შეკუმშული სარტყლის საანგარიშო სიგრძის შემცირება, კავშირების სქემის შეცვლის გზით.

გაგლინული კოჭების სარტყლების და კედლის ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება საჭირო არ არის, რადგან უზრუნველყოფილია ისეთი სისქეებით, რომლებიც მიღებულია გლინვის პირობიდან.

6.2. კოჭების სიხისტეზე შემოწმება. მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობების შემოწმება (ნაგებობისათვის ნორმალური სექსპლუატაციო პირობების უზრუნველყოფა) ხდება, კოჭის ჩაღუნვის შეზღუდვით, რომელიც გამოწვეულია ნორმატიული (საექსპლუატაციო) დატვირთვებისაგან, ხოლო მასალის მუშაობა შეზღუდულია დრეკადი არით.

ცხრილი. 6.2

ელემენტების დასაშვები ვერტიკალური ჩაღუნვები

კონსტრუქციის ელემენტები	ელემენტების მაღლის მიმართ ფარდობითი ჩაღუნვები
ამწისქვეშა კოჭები და ფერმები: <ul style="list-style-type: none"> <li>• მუშაობის საშუალო რეჟიმისას</li> <li>• მუშაობის მძიმე რეჟიმისას</li> </ul>	1/500 1/600
სამუშაო მოედნებისა და სართულშუა გადახურვის კოჭები: <ul style="list-style-type: none"> <li>• მთავარი კოჭები</li> <li>• სხვა კოჭები</li> <li>• ფოლადის ფენილი</li> </ul>	1/400 1/250 1/150
დახურვის და გადახურვის კოჭები და ფერმები: <ul style="list-style-type: none"> <li>• შეკიდული მოწყობილობების გარეშე</li> <li>• გრძივები</li> <li>• პროფილირებული ფენილები</li> </ul>	1/250 1/200 1/150

მიღებული ფარდობითი ჩაღუნვა წარმოადგენს კოჭის სიხისტის სიდიდეს; ის არ უნდა იყოს მეტი ნორმატიულზე, რომელიც დამოკიდებულია კოჭის დანიშნულებაზე ე. ი.

$$f/l \geq [f/l].$$

აქ  $f''$  ზღვრული ჩაღუნვების მნიშვნელობებია, რომელიც მოყვანილია ცხრ. 62-ში.

ერთმალისანი კოჭებისათვის რომელზეც მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა ჩაღუნვის (დეფორმაციების) გაანგარიშება ხდება ფორმულით:

$$f = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} \quad (6.18)$$

### 6.3. შედგენილი კოჭები. შედგენილი კოჭების განიკვეთის შერჩევა

**შესავალი.** შედგენილი კვეთის კოჭებს იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც გაგლინული კოჭები არ აკმაყოფილებენ, სიმტკიცის, სიხისტის და საერთო მდგრადობის პირობებიდან თუნდაც ერთ-ერთს. ისინი გამოიყენება დიდი მალეებისა და დიდი მღუნავი მომენტებისას, ასევე ისინი უფრო ეკონომიურები არიან. შედგენილი კოჭების კვეთების ძირითადი ტიპები ნაჩვენებია ნახ. 62-ზე.

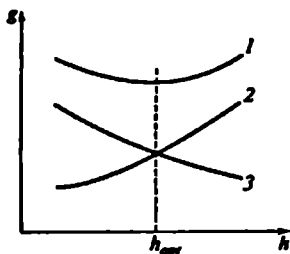
შედგენილი კოჭები ძირითადად მზადდება შედუღებით. მისი კვეთი ჩვეულებრივ შედგება სამი ფურცლისაგან: ვერტიკალური (კედელი) და ორი ჰორიზონტალური (თაროები), რომლებსაც ერთმანეთთან ადუღდებენ ქარხანაში ავტომატური შედუღებით.

თუ შედგენილ კოჭებზე მოქმედებს დიდი, მოძრავი დატვირთვა (დინამიკური), მიზანშეწონილია კედლისა და თაროების შესაერთებლად გამოყენებული იქნას ჭანჭიკებით ან მოქლონებით შეერთება.

**6.3.1. კოჭების სიმაღლე.** შედგენილი კოჭების განიკვეთის სიმაღლის შერჩევა ხდება ეკონომიური მოსაზრებით, კოჭის მაქსიმალური დასაშვები ჩაღუნვის და ზოგიერთ შემთხვევაში, სამშენებლო სიმაღლის (სხვაობა

ფენილის ზედა და გადახურვის ქვედა ნიშნულს შორის) მიხედვით.

კოჭის მასა შედგება სარტყლებისა და კედლის მასების ჯამებისაგან. კოჭის სიმაღლის გაზრდისას სარტყლების მასა მცირდება და კედლის მასა იზრდება ე.ი. სიმაღლე იცვლება, როგორც კედლისა და სარტყლის მასის ფუნქცია. რადგანაც სარტყლებისა და კედლის მასა იცვლება, სიმაღლის ცვლილებას



ნახ. 6.8. კოჭის მასის სიმაღლეზე დამოკიდებულების გრაფიკი.  
1-კოჭი; 2-კედელი;  
3-სარტყლები.



თან ერთად არათანაბრად-ერთი მცირდება, მეორე იზრდება (იხ. ნახ. 6.8) უნდა არსებობდეს ორივე ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობა. მიღებულ სიმაღლეს ეწოდება ოპტიმალური სიმაღლე- $h_{opt}$ .

1 მეტრი სიგრძის კოჭის მასა შედგება სარტყლებისა და კედლის მასისაგან

$$g_b = g_f + g_w = 2 \frac{cM}{hR_y} \psi_f \rho + h t_w \psi_w \rho \quad (6.19)$$

სადაც  $c$ -მომენტის ის წილია, რომელსაც ღებულობს კოჭის სარტყლები;  $M$ -კოჭზე მოქმედი საანგარიშო მომენტი.  $R_y$ -კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობა;  $h$ -კოჭის სიმაღლე;  $t_w$ -კოჭის კედლის სისქე;  $\psi_f$ -კოჭის სარტყლების კონსტრუქციული კოეფიციენტი  $\psi_w$ -კოჭის კედლის კონსტრუქციული კოეფიციენტი; ( $\psi_f$  და  $\psi_w$  გვინებებს თეორიული ფართობიდან რეალურ ფართობზე გადასვლას);  $\rho$ -ფოლადის სიმკვრივე.

იმისათვის რომ, მივიღოთ კოჭის წონის მინიმუმი უნდა გავაწარმოოთ (6.19) ტოლობა სიმაღლის მიხედვით და გავუტოლოთ ნულს.

$$\frac{dg_b}{dh} = -\frac{2cM}{h^2 R_y} \psi_f \rho + t_w \psi_w \rho = 0 \quad (6.20)$$

აქედან, თუ შევცვლით  $M/R_y = W$ , მივიღებთ

$$h_{opt} = \sqrt{2c\psi_f / \psi_w} \sqrt{W / t_w} = k \sqrt{W / t_w} \quad (6.21)$$

კოეფიციენტი  $k$  დამოკიდებულია კოჭის კონსტრუქციულ გაფორმებაზე-სარტყლებისა და კედლის კონსტრუქციულ კოეფიციენტებზე. კოჭებისათვის, რომლებიც განხორციელებულია ფრიქციული შეერთებით, კვეთის ნახვრეტებით შესუსტების გამო, ამ კოეფიციენტების მნიშვნელობა მეტია შედუღებულთან შედარებით. ამ და სხვა მიზეზების გათვალისწინებით რეკომენდებულია მიღებული იქნას შედუღებული კოჭებისათვის  $k = 1,2 \dots 1,15$ , ხოლო  $k = 1,25 \dots 1,2$  ფრიქციული შეერთებით განხორციელებული კოჭებისათვის.

(6.21) ფორმულიდან ჩანს, რომ რაც უფრო თხელია კედელი, მით უფრო მაღალია კოჭი და ეკონომიურია კვეთი.

კოჭის ოპტიმალური სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა, დამოკიდებული კედლის დანიშნულ მოქნილობაზე გამოყვანილია რუსი მეცნიერის ვახურკინის მიერ,

$$h_{opt} = \sqrt[3]{3\lambda_w W / 2} \quad (6.22)$$

ეს ფორმულა ადვილად შეიძლება მივიღოთ (6.21) ფორმულიდან, თუ ავიყვანთ ორივე მხარეს კვადრატში და გავამრავლებთ  $h$ -ზე, მივიღებთ

$$(h^2)h = (k\sqrt{W/t_w})^2 h \Rightarrow h^3 = k^2(W/t_w)h = k^2\lambda_w W,$$

აქედან

$$h = \left(\sqrt[3]{k^2}\right)\sqrt[3]{\lambda_w W} = k_1\sqrt[3]{\lambda_w W},$$

რაც შეესაბამება (6.21). აქ  $\lambda_w = h_w/t_w$  -კედლის მოქნილობაა.

ცხრ. 6.3-ში მოცემულია კოჭის სიმაღლისა და კედლის სისქეს შორის დამოკიდებულებები.

### ცხრილი 6.3

#### კოჭის სიმაღლისა და კედლის სისქის რეკომენდებული დამოკიდებულებები

$h_b$ , მ	1	1,5	2	3	4	5
$t_w$ , მმ	8-10	10-12	12-14	16-18	20-22	22-24
$\lambda_w = h_b/t_w$	100-125	125-150	145-165	165-186	185-200	210-230

ოპტიმალური სიმაღლის მქონე კოჭში კედლის მასა ტოლია სარტყლების მასისა. კოჭის სიმაღლის შერჩევისას უნდა გვახსოვდეს, რომ კოჭის მასის ფუნქცია თავისი მინიმუმის უბანში ( $h_{opt}$ -ის განმსაზღვრელი) იცვლება მცირედით, ამიტომ  $h_{opt}$ -დან გადაცდენა დასაშვებია. მაგ. ნამდვილი სიმაღლის გადაცდენას ოპტიმალურიდან 20%-ით მივყავართ კოჭის მასის, დაახლოებით, 4%-ით ცვლილებასთან (ნახ. 6.8).

კოჭის უმცირესი რეკომენდებული სიმაღლე  $h_{min}$  განისაზღვრება კოჭის სიხისტით-მისი ზღვრული ჩაღუნვით (მეორე ზღვრული მდგომარეობა).

გამოვიყვანოთ შედგენილი კოჭების განიკვეთის სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა კოჭის მაქსიმალური დასაშვები ჩაღუნვის პირობის გათვალისწინებით.

განვიხილოთ ორ საყრდენზე მდებარე შედგენილი, შედუღებული განიკვეთის მქონე ფოლადის კოჭი მალით-1, რომელიც დატვირთულია თანაბრადგანაწილებული ნორმატული და საანგარიშო დატვირთვებით, ინტენსივობით, შესაბამისად  $q'' = p'' + g''$  და

$q = n_p p^n + n_g g^n$ . ამ შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, კოჭის ჩაღუნვის ისარი გამოითვლება მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილი ფორმულით:

$$f = \frac{5}{384} \frac{(P^n + G^n) \cdot l^4}{EI} \quad (6.23)$$

სადაც  $E$ -კოჭის მასალის დრეკადობის მოდულია,  $I$ -კოჭის განიკვეთის ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ. კოჭის მალის შეფარდება ჩაღუნვის ისრის მნიშვნელობასთან  $[l/f]$  რეგლამენტირებულია ნორმებით კოჭის დანიშნულების შესაბამისად, ახლა მოვახდინოთ (6.23) ფორმულის გარკვეული მოდიფიცირება კოჭის განიკვეთის სიმაღლის  $h$ -ის განსაზღვრისათვის, კერძოდ, (6.23) ფორმულაში შეტანილია მაქსიმალური მღუნავი მომენტის გამოსახულება ნორმატიული დატვირთვებისაგან:

$$M^n = \frac{(P^n + G^n)^2}{8} \quad (6.24)$$

გათვალისწინებულია აგრეთვე, რომ  $I = W(h/2)$  და  $M^n = W\sigma_{(p+g)}$ , რის შედეგადაც (6.23) გამოსახულება ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$f = \frac{5\sigma_{(p+g)}^2}{24Eh}$$

საიდანაც

$$h = \frac{5\sigma_{(p+g)}^2}{24E} \left[ \frac{l}{f} \right] \quad (6.25)$$

$\sigma_{(p+g)}$  წარმოადგენს ძაბვას გამოწვეულს  $(P^n + G^n)$  ნორმატიული დატვირთვისაგან და მიზნად დასახულია, რომ ზემოთ ხსენებული ძაბვა გამოსახული იქნას  $R_y$ -მასალის საანგარიშო წინაღობის საშუალებით. ამისათვის გამოყენებულია  $W$  კოჭის საჭირო განიკვეთის წინაღობის მომენტის ორგვარი გამოსახულება:

$$W = \frac{M^n}{\sigma_{(p+g)}} \quad (6.26)$$

და

$$W = \frac{M}{R} \quad (6.27)$$

მათი გატოლებით მიიღება, რომ

$$\sigma_{(p+g)} = \frac{M^n}{M} R = \frac{P^n + g^n}{n_p p^n + n_g g^n} R \quad (6.28)$$

(6.28)-ის გათვალისწინებით და  $[l/f]$ -დასაშვები ნორმატიული სიდიდის შეტანით (6.25)-ში, საბოლოოდ მიიღება თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას მუდმივეკვეთიანი კოჭის მინიმალური სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{Rl}{E} \left[ \frac{l}{f} \right] \frac{P^n + g^n}{n_p p^n + n_g g^n} \quad (6.29)$$

კოჭის კვეთის სიმაღლის  $\min$  ინდექსის აზრი ის არის, რომ კოჭის მინიმალური სიმაღლე ანუ მინიმალური ინერციის მომენტი შეესაბამება  $[l/f]$ -ის დასაშვებ მნიშვნელობას. კვეთის სიმაღლის უფრო შემცირება გამოიწვევდა დასაშვებზე მეტ ჩაღუნვას. (6.29) გამოსახულება წარმოადგენს, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, (6.23) ფორმულის სახესხვაობას და მას კოჭის სიხისტის პირობას უწოდებენ.

$[l/f]$ -ჩაღუნვის ფარდობითი ზღვრული სიდიდე აიღება ცხრ.

6.2.-დან.  $n_p$  და  $n_g$  გადატვირთვის კოეფიციენტები.

კოჭის კვეთის შერჩევისას გასავალისწინებელია, რომ კოჭის სიმაღლე უნდა მიეიღოს, ეკონომიური მოსაზრებებით დადგენილი, ოპტიმალურ სიმაღლესთან- $h_{opt}$  ახლოს და არაუმცირეს მინიმალური სიმაღლისა- $h_{\min}$ , რომელიც დადგენილია კოჭის დასაშვები ჩაღუნვის პირობიდან.

კოჭის კედლის სიმაღლე მიზანშეწონილია შესაბამისობაში იქნას მოყვანილი სორტამენტთან. მისი სიმაღლე არ უნდა იქნეს მეტი 2000-2200 მმ-ზე მეტი. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭირო იქნება გრძივი პირაპირის მოწყობა, რაც სერიოზულ სირთულეს წარმოადგენს. ყველა შემთხვევაში კოჭის სიმაღლე მიზანშეწონილია, კონსტრუქციის უნიფიცირების პირობიდან გამომდინარე, იყოს 100 მმ-ის ჯერადი.

ცვლადკვეთიანი კოჭის სიმაღლე იანგარიშება იგივე ფორმულით მხოლოდ მას ადიდებენ 20%-ით.

6.3.2. კედლის სისქე. კოჭის სიმაღლის შემდეგ კედლის სისქე წარმოადგენს კვეთის მეორე ძირითად პარამეტრს, რადგან ის მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შედგენილი კოჭის ეკონომიურობის პირობაზე. კედლის უმცირესი სისქის განსაზღვრისათვის მისი მხებ ძაბვებზე მუშაობის პირობიდან გამომდინარე შეიძლება ვისარგებლოთ ჟურავსკის ცნობილი ფორმულით:

$$\tau = \frac{QS}{Ii_w} \leq R_s \gamma_c \quad (6.30)$$

სადაც  $Q$ -კოჭის საყრდენთან ახლოს მაქსიმალური განივი ძალაა;  $S$ -კოჭის ნახევარი კვეთის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;  $I$ -კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი;  $R_s$ -კედლის მასალის საანგარიშო წინაღობა ზრახვ.

ოპტიმალური კვეთის მქონე კოჭში, სარტყელების ფართობისა და კედლის ფართობის ტოლობისას, შიგა წვეილძალის მხარი  $I/S \approx 0,85h$ .

ჩავსვათ  $I/S$  ჟურავსკის ფორმულაში და მოვახდინოთ გარდაქმნა, მივიღებთ

$$i_w = \frac{QS}{IR_s \gamma_c} \approx \frac{1,2Q}{hR_s \gamma_c} \quad (6.31)$$

იმისათვის, რომ უზრუნველყოთ კედლის ადგილობრივი მდგრადობის პირობა დამატებით გრძივი სიხისტის წიბოების გამოყენების გარეშე, აუცილებელია სრულდებოდეს პირობა  $\lambda_w < 5,5\sqrt{R/\sigma}$ , მაშინ

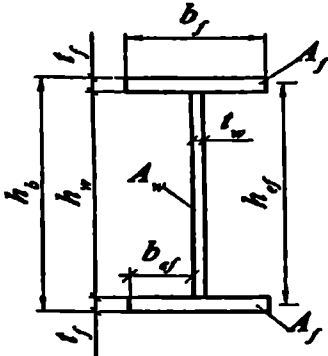
$$i_w \geq (h_w/5,5)\sqrt{\sigma/E}, \quad (6.32)$$

სადაც  $\sigma$  არის ძაბვა კოჭის შემკუმშულ სარტყელში.  $h_w = h_{opt} - 2l_f$  არის კოჭის კედლის სიმაღლე (ნახ. 6.9).

თუ კოჭის სიმაღლე მეტია 2 მეტრზე, მაშინ კონსტრუქციული ფორმის ასეთი გამართიება (სიხისტის წიბოების არგამოყენება) არ არის გამართლებული, კედლები მიიღება ზედმეტად სქელი. მაღალ

კოჭებში კედლის სისქე იღება მცირე სიდიდის, დაახლოებით სიმაღლის  $1/200-1/250$ , რაც მოითხოვს კედლის გამაგრებას გრძივი წიბოებით მისი მდგრადობის შესანარჩუნებლად.

კედლის სისქე უნდა იქნეს მიღებული მინიმალური, ოპტიმალური სიმაღლის- $h_{opt}$  განსაზღვრისას დანიშნული სისქესა (6.21-ე ფორმულა) და (6.31) და (6.32) ფორმულებიდან განსაზღვრულ სისქეებს შორის.

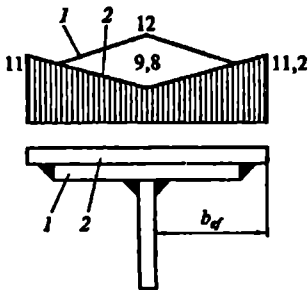


ნახ. 6.9. კოჭის განივი კვეთის სქემა და მიღებული აღნიშვნები

კედლის სისქე უნდა იქნეს შესაბამისობაში გლინული ფურცლოვანი ფოლადების არსებულ სისქეებთან. ჩვეულებრივ კედლის უმცირეს სისქედ ღებულობენ არაუმცირეს 8 მმ-ისა (ძალიან იშვიათად 6 მმ) და ინიშნება 1 მმ-ის ჯერადი 12 მმ-მდე სისქისას. თუ კედლის სისქე მეტია 12 მმ-ზე, მაშინ მისი სისქედ ინიშნება 2 მმ-ის ჯერადი.

თუ (6.21) ფორმულაში მიღებული კედლის სისქე განსხვავდება (6.31) და (6.32) ფორმულებიდან მიღებული სისქისგან 2 მმ-ით და მეტით, საჭიროა ჩაესვათ მათ შორის უდიდესი და ხელახლა ვიანგარიშოთ ოპტიმალური სიმაღლე  $h_{opt}$ .

6.33. სარტყლების ჰორიზონტალური ფურცლები. შედუღებულ კოჭებში სარტყლებად იღებენ უნივერსალური ფოლადისაგან დამზადებულ ცალმაგ ფურცლებს. ორი და მეტი ფურცლებისაგან სარტყლების დამზადება არარაციონალურია, რადგან ფლანგური ნაკერებით ფურცლების ერთმანეთთან შედუღებისას იზრდება



ნახ. 6.10. ნორმალური ძაბვების განაწილება შედუღებული კოჭის სარტყლის პაკეტის სივანეზე: 1-ქვედა ფურცელი; 2-ზედა ფურცელი.

ფურცლების არათანაბარი მუშაობა, კოჭის კედლიდან სარტყლის განაპირა ფურცელზე ძალის გადაცემის შეზღუდულობის გამო (ნახ. 6.10). ასევე მნიშვნელოვნად იზრდება შედუღებითი ნაკერების რიცხვი. ამას გარდა გარდაუვალია მხოლოდ განაპირა შედუღებულ ფურცლებს შორის ღრქოების წარმოქმნა.

შედუღებული კოჭების სარტყლის ფურცლის სისქე, ტექნოლოგიური პირობიდან გამომდინარე (სხვადასვა სისქის ფურცლების შედუღების პირობა), არ უნდა აღემატებოდეს კედლის სისქეს ( $t_w$ ) გამრავლებულს

სამზე. სარტყლის ფურცლებად 30 მმ-ზე მეტი სისქის მქონე ფურცლის გამოყენება არარაციონალურია, რადგან სქელ ფურცლებს გააჩნიათ დაბალი საანგარიშო წინაღობა (იხ. დან. 5).

საორიენტაციოდ, სარტყლის ფურცლის სისქე შეიძლება განისაზღვროს ემპირიული ფორმულითაც

$$t_f \approx 0,02h \quad (6.33)$$

მოქლონებითა და მაღალი სიმტკიცის მქონე ჭანჭიკებით შედენილ კოჭებში, შედუღებულისაგან განსხვავებით, გამოიყენება

ორი-სამი სასარტყლევ ფურცლებისაგან შედგენილი პაკეტები. შეერთების ზემოთაღნიშნული სახე იძლევა ფურცლების ერთობლივად მუშაობის კარგ საშუალებას.

სარტყლის ფურცლების სიგანეს, საერთო მდგრადობისა და გრძივი ძაბვების ფურცლის სიგანეზე თანაბრად განაწილების პირობიდან, ლებულობენ კოჭის სიმაღლის  $(1/3+1/5)$ . კონსტრუქციული მოსაზრებებით სარტყლის სიგანე მიღებული უნდა იქნას არა უმცირეს 180 მმ-ისა ან  $h/10$ . შედუღებულ კოჭებში სარტყლის ფურცლების უდიდესი სიგანე განისაზღვრება მათი ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან.

მასალის დრეკად არეში მომუშავე კოჭებისათვის, შეკუმშული სარტყლის კიდულის  $b_f$  დამოკიდებულება სისქესთან  $t_f$  არ უნდა აღემატებოდეს

$$b_f/t_f \leq 0.5\sqrt{E/R} \quad (6.34)$$

ხოლო, პლასტიკური არეში მომუშავე კოჭებისათვის

$$b_f/t_f \leq 0.1(h_f/t_w) \quad (6.35)$$

გამოვიყვანოთ კოჭის სარტყლის უმცირესი საჭირო საანგარიშო სიგანის  $b_f$  საანგარიშო ფორმულა: სარტყლის უმცირესი საჭირო ფართობი განისაზღვრება ფორმულით

$$A_f = \frac{3W}{4h}$$

კოჭის სარტყლის სიგანე აღინიშნება  $b_f$ -თ, სისქე  $t_f$ -თ, მაშინ

$$A_f = b_f t_f = \frac{3W}{4h}$$

საიდანაც მიიღება კოჭის სარტყლის უმცირესი საჭირო სიგანის  $b_f$  საანგარიშო ფორმულა:

$$b_f = \frac{3W}{4ht_f} \quad (6.36)$$

აქ სარტყლის ფურცლის სისქეს  $t_f$  წინასწარ ნიშნავენ 8+40 მმ-ის ტოლს, მაგრამ არა უმეტეს  $(2+3) \cdot t_w$  (იხ. ნახ. 6.9).

კოჭის სარტყლის საბოლოო ზომები მიზანშეწონილია, შეთანხმებული იქნას უნივერსალური ფურცლის სტანდარტულ ზომებთან. ამ პირობიდან გამომდინარე, 420 მმ-მდე სარტყლის სიგანე აიღება 20 მმ-ის ჯერადი. იმ შემთხვევაში, როდესაც სარტყლის სიგანე მეტია 420 მმ-ზე,  $b_f$  აიღება 450, 480, 500 მმ და ა. შ.

6.3.4. კოჭის კვეთის შერჩევა. კვეთის შერჩევისას ისაზღვრება კოჭის სარტყლებისა და კედლის ზომები ტექნოლოგიური, ეკონომიური, სიმტკიცის, სიხისტის და საერთო მდგრადობის პირობების გათვალისწინებით. კვეთის შერჩევის პროცესი და აღგორითში ნაჩვენებია საკურსო გეგმარში კოჭოვანი უჯრედის დაპროექტებაზე.

6.3.5. შედგენილი კოჭის განიკვეთის ცვლილება სიგრძეზე. ჭრილ, შედგენილ კოჭებში განიკვეთი, შერჩეულია მაღლის უდრდესი მდუნაეი მომენტის მიხედვით და საყრდენებთან ახლოს ზედმეტი მარაგითაა, ამიტომ ლითონის დანახარჯის შემცირების მიზნით, კოჭის განიკვეთს საყრდენთან ახლოს ამცირებენ (ნახ. 6.11). მხოლოდ კვეთის ყოველი შემცირება, რომელიც იძლევა მასალის ეკონომიას, რამდენადმე ზრდის შრომატევადობას კოჭის დამზადებაზე. ამ მიზეზით განიკვეთის ცვლილება მიზანშეწონილია მხოლოდ ისეთი კოჭებისათვის, რომელთა სიგრძე მეტია 10-12 მეტრის.

განიკვეთის შემცირება კოჭის ერთ ადგილზე იძლევა მასალის 10-12%-ით ეკონომიას. ორ ადგილზე დამატებით 3-4%-ით ეკონომიას. ამავე დროს-ცვლადკვეთიანი კოჭების დამზადება მუდმივკვეთიან კოჭებთან შედარებით ძნელია, ამიტომ მას იშვიათად იყენებენ. კოჭის დამზადების გამარტივებისათვის რეკომენდებულია კოჭის განიკვეთი შეცვლილი იქნას მხოლოდ ერთ ადგილას. განიკვეთის შემცირება შეიძლება განხორციელდეს ორი წესით:

1) საყრდენთან ახლოს კოჭის სიმაღლის თანდათანობით შემცირებით (ნახ. 6.11,ა)

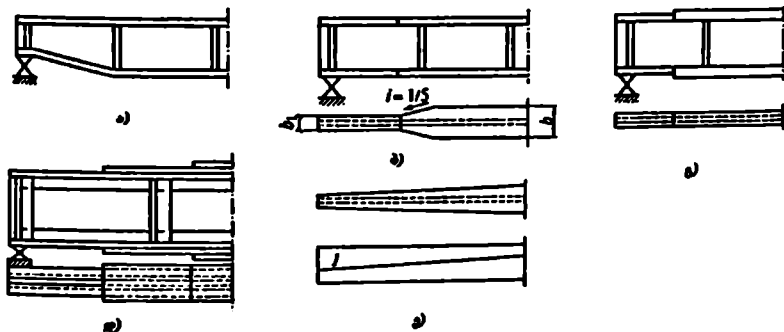
2) კოჭის სარტყლის განიკვეთის შემცირებით (ნახ. 6.11,ბ)

განიკვეთის შემცირება პირველი ხერხით ართულებს კოჭის დამზადებას, რის გამოც მიმართავენ იშვიათად. კერძოდ, დიდი მაღისა და დატვირვების შემთხვევაში (მაგ. ხიდებში). კოჭის განიკვეთის შემცირება მეორე წესით წარმოებს შემდეგნაირად: თუ სარტყელი შედგება რამდენიმე ფურცლისაგან (მაგ. ჭანჭიკურ კოჭებში) განსაზღვრულ ადგილას წყვეტენ ერთ ან რამოდენიმე სარტყლის ფურცელს (ნახ. 6.11,დ). როდესაც სარტყელი შედგება ერთი ფურცლისაგან (მაგ. შედუღებულ კოჭებში), მაშინ ამცირებენ სარტყლის ფურცლის სიგანეს ან სისქეს (ნახ. 6.11,გ). სარტყლის ფურცლის სისქის ცვლილების ადგილას შეიძლება მოხდეს ძაბუათა კონცენტრაცია, რის შედეგად წარმოიქმნება ბზარები. ასეთი არასასურველი დეფორმაციის თავიდან ასაცილებლად რეკომენდებულია შედუღებულ კოჭებში განიკვეთი შემცირდეს სარტყლის ფურცლის სიგანის ცვლილების ხარჯზე. მასალის უფრო მნიშვნელოვანი ეკონომია შეიძლება მოგვეცეს სარტყლების სიგანის უწყვეტმა ცვლილებამ (ნახ. 6.11,ე). ჟანგბადით



დიაგონალური ჭრის გამოყენებით. თუმცა ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად იზრდება შრომატევადობა, რის გამოც ის იშვიათად გამოიყენება.

ერთმალისანი კოჭის, თანაბრადგანაწილებული დატვირთვისას მასალის დანახარჯის მიხედვით, სარტყლების ცვლილების ყველაზე მეტად ხელსაყრელი ადგილი შეიძლება განისაზღვროს განტოლებით  $x = (1/6)(2 - \sqrt{4 - 3/c})$ , სადაც  $c = R_y/R_{y1}$ ; აქ  $R_y$  არის სარტყლის საანგარიშო წინაღობა კოჭის შუა უბანში;  $R_{y1}$ -იგივე განაპირა უბანში, ე. ი. იქ სადაც არ იყენებენ ნაკერის შემოწმების ფიზიკურ მეთოდებს, რის გამოც  $R_{y1} = 0,85 R_y$ . სხვა შემთხვევაში, როგორც ფორმულიდან ჩანს ცვლილების ადგილი არის მალის მექვესედი-  $x = 1/6$  (ნახ. 6.12).



ნახ. 6.11. კოჭის განიკვეთის ცვლილება სიგრძეზე:

- ა)-კოჭის სიმაღლის შეცვლით; ბ)-სარტყლების სიგანის ცვლილებით;  
 გ)-სარტყლების სისქის ცვლილებით; დ)-შოქლონურ კოჭებში  
 სარტყლების ფურცლების შეწყვეტით; ე)-სარტყლების სიგანის მდლოერე  
 ცვლილებით; ლ)-გადაჭრის ხაზი.

სარტყლის ფურცლის ცვლილების ადგილის განსაზღვრა წარმოებს გრაფიკული ან ანალიზური წესით. ანალიზური წესი მარტივია და მდგომარეობს შემდეგში:

შედულებულ ერთმალისან კოჭებში, საყრდენიდან  $x = 1/6$  მანძილზე, ნიშნავენ სარტყლის ფურცლის სიგანის შემცირების ადგილს (ნახ. 6.12). ეს მანძილი დადგენილია კოჭის წონის მინიმალური პირობით. ამის შემდეგ, განიკვეთის ცვლილების ადგილას საზღვრავენ კოჭის განიკვეთის საჭირო წინაღობის მომენტს

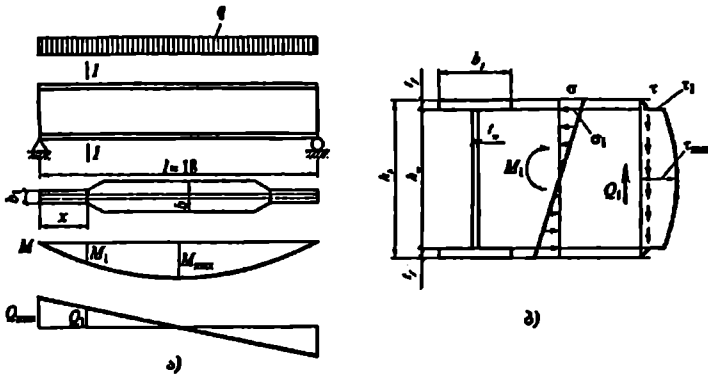
$$W_x = \frac{M_{x=1/6}}{R_{wy}} \quad (6.37)$$

სადაც  $M_{x=1/6}$  არის მღუნავი მომენტი საყრდენიდან  $x=1/6$  მანძილით დაცილებულ განივკვეთში.

თანაბრად განაწილებული დატვირთვის შემთხვევაში

$$M_{x=1/6} = \frac{qx(l-6)}{2} \quad (6.38)$$

$q$  არის თანაბრადგანაწილებული საანგარიშო დატვირთვა;  $l$  არის კოჭის მალი;  $R_{wy}$  -შედულების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა და აიღება  $0.85 \cdot R_y$ -ის ტოლი ნაკერის შემოწმების ფიზიკური მეთოდების არგამოყენებისას.



ნახ. 6.12. კოჭის განივკვეთის ცვლილება-საანგარიშო სქემა:

ა)-კვეთის ცვლილების ადგილი; ბ)-1-1კვეთში დაყვანილი ძაბვების შემოწმება.

ამგვარად, მომენტის მიხედვით ისაზღვრება კვეთის წინააღობის მომენტი და ჩვეულებრივი წესით შეირჩევა სარტყლების ახალი კვეთი. ამასთან სარტყლების კვეთის სიგანე უნდა პასუხობდეს შემდეგ პირობებს:

$$b_1 > h/10; \quad b_1 \geq 180 \text{ მმ}; \quad b_1 \geq b/2. \quad (6.39)$$

არსებობს ასევე სხვა მიდგომაც. ინიშნება შემცირებული კვეთის სარტყლის სიგანე  $b_1$  და ისაზღვრება ის მღუნავი მომენტი, რომელიც შეუძლია აიტანოს (შიილოს) კვეთმა:

$$I_1 = I_w + 2b_1 t_f (h_w/2 + t_f/2)^2; \quad W_1 = 2I_1/h; \quad M_1 = W_1 R_y \gamma_c.$$

შემდგომ თუ გაუტოლებთ  $M(x) = M_1$ , ვიპოვით საყრდენიდან იმ  $x$  მანძილს, სადაც ხდება სარტყლის კვეთის ცვლილება.

#### 6.4. შედგენილი კოჭების სიმტკიცის, ჩაღუნების და მდგრადობის შემოწმება.

6.4.1. კოჭების სიმტკიცისა და ჩაღუნების შემოწმება. კოჭებში სიმტკიცის შემოწმება დაიწყება უდიდესი ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედების შემოწმებაზე.

ჭრილ კოჭებში უდიდესი ნორმალური და მხები ძაბვების ერთმანეთს ჩვეულებრივ არ ემთხვევიან; მათ ამოწმებენ (6.8) და (6.10) ან (6.11) ფორმულებით ცალ-ცალკე დრეკად-პლასტიკური მუშაობისას.

აღსანიშნავია, რომ კოჭების მთელ სიგრძეზე (განსაკუთრებული კვეთების გარდა, რომლებშიც  $M$  და  $Q$  ნულის ტოლია) მღუნავი მომენტი და განივი ძალა, მაინც მოქმედებენ ერთობლივად. ამიტომ  $\sigma$  და  $\tau$  ცალკე-ცალკე შემოწმების გარდა საჭიროა დამატებით ნორმალურ და მხები ძაბვების ერთობლივ მოქმედებაზე შემოწმება, რომლის დროსაც განისაზღვრება დაყვანილი ძაბვები (იხილეთ თავი 2. პუნქტი 2.5.9.). ამ შემოწმებას ახდენენ მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ყველაზე მეტად არახელსაყრელ კვეთებში: უჭრი კოჭის საყრდენზე, შედგენილი ჭრილი კოჭის კვეთის ცვლილების ადგილას და ა.შ. ამასთან, შემოწმება კეთდება სარტყლების ნაკრების დონეზე ან სარტყელების მოქლონების ან ჭანჭიკების ნაკაწრების დონეზე სიმაღლეში (ნახ. 6.12).

დაყვანილი ძაბვები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1,15R_y \gamma_c \quad (6.40)$$

სადაც  $\sigma_1 = \frac{M_1 h_w}{W_1 h}$  და  $\tau_1 = \frac{Q_1 S_f}{I_1 t_w}$  არის საანგარიშო

ნორმალური და მხები ძაბვები კოჭის კედლის განაპირა უბანში სარტყლების ნაკრების (ან ჭანჭიკების) დონეზე.

(6.40) ფორმულით მოწმდება მოცემულ წერტილში ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას მასალის გადასვლა პლასტიკურ მდგომარეობაში.

კოჭის ზედა სარტყელზე კონსტრუქციის დაყრდნობისას, რომელიც გადასცემს მას შეყურსულ დატვირთვას, აუცილებელია კოჭის კედლის დამატებით ადგილობრივ თელვის ძაბვებზე შემოწმება (ნახ. 6.13)

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_w \cdot l_{loc}} \leq R_y \gamma_c \quad (6.41)$$

სადაც  $\sigma_{loc}$  - დატვირთვის ქვეშ მყოფ კედელში აღძრული თელვის ძაბვაა;  $F$  - შეყურსული დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობა;  $l_{loc} = b + 2l_f$ ;  $l_w$  და  $l_f$  - კედლის და თაროს სისქე;

$b$  - კოჭზე ადგილობრივი დატვირთვის გადაცემის უბნის სიგრძე. ამ შემთხვევაში კედლის სიმტკიცეს ამოწმებენ (დაყვანილ ძაბვებზე) კვეთში, რომელიც იმყოფება ტვირთის ქვეშ:

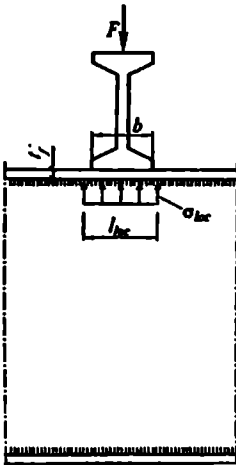
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_{loc}^2 - \sigma_1 \sigma_{loc} + 3\tau_1^2} \leq 1,15 R_y \gamma_c \quad (6.42)$$

თუ ამ შემოწმების პირობა არ

სრულდება, მაშინ კოჭის კედელი აუცილებელად უნდა იქნას გამაგრებული სიხისტის წიბოებით, რომლის ზედა ბოლო მორგებული უნდა იქნას კოჭის დატვირთულ სარტყელთან. ეს წიბო თავისი მორგებული ტორსით დებულობს შეყურსულ დატვირთვას და კოჭის კედელზე მიმაგრებული შედუღების ნაკერებით ან მოქლონებით და მდოვრედ ანაწილებს მას კოჭის კედლის მთელ სიმაღლეზე. კოჭის კედლის ასეთი წიბოების არსებობისას კოჭს ადგილობრივ მდგრადობაზე არ ამოწმებენ.

ნორმატიული დატვირთვებისაგან გამოწვეულ კოჭების ჩაღუნვას საზღვრავენ მეთოდებით. ჩაღუნვა არ უნდა იყოს მეტი მნიშვნელობებზე. შედგენილი კოჭების ჩაღუნვა შეიძლება არ ვიანგარიშოთ, თუ კოჭის ფაქტობრივი სიმაღლე მეტია მინიმალურზე, რომელიც განისაზღვრება (6.29) ფორმულით.

6.4.2. კოჭის საერთო მდგრადობის შემოწმება. კოჭის საერთო მდგრადობას ამოწმებენ (6.15)  $\sigma = M/(\phi_b W_c) \leq R_y \gamma_c$  ფორმულით, სადაც  $\phi_b$  -ს, შედგენილი ორტესებრი კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სიმეტრიის ორი ღერძი, ანგარიშობენ  $\phi_1$  -ის მიხედვით (ისევე როგორც გაგლინულ კოჭებში),



ნახ. 6.13 კოჭების  
სართულბრივი  
შეუღლება

$$\phi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left( \frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \frac{E}{R_y}$$

ორტესებრი კვეთის მქონე კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სიმეტრიის ორი ღერძი როცა  $\phi_1 \leq 0,85$ , ღებულობენ  $\phi_b = \phi_1$ , როცა  $\phi_1 > 0,85$  ღებულობენ  $\phi_b = 0,68 + 0,21\phi_1$ .

$\psi$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება დანართი 7-დან.  $\psi$ -ს განსაზღვრისათვის აუცილებელია გავიანგარიშოთ  $\alpha$  პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია კოჭის გრესხაზე წინაღობის უნარით, შედგენილი კოჭებისათვის

$$\alpha = 8 \left( \frac{l_{ef} \cdot t_f}{h_b \cdot b_f} \right)^2 \left( 1 + \frac{at_w^3}{b_f \cdot t_f^3} \right)$$

სადაც  $l_{ef}$ -კოჭის შეკუმშული სარტყლის საანგარიშო სიგრძეა, რომელიც ჩამაგრებულია (შეზღუდულია) განივი გადაადგილები-საგან.  $a = 0,5h_{ef}$ ;  $h_{ef}$ -არის სარტყლების ფურცლების ღერძებს შორის მანძილი (სიმაღლე);  $b_f$  და  $t_f$ -შესაბამისად შეკუმშული სარტყლის სიგანე და სისქეა,  $t_w$ -კოჭის კედლის სისქე.

შედგენილი მთავარი კოჭებისათვის, რომლებიც იმყოფებიან კოჭოვანი მოედნის სისტემაში და დაკავშირებული არიან ერთმანეთთან განივი კოჭებით რომლებზეც განლაგებულია ფენილი, შეკუმშული სარტყლის საანგარიშო სიგრძედ ( $l_{ef}$ ) მიიღება განივი კოჭებს შორის მანძილი.

6.4.3. კოჭის ელემენტების ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება. კონსტრუქციის ცალკეული ელემენტების მდგრადობის დაკარგვას, რომელზეც მოქმედებს ნორმალური და მხები ძაბეუ-ბი, თან ახლავს ელემენტის სიბრტყიდან ადგილობრივი გამობურცვა.

კოჭებში მდგრადობა შეიძლება დაკარგოს შეკუმშულმა სარტყელმა, ნორმალური ძაბეების ზემოქმედებით და კედელმა მხები ან ნორმალური ძაბეების ზემოქმედებით, ასევე მათი (მხები და ნორმალური ძაბეების) ერთობლივი მოქმედებით.

კოჭის ელემენტებიდან ერთ-ერთის მიერ მდგრადობის დაკარ-გვას მთლიანად ან ნაწილობრივ გამოყავს კოჭი მუშაობიდან, კოჭის მუშა კვეთი მცირდება, ხშირად ხდება არასიმეტრიული, ღუნვის ცენტრი გადაინაცვლებს, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს მთლიანი კოჭის ზიდვის უნარის ნაადრევი დაკარგვა.

ფირფიტების მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძაბვების ზოგად განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

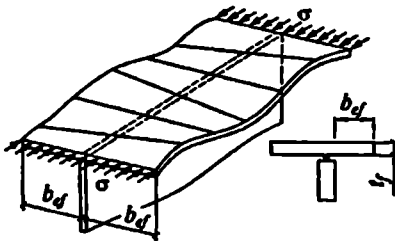
$$\sigma_{\sigma} = \frac{N_{\sigma}}{t} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 0,9kE \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

კოჭის ელემენტებმა მდგრადობა შეიძლება დაკარგოს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ კოჭში მოქმედი ძაბვები ან მათი ერთობლივი ზემოქმედება მეტი იქნება მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობებზე.

ამიტომ არასასურველია, რომ  $\sigma_{\sigma}$ -ის მნიშვნელობები იყოს ნაკლები მასალის სიმტკიცის საანგარიშო მნიშვნელობებზე და მდგრადობის დაკარგვა მოხდეს სიმტკიცის მიხედვით კოჭის ზიდვის უნარის დაკარგვაზე ადრე. ასეთ შემთხვევაში მოხდებოდა მასალის გამოუყენებლობა, რაც არაეკონომიურია.

განვიხილოთ ცალკე-ცალკე კოჭის სარტყელებისა და კედლის მდგრადობა.

შეკუმშული სარტყლის მდგრადობა შეკუმშული სარტყელი წარმოადგენს გრძელ ფირფიტას, რომელიც სახსრულად



ნახ. 6.14. სარტყლით, კოჭის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა

ჩამაგრებულია თავისი გრძელ-ნაწილით კოჭის კედელთან. მასზე მოდებულია ფირფიტის განივკვეთში თანაბრად განაწილებული ნორმალური ძაბვები, რომლებიც მოქმედებენ გრძივი მხარის გასწვრივ. ასეთი ფირფიტის მდგრადობის დაკარგვა ხდება მისი თავისუფალი ნაწილის ტალღისებურად გამობურცვის შედეგად. სარტყლის კედელთან სახსრულად ჩამა-

გრება იძლევა ზიდვის უნარის მარაგს, რადგან მოქნილ კედელს არ შეუძლია მნიშვნელოვნად შეეწინააღმდეგოს მდგრადობის დაკარგვისას სარტყლის მობრუნებას (ნახ. 6.14).

სარტყლის მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობას, როდესაც კოჭის მასალა მუშაობს დრეკად არეში, აქვს სახე:

$$\bar{\lambda}_f = \bar{\lambda}_{ფ} \quad (6.43)$$

$$\text{სადაც } \bar{\lambda}_f = (b_f / l_f) \sqrt{R_y / E} \text{ და } \bar{\lambda}_{ფ} = 0,5 \sqrt{R_y / \sigma}$$

თუ გავუტოლებთ  $\sigma = R_y$ , და ჩავატარებთ გარდაქმნებს, მივიღებთ

$$b_{\sigma}/l_f \leq 0,5 \sqrt{E/R_f} \quad (6.44)$$

სადაც  $b_{\sigma}$  -სარტყლის მოუჩარჩოებელი კიდული ნაწილია (სარტყლის სიგანის ნახევარი);  $l_f$  -სარტყლის სისქე;  $\sigma$  -შეკუმშული სარტყელში გარე დატვირთვიდან გამოწვეული ძაბვა.

აქედან ჩანს, იმისათვის რომ უზრუნველყოფილი იქნას სარტყლის მდგრადობა მასალის დრეკადი მუშაობის გათვალისწინებით, აუცილებელია სარტყლის კიდული ნაწილის (შეფერის) მის სისქესთან შეფარდება არ უნდა აღემატებოდეს (6.44) ფორმულით მიღებულ მნიშვნელობას, რაც მცირენახშირბადიანი ფოლადებისათვის შეადგენს დაახლოებით 15. როდესაც კოჭებში გათვალისწინებულია პლასტიკური დეფორმაციების განვითარება, სარტყლის მდგრადობა უარესდება. ამ შემთხვევაში ნორმები ითვალისწინებენ კედლის გამამგრებელ მოქმედებას, როცა  $2,2 < \lambda_{sw} > 5,5$  კოჭის მოუჩარჩოებელი კიდული ნაწილის ზღვრული მოქნილობის მნიშვნელობა ტოლია

$$\lambda_{sw} = 0,17 + 0,06 \lambda_{sw} \quad (6.45)$$

სადაც  $\lambda_{sw}$  -კოჭის კედლის ზღვრული პირობითი მოქნილობაა.

*კედლის მდგრადობა* კოჭის კედელი წარმოადგენს გრძელ, თხელ ფირფიტას, რომელზეც მოქმედებს მხები და ნორმალური ძაბვები, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიონ კედლის მდგრადობის დაკარგვა. ჩვეულებრივ, კედლის მდგრადობას უზრუნველყოფენ არა მისი სისქის გაზრდით (რაც იწვევს მასალის მნიშვნელოვან გადახარჯვას), არამედ სპეციალური სიხისტის წიბოების გამოყენებით. სიხისტის წიბოებს აყენებენ ფურცლის გამობურცვის მართობულად, რომლებიც ასევე ამაღლებენ კოჭის სიხისტეს.

სიხისტის წიბოები კედელს ყოფენ ნაკვეთურებად (პანელებად), ისინი მდგრადობას კარგავენ, პრაქტიკულად, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად (ნახ. 6.15). განვიხილოთ ცალკე-ცალკე კოჭის მდგრადობის დაკარგვა მხები და ნორმალური ძაბვების ზემოქმედებით.

*კედლის მდგრადობის დაკარგვა მხები ძაბვების ზემოქმედებით.* კოჭის საყრდენთან ახლოს კედელზე მოქმედებს მნიშვნელოვანი მხები ძაბვები, რომელთა მოქმედებით კედელი გამრუდდება (ნახ. 6.17,ა) და მთავარი მკუმშავი ძაბვების მიმართულებით იკუმშება (ნახ. 6.17,ბ). კუმშვის მიმართულებით კედელი შეიძლება გამოიბურცოს, ტალღების შექმნით, რომლებიც დახრილი იქნება კოჭის ღერძის მიმართ დაახლოებით  $45^{\circ}$ -იანი კუთხით (ნახ. 6.16,ა).

კოჭებისათვის, რომელთა კედელი არ არის ჩამაგრებული სიხისტის წიბოებით, კრიტიკული მხები ძაბვა, რომელიც მიღებულია

კედლის სარტყლებთან დრეკადი ჩამაგრების პირობიდან, იანგა-რიშება ფორმულით

$$\tau_{\sigma} = 10,3(R_s/\bar{\lambda}_w^2) \quad (6.46)$$

ტოლობიდან  $\tau_{\sigma} = R_s$  ვღებულობთ კედლის ზღვრულ პირობით მოქნილობას

$$\bar{\lambda}_w = (h_f/t_w)\sqrt{R_s/E} = 3,2,$$

რომლის დროსაც კედლის მდგრადობის დაკარგვა მხეხი ძაბვების მოქმედებით არ შეიძლება მოხდეს სიმტკიცის დაკარგვაზე ადრე.

ამის გამო სამშენებლო ნორმები და წესები მოითხოვს კოჭის კედელი გამაგრებული უნდა იქნას განივი სიხისტის წიბოებით შემდეგი პირობებით:

ა) კოჭის სარტყელზე ადგილობრივი დატვირთვის არარსებობისას, როცა

$$\bar{\lambda}_w > 3,2 \quad (6.47)$$

ბ) კოჭის სარტყელზე ადგილობრივი დატვირთვის არსებობისას, როცა

$$\bar{\lambda}_w > 2,2 \quad (6.48)$$

გ) დიდი შეყურსული ტვირთების მოქმედებისას და კოჭის ღუნვისაგან გამოწვეული პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების ზონაში, სიხისტის წიბოები დაყენებული უნდა იქნეს ყოველი ტვირთის ქვეშ.

კოჭის კედელში პლასტიკური დეფორმაციების ზონის (უბნის) სიგრძე  $l_{plast}$  შეიძლება განსაზღვრული იქნას მომენტების ტოლობის პირობიდან, რომლებიც შეიძლება აითვისოს კოჭმა მისი პლასტიკური დეფორმაციებით მუშაობის გათვალისწინებითა და კოჭის მთელ სიმაღლეზე კედლის დრეკადად მუშაობის გათვალისწინების პირობიდან. კოჭზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას ეს ზონა შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$l_{plast} = l\sqrt{1 - (1/c)(h/h_w)} \quad (6.49)$$

სადაც  $c$  კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას (იხ. დან. 6).

სიხისტის განივ წიბოებს შორის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს  $2h_f$ , როცა  $\bar{\lambda}_w > 3,2$  და  $2,5h_f$ , როცა  $\bar{\lambda}_w \leq 3,2$ . დასაშვებია გაიზარდოს აღნიშნული მანძილი  $3h_f$ -მდე იმ პირობით, რომ კოჭი შემოწმებული იქნება საერთო და ადგილობრივ მდგრადობაზე შესაბამისი ფორმულებით. მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას



ცალმხრივი სიხისტის წიბოები სიგანით არა უმცირეს  $b_r = h_w / 24 + 50$  მმ.

სიხისტის ცალმხრივი წიბოები, რომლებიც განლაგებული არიან ზედა სარტყელზე მოდებული შეყურსული ძალის გასწრივ (მაგ. კოჭების სართულებრივი შეუღლებისას), მიზანშეწონილია გაანგარიშებული იქნას, როგორც ექსცენტრულად შეკუმშული დგარი. ექსცენტრისიტეტი ტოლია მანძილისა კოჭის კედლის შუალედი სიბრტყიდან დგარის საანგარიშო კვეთის სიძიძის ცენტრამდე. ამ დგარის საანგარიშო კვეთში აუცილებელია შეყვანილი იქნას სიხისტის წიბოს კვეთი და კედლის ზოლი სიგრძით  $0,65t_w \sqrt{E/R_y}$ , წიბოს ორივე მხრიდან. დგარის სიგრძედ საჭიროა მიღებული იქნას-კედლის სიმაღლე. ცალკეულ შემთხვევებში დასაშვებია სიხისტის წყვილი წიბოები (მაგ. მეორე ხარისხოვანი კოჭების მთავარ კოჭებთან გვერდიდან მიერთებისას) ამ შემთხვევაში დგარი იანგარიშება, როგორც ცენტრალურად შეკუმშული და ყოველი წყვილი სიმეტრიული სიხისტის წიბოების სიგანე არ უნდა იყოს ნაკლები  $b_r = h_w / 30 + 40$  მმ, წიბოების სისქე არ უნდა იყოს ნაკლები  $t_r = 2br \sqrt{R_y/E}$ .

სიხისტის წიბოები კედელთან შედუღებული უნდა იქნას მთლიანი ცალმხრივი ნაკერებით. ეს ნაკერები არ უნდა იქნას მიყვანილი სარტყელების ნაკერებამდე 40-50 მმ-ით, ნაკერების თერმული ზემოქმედებების შემცირების მიზნით.

კოჭის სიხისტის წიბოებით გამაგრებული კედელი, რომელიც კვეთს კედლის შესაძლო გამობურცვის ტალღას, ზრდის კრიტიკულ მხებ ძაბვას, რომელიც ახლა უკვე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau_{cr} = 10,3(1 + 0,76 / \mu^2) \cdot (R_s / \bar{\lambda}_d^2) \quad (6.50)$$

სადაც  $\mu$ -დიდი გვერდის  $a$  ან  $h_w$  (ნახ 6.17,გ) მცირესთან  $d$  შეფარდებაა;  $\bar{\lambda}_d = (d/t_w) \sqrt{R_y/E}$ ;  $t_w$ -კედლის სისქეა.

ნორმებით სიხისტის წიბოების მაქსიმალურად დასაშვებ მანძილზე დაყენებისას  $a_{max} = 2h_w$ , ე.ი. როცა  $\mu = 2$  კრიტიკული ძაბვა იზრდება  $\bar{\tau}_{cr} = 12,26(R_s / \bar{\lambda}_w^2)$  მნიშვნელობამდე, ხოლო კედლის პირობითი მოქნილობა არ არის საშიში  $\bar{\lambda} = 3,5$ -მდე. ამის გათვალისწინებით, ნორმებით დასაშვებია, სიხისტის წიბოებით გამაგრებული კოჭის კედლის მდგრადობა არ იქნას შემოწმებული შემდეგ შემთხვევებში:

ა) იმ კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სარტყელების ორმხრივი ნაკერები, ადგილობრივი დატვირთვის არარსებობისას და როცა

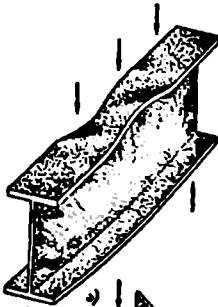
$$k_p \leq 3,5 \quad (6.51)$$

ბ) ასეთივე კოჭებისათვის, სარტყელების ცალმხრივი ნაკერისას

$$k_p \leq 3,2 \quad (6.52)$$

გ) კოჭებისათვის სარტყელების ორმხრივი ნაკერებით და რომელზეც მიღებულია (სარტყელზე) ადგილობრივი დატვირთვა, და როცა

$$k_p \leq 2,5 \quad (6.53)$$



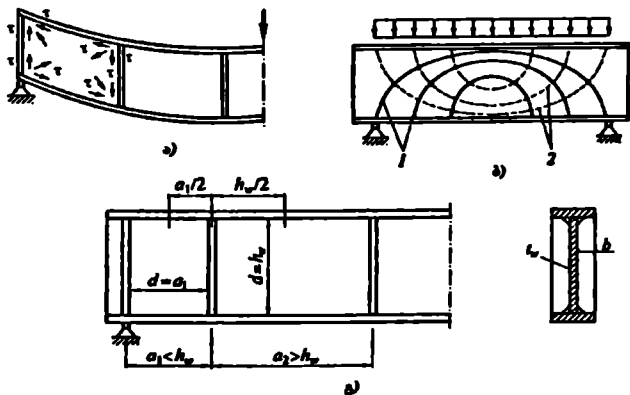
ნახ. 6.15. კოჭის კედლის მდგრადობის დაკარგვა



ნახ. 6.16. თხელკედლიანი ელემენტების მდგრადობის დაკარგვა:  
ა)-კოჭის; ბ)-სვეტის

სიმეტრიული, ორტესებრი კვეთის მქონე, დრეკადად მომუშავე კოჭის კედლის მდგრადობა, რომელზეც მოქმედებს ნორმალური ძაბვები. კოჭის მალის შუა უბანში მხები ძაბვების გავლენა არის უმნიშვნელო. აქ კოჭზე ძირითადად მოქმედებს ღუნვისაგან გამოწვეული ნორმალური ძაბვები, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიოს მისი მდგრადობის დაკარგვა. გამობურცვისას, კედელი კოჭის შეკუმშულ ზონაში ქმნის ტალღებს, რომლებიც არიან მათი სიბრტყის მართობული. განივ წიბოებს არ შეუძლიათ მნიშვნელოვანი გავლენა იქონიონ კედლის გამობურცვაზე, რადგან

გამობურცვის ტალღის სიგრძე არის მცირე (დაახლოებით  $\approx 0.67h$ ), ხოლო მათი მიმართულება არის განივი სიბრტყის წიბოების პარალელური, ამიტომ კედელი ყველა შემთხვევაში გამოიბურცება მათ შორის (ნახ. 6.16,ა). იმისათვის რომ კოჭის კედელმა არ დაკარგოს მდგრადობა ზემოთ ჩამოთვლილი მიზეზების გამო, კედლის შეკუმშულ ზონაში აყენებენ სიხისტის გრძივ წიბოს, რომელიც ამცირებს ფირფიტის საანგარიშო სიგანეს და ზრდის კრიტიკულ დაბევებს.



ნახ. 6.17. კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა: ა)-მხები დაბევების მოქმედებით; ბ)-მთავარი მკუმშავი (1) და გამჭიმავი (2) დაბევები; გ)-კედლის მდგრადობის შემოწმებისათვის დაძაბულობების ადგილების განსაზღვრა.

კრიტიკული ნორმალური დაბევების მნიშვნელობები ასევე დამოკიდებულია კედლის მართკუთხა ფირფიტის ნაწიბურზე მოდებული ნორმალური დაბევების განაწილების კანონზე. ის ხასიათდება, კედლის სარტყლებთან ჩამაგრების ხარისხით,  $\alpha$  კოეფიციენტით,  $\delta$  კოეფიციენტით, ასევე კედლის შემთხვევითი ჩაღუნვებით:

$$\alpha = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / \sigma_{\max},$$

სადაც  $\sigma_{\max}$  არის უდიდესი მკუმშავი დაბევა კედლის საზღვართან,  $\sigma_{\min}$  - განაპირა დაბევა კედლის საპირისპირო მხარეს, აღებული თავისი ნიშნით.

$$\sigma_{cr} = 0.9kE \left( \frac{t}{b} \right)^2 \tag{6.54}$$

$k$ -ს მნიშვნელობა  $\alpha$ -სთან დამოკიდებულებაში ნაჩვენებია ცხრ. 6.4.-ში.

კედლის სარტყელებთან დრეკადი ჩამაგრების ხარისხს ითვალისწინებს  $\delta$  კოეფიციენტი:

$$\delta = \frac{\beta \cdot b_f}{h_{ef}} \cdot \left( \frac{l_f}{l_w} \right)^3 \quad (6.55)$$

სადაც ყველა კოჭებისათვის, ამწისქვეშას გარდა, კოჭის სარტყელზე ხისტი ფილების უწყვეტად დაყრდნობისას  $\beta = \alpha$ ; ამწისქვეშა კოჭებისათვის  $\beta = 2$ ; სხვა შემთხვევებში  $\beta = 0,8$ ;  $b_f$  და  $l_f$ -შესაბამისად კოჭის შეკუმშული სარტყელების სიგანე და სისქეა.

(6.54) ფორმულაში, ყველა პარამეტრების ჩასმის შემდგომ ღუნვადი კოჭის კედელში ნორმალური კრიტიკული ძაბვები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{cr} = c_{cr} R_y / \lambda_w^2 \quad (6.56)$$

სადაც  $c_{cr}$ -ის მნიშვნელობები, სიმეტრიული კვეთის მქონე, დრეკად არეში მომუშავე შედუღებული კოჭისათვის, მიიღება ცხრ. 6.5.-დან, ხოლო კოჭები რომლებიც დამზადებულია მოქლონებითა და მაღალი სიმტკიცის მქონე ჭანჭიკებით  $c_{cr} = 35,2$ .

თუ გაუტოლებთ (6.56) ფორმულით მიღებულ  $\sigma_{cr}$ -ს საანგარიშო წინაღობას და  $\beta$  კოეფიციენტს ავიღებთ უმცირესს 0,8 ტოლს, მივიღებთ კედლის პირობით მოქნილობას  $\lambda_w = 5,5$  ტოლს. ე.ი. ეს ის სიდიდეა, რომლის დროსაც მხოლოდ ნორმალური ძაბვების (კოჭის სუფთა ღუნვის ზონა) მოქმედებისას კედლის მდგრადობის დაკარგვა მოხდება კოჭის საანგარიშო სიმტკიცის დაკარგვასთან ერთად. ამიტომ, ასეთი კოჭის კედლები განივი სიხისტის წიბოებთან ერთად გამაგრებული უნდა იქნას გრძივი სიხისტის წიბოებით შეკუმშულ ზონაში.

კოჭის კედლის მდგრადობა ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას. კოჭებში ნორმალური და მხები ძაბვები მოქმედებენ ერთდროულად, ამიტომ მდგრადობის დაკარგვა შეიძლება მოხდეს მათი ერთობლივი მოქმედებისაგან. რა თქმა უნდა, კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას არის უფრო დაბალი ვიდრე ერთ-ერთი მათგანის მოქმედებისას. განვიხილოთ კოჭის კედლის მდგრადობის შემოწმების რამდენიმე შემთხვევა.

1. კედლების მდგრადობა, როდესაც კოჭები მუშაობენ დრეკადად, აქვთ სიმეტრიული ორტესებრი კვეთი, გამაგრებული

არიან მხოლოდ განივი ხისტის წიბოებით და მასზე არ არის მოდებული კედლის მთელავი ძაბვა ( $\sigma_{loc} = 0$ ) და  $\bar{\lambda}_w < 6$ . ასეთი შემოწმება ხდება როცა  $\bar{\lambda}_w \geq 3.2$  კოჭებში სარტყლების ცალმხრივი ნაკერებისას და  $\bar{\lambda}_w \geq 3.5$  კოჭებში სარტყლების ორმხრივი ნაკერებისას.

ცხრილი. 6.4

კოჭის კედლისათვის, (6.54) ფორმულიდან  $k$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები

კოეფიციენტი	კოჭის კედელში $\sigma$ ძაბვების ეპიურები		
	კუმშვა	კუმშვა+ღუნვა	ღუნვა
$\alpha$	0	- 1	2
$k_{min}$	4	7,8	23,9

ცხრილი. 6.5

კოჭის კედლებისათვის  $c_{cr}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები  $\delta$  -სთან დამოკიდებულებაში

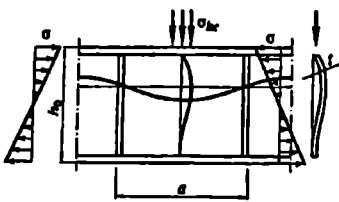
$\delta$	$\leq 0,8$	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	$\geq 30$
$c_{cr}$	30,0	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

ფაქტობრივი  $\sigma$  და  $\tau$  ძაბვები არ უნდა აღემატებოდეს კრიტიკულებს ანუ  $\sigma \leq \sigma_{cr}^r$  და  $\tau \leq \tau_{cr}^r$ .

ასეთ შემთხვევაში მდგრადობის შემოწმების ფორმულას აქვს სახე

$$\sqrt{(\sigma / \sigma_{cr})^2 + (\tau / \tau_{cr})^2} \leq \gamma_c \quad (6.57)$$

სადაც  $\sigma_{cr}$  და  $\tau_{cr}$  -კრიტიკული ნორმალური და მხები ძაბვებია, რომლებიც მიღებულია (6.56) და (6.50) ფორმულებით.  $\sigma$  და  $\tau$  -მოქმედი ნორმალური და მხები ძაბვებია, რომლებიც იანგარიშება  $\sigma = (M/W)(h_w/h)$  და  $\tau = Q/(h_w t_w)$ ; აქ  $M$  და  $Q$  არის ნაკვეთურის საზღვრებში მდუნავი მომენტი და განივი ძალა; თუ ნაკვეთურის სიგრძე მეტია მის საანგარიშო სიმაღლეზე, მაშინ  $M$  და  $Q$  მიზანშეწონილია გამოითვალოს, როგორც საშუალო, უფრო მეტად დაძაბული უბნისათვის. მისი სიგრძე ტოლი იქნება ნაკვეთურის



ნახ. 6.18. კედლის მდგრადობის დაკარგვა ადგილობრივი დატვირთვისაგან

არსებობისას  $\sigma_{loc} \neq 0$ . ამ შემთხვევაში კოჭის კედლის მდგრადობა მიზანშეწონილია შემოწმებული იქნას იმ პირობით, როცა კედლის პირობითი მოქნილობა  $\lambda_w > 2.5$ .

თვით შემოწმება, კი ხორციელდება ფორმულით, რომელიც ანალოგიურია (6.57) ფორმულის.

$$\sqrt{(\sigma / \sigma_{cr} + \sigma_{loc} / \sigma_{loc,cr})^2 + (\tau / \tau_{cr})^2} \leq \gamma_c \quad (6.58)$$

აქ ნორმალური- $\sigma$ , მხები- $\tau$  და მათი შესაბამისი კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები, ასევე მუშაობის პირობების კოეფიციენტი- $\gamma_c$  განისაზღვრება ისევე, როგორც ამას ვაკეთებდით (6.57)

ფორმულაში, ხოლო  $\sigma_{loc}$ , ადგილობრივ ძაბვას, (6.41) ფორმულის მიხედვით. ადგილობრივი ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვა ძალიან ჰგავს ნორმალური ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვის სურათს (ნახ. 6.18).

ადგილობრივი ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძაბვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{loc,cr} = c_1 c_2 R_y / \lambda_w^2 \quad (6.59)$$

მაგრამ ერთმანეთის პერპენდიკულარული ნორმალური და ადგილობრივი ძაბვების ურთიერთგავლენას, ასევე ფირფიტის მდგრადობაზე სიხისტის წიბოების ურთიერთგანლაგების ძლიერ გავლენას და ადგილობრივი დატვირთვით ფირფიტის ფარდობით სიგრძეზე დაძაბვას, მიუყვართ კოჭის კედლის მდგრადობის დაკარგვის სამ შემთხვევაზე.

ა. სიხისტის წიბოების ხშირი განლაგებისას  $a/h_f \leq 0.8$

სიხისტის წიბოებს შორის კედელი მხოლოდ ერთი ნახევარტალღით შეიძლება გამოიბურცოს (ნახ. 6.18). ამ შემთხვევაში (6.58) ფორმულით მდგრადობის შემოწმებისას  $\sigma_{cr}$  განსაზღვრავენ (6.56) ფორმულით ისევე, როგორც ადგილობრივი ძაბვების არარსებობისას.

სიმაღლისა (ნახ. 6.17,ვ). თუ შესამოწმებელ ნაკვეთურს ემთხვევა კოჭის კვეთის სიგრძეზე ცვლილება, მაშინ  $M$ ,  $Q$  და  $W$  აიღება შემცირებული კვეთის მიხედვით.

2. სიმეტრიული კვეთის მქონე, ღრეკად არეში მომუშავე, კოჭების მდგრადობა, რომლებიც გამაგრებული არიან სიხისტის წიბოებით, ადგილობრივი ძაბვების

ადგილობრივი ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკულ ძაბვას განსაზღვრავენ (6.59) ფორმულით, სადაც  $c_1$  კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება 6.6 ცხრილის მიხედვით,  $a/h_f$  - შესამოწმებელი ფირფიტის მხარეთა შესაბამისობებისა და  $\rho = 1,04 I_f / h_f$  ადგილობრივი დატვირთვით ფირფიტის სიგრძის ფარდობითი დატვირთულობის მიხედვით;  $I_f = I_{loc}$  უნდა განისაზღვროს ფორმულით (6.41).

$c_2$  კოეფიციენტი მიიღება 6.7 ცხრილით  $a/h_f$  შესაბამისობისა და  $\delta$ -სარტყელში კედლის მდგრადი ჩამაგრების ხარისხის მნიშვნელობის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება (6.55) ფორმულით.

სიხისტის წიბოების  $a/h_f > 0,8$  -ზე მეტ მანძილზე განლაგებისას მდგრადობის შემოწმებას (6.58) ფორმულით ახდენენ ორჯერ.

### ცხრილი 6.6

$c_1$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა

$\rho$	როცა $a/h_f$ ან $a_1/h_f$									
	0,50	0,60	0,67	0,80	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,10	56,7	46,6	41,8	34,9	28,5	24,5	21,7	19,5	17,7	16,2
0,15	38,9	31,3	27,9	23,0	18,6	16,2	14,6	13,6	12,7	12,0
0,20	33,9	26,7	23,5	19,2	15,4	13,3	12,1	11,3	10,7	10,2
0,25	30,6	24,9	20,3	16,2	12,9	11,1	10,0	9,4	9,0	8,7
0,30	28,9	21,6	18,5	14,5	11,3	9,6	8,7	8,1	7,8	7,6
0,35	28,0	20,6	18,1	13,4	10,2	8,6	7,7	7,2	6,9	6,7
0,40	27,4	20,0	16,8	12,7	9,5	7,9	7,0	6,6	6,3	6,1

### ცხრილი 6.7

$c_2$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა

$\delta$	როცა $a/h_f$ ან $a_1/h_f$							
	0,50	0,60	0,66	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60
1	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
2	1,64	1,64	1,64	1,66	1,66	1,82	1,84	1,85
4	1,66	1,66	1,69	1,65	1,88	2,01	2,09	2,12
6	1,66	1,68	1,60	1,66	1,92	2,08	2,19	2,26
10	1,68	1,69	1,61	1,68	1,96	2,14	2,28	2,38
$\geq 30$	1,68	1,60	1,62	1,80	1,99	2,20	2,38	2,52

ბ. ანგარიშობენ  $\sigma_{cr}$ -ს (6.56) ფორმულით ისევე, როგორც ადგილობრივი ძალების არარსებობისას, ხოლო  $\sigma_{loc,cr}$  (6.59) ფორმულის საშუალებით. აქ  $c_1$  და  $c_2$  კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის 3 და 4 ცხრილებში  $a$ -ს ნაცვლად იყენებენ  $a_1 = 0,5a$  მნიშვნელობას, როცა  $0,8 \leq a/h_{ef} \leq 1,33$ , ან იყენებენ  $a_1 = 0,67h_{ef}$ , როცა  $a/h_{ef} > 1,33$ .

გ. (6.58) ფორმულისთვის  $\sigma_{loc,cr}$  გამოითვლება (6.59) ფორმულის მიხედვით  $a/h_{ef}$  მხარეთა ფაქტორიული ფარდობით, ხოლო (6.56) ფორმულის მიხედვით  $\sigma_{cr}$  მნიშვნელობის განსაზღვრისთვის  $c_{cr}$  მნიშვნელობას იღებენ ცხრილი 6.8-ის მიხედვით.

### ცხრილი 6.8

კოჭებისთვის  $c_{cr}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა  $a/h_{ef}$  ფარდობის შესაბამისად

$a/h_{ef}$	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2,0$
$c_{cr}$	ცხრ.6.5.მის.	37	39,2	45,2	52,8	62,0	72,6	84,7

ყველა შემთხვევაში  $\tau_{cr}$  უნდა გამოითვალოს ნაკვეთურის ნამდვილი ზომების მიხედვით.

3. განივი სიხისტის და ერთი გრძივი სიხისტის წიბოებით გამაგრებული სიმეტრიული კვეთის მქონე კოჭების კედლების მდგრადობა.

თხელ კედლიანი დიდი სიმაღლის კოჭებში  $\bar{\lambda}_w > 5,5$  დამოკიდებულებისას კედლის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად სიხისტის განივი წიბოების გარდა რაციონალურია გრძივი წიბოს დაყენება, რომელიც განივებს ეყრდნობა და ნაკვეთურის შეკუმშულ ნაწიბურთან  $h_1 = (0,2...0,3)h_{ef}$  მანძილზეა განლაგებული (ნახ. 6.19).

განივი წიბოს არსებობა, რომელიც კედელს გრძივად ყოფს ორ ნაწილად და რომელთა მდგრადობაც ცალკე-ცალკე მოწმდება, არსებითად აუმჯობესებს კედლის მდგრადობას მისი ცალკეული ნაწილების მოქნილობის შემცირების ხარჯზე. ეს წიბო, ისევე როგორც განივი წიბოები, კედლის ორივე მხარეს არის



განლაგებული და შეიძლება შედგებოდეს ერთი ან რამოდენიმე წიბოსაგან. გრძივ წიბოს ჩვეულებრივ აყენებენ კოჭის შუა ნაკვეთურებში, მღუნავი მომენტების დიდი მნიშვნელობების შესაბამისად, დიდი ნორმალური ძაბვის ზონებში. განივი წიბოების ზომებს ისეთივეს ნიშნავენ, როგორც კოჭებში გრძივი წიბოს გარეშე, მაგრამ ამასთან მათი ინერციის მომენტები უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

ა) განივი წიბოებისთვის  $I_x \geq 3h_f t_r^3$ ;

ბ) გრძივი წიბოსთვის როცა  $h_1/h_f = 0,3$  და  $I_x \geq 1,5h_f t_r^3$ .

გრძივი წიბო ედღელს ყოფს ზედა და ქვედა ფირფიტებად, რომელთა მდგრადობასაც ამოწმებენ ცალკე-ცალკე.

ზედა ფირფიტა, რომლის ზომა სიმაღლით არის  $(0,2...0,3)h_f$ ,

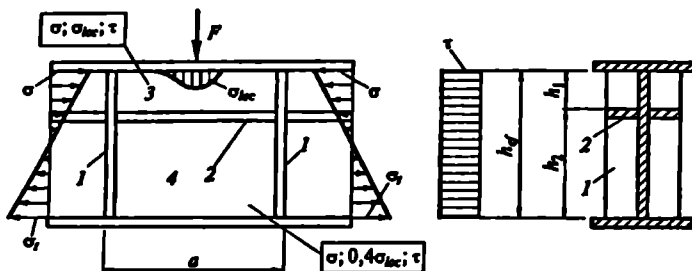
განლაგებულია შეკუმშულ სარტყელსა და გრძივ წიბოს შორის და არათანაბარი შეკუმშვის პირობებში იმყოფება, რაც ადგილობრივი მდგრადობისთვის (იხ. ცხრ. 6.4) ფრიად არახელსაყრელია, მაგრამ მცირე სიმაღლის გამოისობით გააჩნია ედღლის მცირე მოქნილობა და ამის ხარჯზე აქვს კრიტიკული ძაბვების საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა.

ქვედა ფირფიტა, რომლის ზომაც სიმაღლით არის  $(0,8...0,7)h_f$ ,

განლაგებულია გრძივ წიბოსა და გაჭიმულ სარტყელს შორის. ნორმალური ძაბვების ეპიურა მასში შეესაბამება ღუნავს გაჭიმვით, ხოლო ადგილობრივი ძაბვები შეადგენენ კოჭის ზედა სარტყელთან მოქმედ ძაბვათა მხოლოდ 40%, კოჭის ედღლის სიმაღლეზე მათი განაწილების ხარჯზე. ფირფიტის შემცირებული სიმაღლე კოჭის ედღლის სრულ სიმაღლესთან შედარებით, გამჭიმავ ძაბვათა გაზრდილი ზონა და შემცირებული ადგილობრივი ძაბვები, მისი ადგილობრივი მდგრადობისთვის უზრუნველყოფის ხელსაყრელ პირობებს ქმნიან.

თუ კოჭის შეკუმშულ სარტყელზე არსებობს ხშირად განლაგებული ადგილობრივი დატვირთვები, ასევე თუ შედუღებული კოჭის ზედა ფირფიტის ადგილობრივი მდგრადობა აუცილებელია, ასევე თუ კოჭს სიხისტის გრძივი წიბო გააჩნია, შესაძლოა კოჭის ედღლის შეკუმშული ზონის გამაგრება სიხისტის მოკლე შუალედური ვერტიკალური წიბოების დაყენებით, გრძივ წიბოზე მიდუღებით გზით (ნახ. 6.20). ამ შემთხვევაში ზედა შეკუმშული ფირფიტის შემოწმებისას  $\alpha$  მანძილს ცვლიან  $\alpha_1$ -მეზობელ წიბოთა ღერძებს შორის მანძილით; მდგრადობის ყველა გათვლა ზედა და ქვედა ფირფიტებისათვის უნდა მოხდეს იგივე

ფორმულების მიხედვით, რაც კოჭებისათვის მოკლე წიბოების გარეშე შემთხვევაში გეჰონდა.



ნახ. 6.19. სიხისტის განივი და გრძივი წიბოებით გამაგრებული კოჭის სქემა: 1-განივი წიბოები; 2-გრძივი წიბო; 3-ფირფიტა შეკუმშულ სარტყელთან; 4-ფირფიტა გაჭიმულ სარტყელთან.

კოჭებში, რომლებიც მუშაობენ პლასტიკური დეფორმაციების გამოყენებით, ასევე ბისტალურებში, შეზღუდული პლასტიკური დეფორმაციების არეში ადგილობრივი ძაბვების არსებობა არ დაიშვება, ხოლო ორმაგადსიმეტრიული ორტესებრი კვეთის კედლის მდგრადობა ითვლება უზრუნველყოფილად, თუკი კედლის პირობითი მოჭნილობა არ აღემატება მის კრიტიკულ სიდიდეს (იხ. ფორმულა (2.82) ლიტ. [3]):

$$\bar{\lambda}_w \leq \bar{\lambda}_{sw} \quad (6.60)$$

სადაც  $\bar{\lambda}_{sw}$  განისაზღვრება 6.9 ცხრილის საშუალებით კოჭის სარტყლის ფარდობითი დეფორმაციისა- $\bar{\epsilon}$  და კედლის მხები ფარდობითი დაძაბულობების მიხედვით- $\tau/R_y$ .

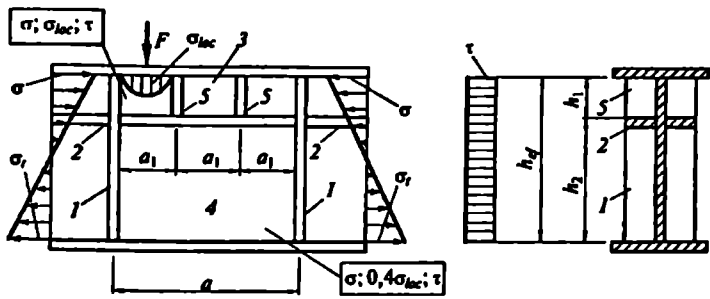
აქ საშუალო მხები დაძაბულობა ტოლია  $\tau = Q/A_w$ , ხოლო პარამეტრი  $\bar{\epsilon}$  ერთნაირი ფოლადისგან დამზადებული კოჭების კედლისა და სარტყელისთვის განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\bar{\epsilon} = \epsilon E/R_y = \frac{0,29}{\sqrt{0,0833 - (c_{1x} - 1)(\alpha_f + 0,167)}}$$

სადაც  $\alpha_f = A_f/A_w$ ;  $c_{1x} = M/(W_n R_y \gamma_c)$  ან  $\beta_{\alpha}$ ;  $1 < c_{1x} < c_x$ ;

$$\beta = 1 - \frac{0,20}{\alpha_f + 0,25} \left( \tau_x / R_y \right)^4$$

$c_x$  მიიღება დანართი 6-ის მიხედვით.



ნახ. 6.20. სიხისტის განივი (1) და გრძივი წიბოებით (2) გამაგრებული კოჭის სქემა, რომლებიც აცალკევენ კედლის ნაკვეთურს შეკუმშულ სარტყელთან ფირფიტა (3)-ით და ფირფიტა (4)-ით გაჭიმულ სარტყელთან, ასევე სიხისტის მოკლე წიბოებით (5).

ცხრილი 6.9

$\bar{\lambda}_{\text{სრ}}$  ზღვრული მნიშვნელობები

$\tau/R_y$	$\varepsilon$ შემთხვევაში								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0	5,50	4,00	3,42	3,00	2,72	2,52	2,37	2,27	2,20
0,5	4,45	3,70	3,13	2,75	2,51	2,35	2,26	2,20	2,20
0,6	4,25	3,52	2,98	2,64	2,42	2,28	2,20	2,20	2,20
0,7	4,00	3,34	2,84	2,53	2,34	2,20	2,20	2,20	2,20
0,8	3,75	3,04	2,62	2,37	2,26	2,20	2,20	2,20	2,20
0,9	3,50	2,73	2,39	2,2	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20

6.5. შედგენილი კოჭების კონსტრუქციის დაპროექტება

6.5.1. შედგენილი კოჭის სარტყლის კედელთან შეერთების გაანგარიშება. განივი ღუნვის დროს შედგენილი კოჭის კედელსა და სარტყელს შორის წარმოიშობა მხები ძაბვები იმისათვის, რომ არ მოხდეს კედელსა და სარტყელების ურთიერთძვრა (ნახ. 6.20,ა), შედუღებულ კოჭებში მხები ძაბვები ათვისებული უნდა იქნენ სარტყლებისა და კედლის შემაერთებელი ნაკერების მიერ (ნახ. 6.20,ბ). სარტყლის შედუღების ნაკერების ღონეზე მოქმედი მხები ძაბვები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_f}{I \cdot l_w} \quad (6.61)$$

სადაც  $S_f$ -სართყლის ფურცლის სტატიკური მომენტია კოჭის ნეიტრალური ღერძის მიმართ (იმ ნაწილისა, რომელიც განიცდის ძერას);  $I$ -კოჭის განიკვეუტის ინერციის მომენტი.

ნაკერის გრძივ სანტიმეტრზე მოქმედი ძერის ძალა

$$T = \tau \cdot l_w = \frac{Q \cdot S_f}{I} \quad (6.62)$$

$T$ -ძალა ათვისებული უნდა იქნეს სართყლის 1 სმ სიგრძის მქონე ორი შედუღების ნაკერის მიერ; ნაკერების მუშა ფართობი (ნახ. 6.20,გ).

$$A_k = 2\beta k_f$$

ადგილი რომ არ ექნეს სართყლის შედუღების ნაკერების რღვევას, დაცული უნდა იქნეს სიმტკიცის პირობა:

$$T \leq 2\beta_f k_f \gamma_{wf} \gamma_c \quad (6.63)$$

$$T \leq 2\beta_z k_f \gamma_{wz} R_{wz} \gamma_c$$

თუ (6.63)-დან გამოვრიცხავთ  $k_f$ -ს, მივიღებთ კუთხური ნაკერის კათეტის სიმაღლის საანგარიშო ფორმულებს:

$$k_{f'} = \frac{T}{2\beta_f \gamma_{wf} R_{wf} \gamma_c} \quad (6.64)$$

$$k_{f''} = \frac{T}{2\beta_z \gamma_{wz} R_{wz} \gamma_c}$$

$k_{f'}$  და  $k_{f''}$ -დან კუთხური ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი, მოყვანილ ფორმულებში:

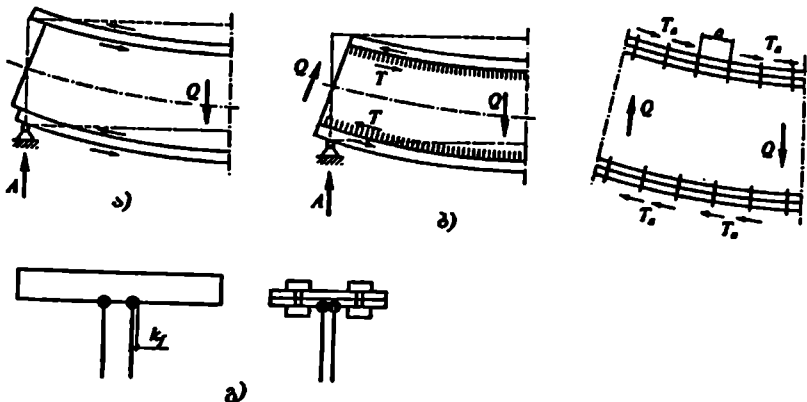
$\beta$ -უმცირესი რიცხვითი მნიშვნელობის კოეფიციენტია  $\beta_f$  და  $\beta_z$  კოეფიციენტებიდან.

$\beta_f$  და  $\beta_z$ -ის მნიშვნელობების განსაზღვრება მოყვანილია მეოთხე თავში.

$\gamma_{wf}, \gamma_{wz}$ -ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტია მათი რიცხვითი მნიშვნელობაც განისაზღვრება ისე, როგორც ეს განმარტებული იყო მეოთხე თავში (იხ. ცხრილი 4.5);

$\gamma_c$ -კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (იხ. დან. 14);

$R_{wz}, R_{wz}$  - კუთხური ნაკერების საანგარიშო წინაღობაა. მათი მნიშვნელობა აიღება 4.1, 4.3. ცხრილების მიხედვით.



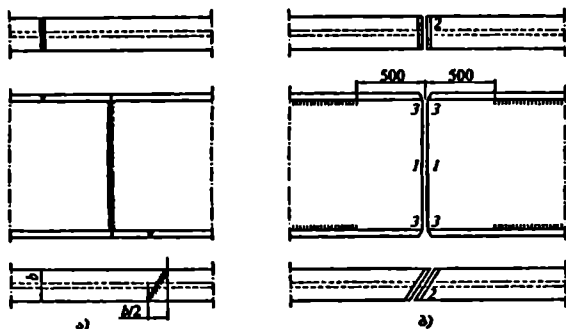
ნახ. 621. სარტყლის კედელთან შეერთების მუშაობა: ა)-ჩაუმაგრებული სარტყლების ძერა კედლის მიმართ; ბ)-სარტყლის ნაკერებისა და ფრიქციული ტანჯიკების მუშაობა; გ)-სარტყლის ნაკერები და ტანჯიკები.

(6.64) ფორმულით, სარტყლის ნაკერების სიმაღლის (კათეტი) განსაზღვრა წარმოებს კოჭის საყრდენთ (სადაც გადამტრულ ძალას აქვს უდიდესი მნიშვნელობა). საყრდენთ განსაზღვრული შედულების ნაკერების სიმაღლე კოჭის მთელ სიგრძეზე რჩება უცვლელი. რეკომენდებულია, თუ სარტყლის ნაკერის სიმაღლე მეტია 10 სმ-ზე, ნაკერის მასალის ეკონომიის მიზნით, მისი სიმაღლე კოჭის სიგრძეზე აღებულ იქნეს ცვლადი, ასეთ შემთხვევაში, ნაკერის სიმაღლე ცალკეულ უბნებში ისაზღვრება (6.64) ფორმულებით.

6.52. შედულებული კოჭების პირაპირები. შედგენილი შედულებული კოჭების პირაპირები იყოფა ორ ჯგუფად: სამონტაჟო და საქარხნო პირაპირებად (ნახ. 622).

სამონტაჟო პირაპირები ეწყობა მაშინ, როდესაც კოჭის მასა და ზომები აღემატება ქარხნიდან მშენებლობის ადგილზე გადასაზიდად საჭირო ტრანსპორტის ტვირთაშწევობას და გაბარიტულ ზომებს (რკინიგზის ტრანსპორტის გადაზიდვის დროს, სამონტაჟო ერთეულის სიგრძე შეიძლება იქნეს  $(18+27)$  მ.

სიმაღლე 3,8 მ, სიგანე 3,2 მ, მასა(50+60) ტონა. ავტოტრანსპორტით გადაზიდვის დროს  $l \leq 18$  მ, სიმაღლე 3,8 მ, სიგანე 3,6 მ). ასეთ შემთხვევაში, შედგენილი კოჭები ქარხანაში მზადდება რამდენიმე გადასაზიდი ერთეულის სახით. კოჭის ცალკეული ერთეულების შეერთება ხდება მშენებლობის ადგილზე, სამონტაჟო პირაპირები აღიდეგს კოჭის ღირებულებას, ამიტომ მათი რიცხვი უნდა იქნეს რაც შეიძლება ნაკლები.



ნახ. 622. შედგენილი კოჭის ქარხნული (ა) და სამონტაჟო (ბ) პირაპირი

საქარხნო პირაპირების მოწყობა განპირობებულია ისეთი სტანდარტული ელემენტების გამოყენებით, რომელთა სიგრძე ნაკლებია კოჭის ელემენტების საპროექტო სიგრძეზე. საქარხნო პირაპირების შეერთების ძირითად ტიპად მიღებულია შეერთება სწორი შედულების ნაკერით (ნახ. 622,ა).

როდესაც სწორი პირაპირული შედულების ნაკერები სრულდება ავტომატურად, ნახევრად ავტომატურად, ან ხელით და შედულების ხარისხი მოწმდება ფიზიკური ხერხით, შედულების ნაკერისა და ძირითადი ელემენტის სიმტკიცე ერთმანეთის ტოლია. ასეთ შემთხვევაში კოჭის კედლისა და სარტყლის პირაპირები შეიძლება განლაგდეს კოჭის სიგრძის ნებისმიერ ადგილას და მათი სიმტკიცეზე შემოწმება საჭირო არ არის.

ჩვეულებრივ, მუდმივკეთიან შედულებულ კოჭებში ფურცლის საქარხნო პირაპირები ეწყობა საყრდენიდან  $1/4$  მანძილზე, კედლის ფურცლის პირაპირები კი კოჭის შუა ნაწილში (იქ სადაც გადაჭრული ძალა მღუნავ მომენტთან შედარებით მცირეა).

ცვლადკეთიან კოჭებში, სარტყლის ფურცლის პირაპირები განლაგებულია კოჭის განიკეთის ცვლილების ადგილას.

პირაპირული შედუღების ნაკერის ხელით შესრულების დროს, როდესაც ნაკერის ხარისხი მოწმდება ვიზუალურად, შედუღების ნაკერის სიმტკიცე შესაერთებელი ელემენტების სიმტკიცეზე ნაკლებია. ასეთ შემთხვევაში, კოჭის ელემენტების სწორი პირაპირული შედუღების ნაკერები განლაგებული უნდა იქნეს კოჭის სიგრძის ისეთ ადგილას, სადაც ძაბვა ნაკერში ( $\sigma_w$ ) ტოლია ან ნაკლებია შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობაზე გაჭიმვის დროს ( $R_{wy}$ ).

$$\sigma_w \leq R_{wy} \gamma_c \quad (6.65)$$

როდესაც  $\frac{R_{wy}}{\gamma_w} > R_{wy}$ , (6.65)-ში და, შესაბამისად, (6.68)-ში,

ნაცვლად  $R_{wy}$  ჩასმული უნდა იქნეს  $\frac{R_{wy}}{\gamma_w}$

კოჭის კედლის სწორი პირაპირული ნაკერის განაპირა ბოჭკოში მოქმედი უდიდესი ძაბვა  $\sigma_w$  გამოითვლება ფორმულით.

$$\sigma_w = \frac{M_p \cdot l_w}{W_p \cdot h} \quad (6.66)$$

(6.66) შევიტანოთ (6.65)-ში, მივიღებთ კედლის სწორი პირაპირული ნაკერის სიმტკიცის შესამოწმებელ ფორმულას

$$\sigma_w = \frac{M_p \cdot l_w}{W_p \cdot h} \leq R_{wy} \gamma_c \quad (6.67)$$

აქედან, მღუნავი მომენტის სიდიდე, რომლის ატანაც შეუძლია კოჭის სწორ პირაპირს, განისაზღვრება ფორმულით.

$$M_p = W_p \cdot R_{wy} \gamma_c \frac{h}{l_w}, \quad (6.68)$$

სადაც  $W_p$  არის კოჭის იმ განიკვეთის წინაღობის მომენტი, სადაც ნაგულისხმებია პირაპირის მოწყობა;  $h$ -კოჭის სიმაღლე;  $l_w$ -სწორი პირაპირული ნაკერის სიგრძე, როდესაც ნაკერის გადაყვანა არ ხდება კოჭის კედლის სიმაღლის გარეთ.  $l_w = h_w - 2l_w$ , სადაც  $h_w$  და  $l_w$  კოჭის კედლის ფურცლის სიმაღლე და სისქეა.

კედლის ფურცლის პირაპირის ადგილის განსაზღვრა ხდება გრაფიკული ან ანალიზური ხერხით; პრაქტიკის უმეტეს შემთხვევაში მიმართავენ ანალიზურ ხერხს. ეს ხერხი მდგომარეობს შემდეგში: კოჭის საყრდენიდან  $x$  მანძილით დაცილებულ კვეთში, იქ სადაც ნაგულისხმებია კედლის ნორმალური პირაპირის მოწყობა, საზღვრავენ მღუნავი მომენტის სიდიდეს- $M_x$ -ს და

უტოლებენ მას (6.68) ფორმულით განსაზღვრულ მომენტის მნიშვნელობას, რის შედეგადაც მიიღება განტოლება, საიდანაც განისაზღვრება საყრდენიდან  $x$  მანძილით დაცილებულ კოჭის კედლის პირაპირის მდებარეობა, მაგალითად, კოჭზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვის შემთხვევაში

$$M_x = \frac{q \cdot x(l-x)}{2} = M_p$$

საიდანაც

$$x = \frac{l}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 - \frac{2M_p}{q}} \quad (6.69)$$

როდესაც კედლის სწორი პირაპირული ნაკერი ეწყობა მაღლის შუა ნაწილში და ნაკერის სიმტკიცე, განსაზღვრული (6.66) ფორმულით, საკმარისი არ არის, პირაპირის ქვედა ნაწილს აძლიერებენ ორი ზესადებით. ზესადების ზომები ისაზღვრება შედუღების ნაკერის სიმტკიცის პირობით

$$\sigma_n = \frac{M_p}{I} y_w \leq R_{wy} \gamma_c, \quad (6.70)$$

სადაც  $M_p$  არის კოჭის განივეკეთში მოქმედი მღუნავი მომენტი პირაპირის ადგილას;  $I$ -კოჭის განივეკეთის ინერციის მომენტი;  $y_w$ -მანძილი კოჭის განივეკეთის სიმძიმის ცენტრიდან ზესადების ქვედა განაპირა წერტილამდე.

როდესაც სარტყლის სწორი პირაპირული ნაკერის სიმტკიცე საკმარისი არ არის, სარტყლის ფურცლებს აერთებენ ირიბი პირაპირული ნაკერით (ნახ. 6.22). ნაკერის დახრის კუთხეს პორიზონტთან იღებენ  $\alpha = 45^\circ$ . ასეთ დახრის კუთხის დროს სარტყლის ფურცლისა და ნაკერის წინაღობა ტოლია, ამიტომ პირაპირი გაანგარიშებას არ საჭიროებს.

სამონტაჟო პირაპირების კონსტრუქცია და გაანგარიშება საქარხნო პირაპირების ანალოგიურია; განსხვავებაა მხოლოდ სარტყლისა და კედლის პირაპირების განლაგებაში, სამონტაჟო პირაპირების კონსტრუქციაში სარტყლისა და კედლის პირაპირები შეთესებულია ერთ შევულ სიბრტყეში (ნახ. 6.22,ბ).

სამონტაჟო პირაპირების არასწორი შედუღებით შეძლება წარმოიშვას დიდი სიდიდეების ჯდომითი ძაბვები, უკანასკნელის თავიდან აცილების მიზნით, სამონტაჟო პირაპირების შედუღება წარმოებს იმ თანმიმდევრობით, როგორც ეს აღნიშნულია (ნახ. 6.22,ბ) ნახაზზე ციფრებით.

6.5.4. კოჭების ურთიერთშეუღლების კონსტრუქცია და გაანგარიშება. როგორც მეექვსე თავის პუნქტი 6.1.2.-ში იყო



აღწერილი, მთავარი და დამხმარე კოჭების შეუღლება შეიძლება იქნეს სართულებრივი, ერთ დონეზე და დადაბლებული (ნახ. 6.24).

სართულებრივი შეუღლების კონსტრუქცია, დამზადებისა და მონტაჟის მიხედვით, ყველაზე მარტივი და მოსახერხებელია.

ასეთი შეუღლების დროს დამხმარე კოჭები უშუალოდ ლაგდება მთავარი კოჭების ზედა სარტყელზე (ნახ. 6.23,ა). დამხმარე და მთავარი კოჭები ერთმანეთთან ერთდებიან სამონტაჟო შედუღების ნაკერებით ან ჭანჭიკებით. ჭანჭიკებით შეერთების შემთხვევაში, მთავარი კოჭის ზედა სარტყელზე მიდუღებულია ფურცლოვანი თამასა ან კუთხოვანას ჩამონაჭერი. დამხმარე კოჭების დიდი საყრდენი რეაქციების მოქმედებისას, მათი დაყრდნობის ადგილებში, შედგენილი მთავარი კოჭის კედელი ძლიერდება სიხისტის წიბოებით. იმისათვის, რომ არ მოხდეს მთავარი კოჭის კედელის გამოზურცვა, საჭიროა სიხისტის წიბოები კოჭის სარტყელთან მჭიდროდ იქნეს მორგებული. თუ მთავარი კოჭი გაგლინული პროფილისაა, სიხისტის წიბოების დადგმა აუცილებელი არ არის, ზოგჯერ მთავარი კოჭის გრეხის თავიდან ასაცილებლად, დამხმარე კოჭის საყრდენი რეაქციის მთავარი კოჭზე გადაცემა ხდება სპეციალური მაცენტრირებული ფურცლის საშუალებით.

დატვირთვის დამხმარე კოჭიდან მთავარი კოჭის ზედა სარტყელზე უშუალოდ გადაცემის გამო, სართულებრივი შეუღლების კონსტრუქციის გაანგარიშება საჭირო არ არის. ასეთი სახის შეერთებისას სამონტაჟო შედუღების ნაკერების ან ჭანჭიკების ზომები აიღება კონსტრუქციული მოსაზრებით.

კოჭების ერთ დონეზე შეუღლების კონსტრუქცია ნაჩვენებია 6.24. ნახაზზე. ერთ დონეზე შეუღლების დროს დამხმარე კოჭები განლაგებულია მთავარი კოჭის სიხისტის წიბოების გასწვრივ და უერთდება მას სამონტაჟო ჭანჭიკების საშუალებით. მთავარი კოჭის ზედა სარტყელის გასატარებლად, დამხმარე კოჭის ზედა თარო ამოჭრილია მთავარი კოჭის თაროს სიგანეზე. მთავარი კოჭის სიხისტის წიბოზე ამოჭრილია დამხმარე კოჭის ქვედა თაროც.

დამხმარე და მთავარი კოჭის შესაერთებლად საჭირო ჭანჭიკების რაოდენობა იანგარიშება (5.4) ფორმულით

$$n = 1.2 \frac{F_p}{\gamma_c N_{\min}} \quad (6.71)$$



სადაც  $F_p$  არის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე დამხმარე კოჭის საყრდენი რეაქცია;  $N_{\min}$ -ერთჯერადი ჭანჭიკის ზიდვის უნარი ჭრის ან თელვის პირობით, გამოითვლება (5,1), (5,2), ფორმულების მიხედვით.

12-კოეფიციენტი, რომელიც გამოხატავს  $F_p$  რეაქციის მთავარი კოჭის კედელზე ექსცენტრული გადაცემის გავლენას. ზოგჯერ, დამხმარე კოჭის რეაქციის დიდი სიდიდის გამო, (6.71) ფორმულით გამოთვლილი ჭანჭიკების რაოდენობა დამხმარე კოჭის კედლის სიმაღლის ფარგლებში არ ეტყევა. ასეთ შემთხვევაში კოჭებს ერთმანეთთან აუღლებენ მაგიდისა და თევზურის დახმარებით (ნახ. 6.25).

მთავარი და დამხმარე კოჭების თევზურით შეერთებისას დამხმარე კოჭები განიხილება, როგორ უჭრი ელემენტი. ჩამატების საყრდენი მომენტები, რომლებიც გადაეცემა თევზურას და მაგიდას, გამოითვლება ფორმულით

$$M = 0.6 M_0 \quad (6.72)$$

სადაც  $M_0$  არის ჭრილი კოჭის უდიდესი მღუნავი მომენტი. თევზურაში და მაგიდის პორიზონტალურ ფურცლებში მოქმედი ძალა, რომლის მიხედვით წარმოებს მათი განიეკეთის შერჩევა, გამოითვლება ფორმულით (ნახ. 6.25).

$$N_H = \frac{M}{h} \quad (6.73)$$

$h$ -დამხმარე კოჭის სიმაღლეა.

დამხმარე კოჭის ვერტიკალური რეაქცია მთლიანად გადაეცემა მაგიდას, შედუღების ნაკერების ზომები, რომლითაც მაგიდა უერთდება კოჭის კედელს, იანგარიშება  $Q = F_p$ , გადამტრეული ძალისა და  $M = F_p \cdot l$  მომენტის მიხედვით.

კოჭების შეუღლების კონსტრუქცია მაგიდისა და ზესადების საშუალებით საკმაოდ რთულია, ამიტომ იშვიათად მიმართავენ.

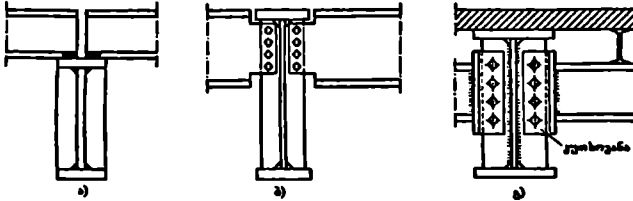
კოჭების შეუღლების დადაბლებული კონსტრუქცია ანალოგიურია კოჭების ერთ დონეზე შეუღლების კონსტრუქციისა. განსხვავებაა მხოლოდ დამხმარე კოჭების განლაგებაში.

კოჭების დადაბლებული შეუღლება ჭანჭიკებით ნაჩვენებია 6.24.გ ნახაზზე.

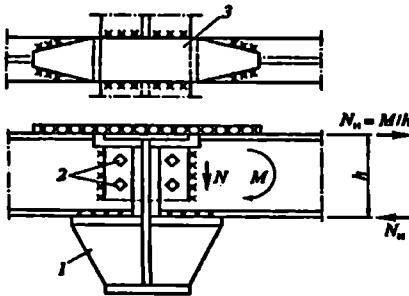
6.5.5. საყრდენი სიხისტის წიბოები. საყრდენი რეაქციის გადაცემა კოჭიდან საყრდენზე წარმოებს საყრდენი სიხისტის წიბოების საშუალებით (ნახ. 6.23,ბ). რეაქციის უკეთ გადაცემის მიზნით, საყრდენი სიხისტის წიბოები მჭიდროდ მიერთებული უნდა იქნეს კოჭის ქვედა სარტყლთან. წყვილი სიხისტის წიბო შეიძლება

შეიცვალოს ერთი საყრდენი ტორსის ფურცლით. საყრდენი ფურცლის საყრდენ კონსტრუქციაზე მჭიდროდ დაყრდნობის მიზნით, ტორსის ფურცლის ქვედა ბოლო ირანდება. საყრდენი სიხისტის წიბოს ან საყრდენი ფურცლის საჭირო განივეკვეთის ფართობი ისაზღვრება სიმტკიცის პირობით თელვაზე

$$A_p = \frac{F}{R_p \gamma_c} \quad (6.74)$$



ნახ. 6.24. მთავარი და დამხმარე კოჭების შეუღლება შეიძლება იქნეს ა)-სართულგბრივი, ბ)-ერთ დონეზე და გ)-დადაბლებული



სადაც  $F$  არის კოჭის საყრდენი რეაქცია;  $R_p$  - სიხისტის წიბოს ქვედა ტორსულ ზედაპირზე თელვის ძაბვა;  $A_p$  - ფართობის გამოთვლის შედეგ, საყრდენი წიბო მოწმდება მდგრადობაზე

ნახ. 6.25. კოჭების ხისტი შეუღლება:

1-მაგიდა; 2-სასაკრები ჭანჭიკები; 3-თვეზურა.

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c \quad (6.75)$$

სადაც  $R_y$  არის ფოლადის საანგარიშო წინაღობა;  $\gamma_c$  - კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;  $A$  - პირობითი დგარის განივეკვეთის ფართობი და შედგება საყრდენი სიხისტის წიბოს განივეკვეთის ფარდობისა და კედლის ზოლის ფარდობისაგან. ზოლის სიგრძე სიხისტის წიბოს ორივე მხარეს აიღება  $l_1 = 0,65 l_w \sqrt{E/R_y}$ ;  $\varphi$  არის გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი. იგი აიღება მოქნილობისა  $\lambda = l/i$  და საანგარიშო წინაღობის-  $R_y$ -ის მიხედვით;  $l_w$  - საყრდენი წიბოს საანგარიშო სიგრძე და აიღება კედლის

სიმაღლის ტოლი ( $V_f = h_v$ );  $i$  - პირობითი დგარის განივკვეთის ინერციის რადიუსი  $x-x$  ღერძის მიმართ.

კუთხური შედუღების ნაკერის ზომები, რომლითაც საყრდენი წიბოები უერთდება კოჭის კედელს, განისაზღვრება (4.6) და (4.7) ფორმულებით.

## 6.6. წინასწარ დაძაბული კოჭები

წინასწარი დაძაბვით კოჭების ზიდვის უნარი დრეკადობის ზღვრებში მკვეთრად იზრდება. ამის გამო მასალის დანახარჯი ასეთ კოჭებში მცირდება 10-15%-ით, ხოლო ღირებულება 5-10%-ით.

არსებობს კოჭების წინასწარი დაძაბვის სხვადასხვა ხერხები, აქედან ყველაზე მეტად გავრცელებულია კოჭების დაძაბვა აღუნვით ან კოჭების გაჭიმულ მხარეს განლაგებული საკოჭების მოჭიმვით.

პირველ შემთხვევაში, ერთმანეთზე დადგმულ კოჭის ელემენტებს წინასწარ აღუნავენ გარე დატვირთვების შესაბამისი ჩაღუნვების საწინააღმდეგო მიმართულებით და ასეთ დეფორმირებულ მდგომარეობაში აერთებენ გრძივი შედუღების ნაკერებით (ნახ. 6.26, ა). კოჭის იძულებითი აღუნვისაგან განთავისუფლების შემდეგ, მის განივკვეთში რჩება ე.წ. საკუთარი ძაბვები, რომლებსაც გარე დატვირთვებით აღძრული ძაბვათა საწინააღმდეგო მიმართულება აქვთ. ამის შედეგად იზრდება კოჭის დრეკადი მუშაობის ზღვრები, მცირდება დროებითი დატვირთვებით გამოწვეული ძაბვათა მნიშვნელობები და შესაძლებელი ხდება მასალის უფრო ეფექტურად გამოყენება.

მიუხედავად წინასწარი დაძაბვის ასეთი ხერხის სიმარტივისა, მისი გამოყენების არე შეზღუდულია, რაც აიხსნება, უპირველეს ყოვლისა, უწყვეტი გრძივი შედუღების ნაკერების არასასურველი გავლენით. ზოგჯერ, განსაკუთრებით გრძელი კოჭების შემთხვევაში, შედუღების ტემპერატურული ძაბვების ზეგავლენით კოჭი ღებულობს არასასურველ დეფორმირებულ სახეს.

კოჭის დაძაბვის ყველაზე გავრცელებული და ეფექტური საშუალება არის დაძაბვა საკოჭების საშუალებით. წინასწარი დაძაბვა ხდება ორმაგი მოქმედების პიდრავლიკური დომკრატებით.

დომკრატი ებჯინება კოჭზე მიმაგრებულ სპეციალურ საყრდენ კონსოლებს და ჭიმავს ბოლოებით ჩანაკერებულ საკოჭებს (ნახ. 6.26, ბ). იმის შემდეგ, როდესაც საკოჭში გასაკოჭავი ძალა მიადწევს დაჭიმვის საკონტროლო ძალას, ანკერებსა და საყრდენ კონსოლებს შორის იდგმება ჩანგლისებრი ფოლადის საყვლეურები ან საყრდენამდე მჭიდროდ ეჭირება საანკერო ქანჩი. ამის შემდეგ დომკრატები იხსნება. საკოჭში მოქმედი ძალის ექსცენტრული მოქ

მედებით, კოჭის განივკვეთებში წარმოიქმნება წინასწარ დაჭიმულობის ნორმალური ძაბვები, რომლებსაც დაჭიმულობის საკუთარ ძაბვებს უწოდებენ. საკუთარ ძაბვებს დროებით დატვირთვის ნორმალური ძაბვების საწინააღმდეგო მიმართულება აქვთ და ამცირებენ მათ მნიშვნელობას. წინასწარ დაძაბული კოჭის კონსტრუქციის ერთ-ერთი ვარიანტი ნაჩვენებია 626 ნახაზზე.

კოჭის წინასწარი დაძაბვის არსის უკეთ გაგებისა და საანგარიშო ფორმულების გამოყენების მიზნით, განვიხილოთ კოჭის მუშაობა ქვედა სწორხაზოვანი საკოჭით (ნახ. 626,გ).

მუშაობის პირველ ეტაპზე, მოჭიმვის შედეგად, კოჭი აიღუნება. წინასწარი დაჭიმულობის  $N_0$  ძალის ექსცენტრული მოქმედებით ზედა სარტყელი იჭიმება, ქვედა კი-იკუმშება. კოჭის მუშაობის ამ ეტაპზე ნორმალურ ძაბვათა ეპიურას აქვს 626,გ ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

ასეთი დაძაბვისას ყველაზე მეტად იძაბება ქვედა სარტყელი. დაჭიმულობის ძალა შეზღუდულია სიმტკიცის ან ქვედა შეკუმშული სარტყლის მდგრადობის პირობით:

$$\sigma'_j = -\frac{n_1 X}{A} - \frac{n_1 X h_a}{W_j} \leq \varphi R_y \gamma_c$$

სადაც  $n_1 = 1,1$  წინასწარ დაძაბვის ძალის გადატვირთვის კოეფიციენტი;  $A$ -კოჭის განივკვეთის ფართობი;  $W_j$ -განივკვეთის ქვედა განაპირა ბოჭკოების წინაღობის მომენტი;  $\varphi$ -ქვედა სარტყლის კუმშვისას გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი;  $R_y$ -კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობა.

კოჭის დატვირთვის ქვეშ მუშაობისას (ნახ. 626,გ) მასში წინასწარი დაძაბვის ძალა იწურება და მისი კვეთების იდეალურად შერჩევისას სარტყლების და საკოჭის ძაბვების მნიშვნელობები მისაწრაფიან თავიანთი საანგარიშო წინაღობის მნიშვნელობისაკენ, რაც განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_b &= -\frac{n_2 x + x_1}{A} - \frac{M_g - (n_2 x + x_1) h_a}{W_b} \leq R_y \gamma_c \\ \sigma'_j &= -\frac{n_2 x + x_1}{A} + \frac{M_g - (n_2 x + x_1) h_a}{W_j} \leq R_y \gamma_c \\ \sigma_a &= \frac{n_2 x + x_1}{A_a} \leq R^a \gamma_c \end{aligned} \right\} (6.76)$$

საკოჭში თვითდაძაბვის ძალა განისაზღვრება ფორმულით:

$$x_1 = \frac{\int \frac{M_1 M}{EI} dx}{\int \frac{M_1^2}{EI} dx + \frac{l_a}{E_a A_a} + \frac{l_a}{EA}}$$

სადაც  $M_1$  და  $M_q$  არის მომენტები გამოწვეული საკოჭში  $x=1$  ერთეულოვანი ძალისაგან და გარე დატვირთვისაგან  $q$ .  $EI$ -კოჭის სიხისტე ღუნვისას;  $E_a l_a$ -საკოჭის სიხისტეა გაჭიმვისას;  $n_2 = 0,9$  წინასწარ დაძაბვის ძალის დაუტვირთაობის კოეფიციენტი;  $R^o$ -საკოჭის საანგარიშო წინაღობა;  $A, A_a$ -კოჭისა და საკოჭის განიკვეთის ფართობი;  $l$ -კოჭის განიკვეთის ინერციის მომენტი.

კოჭის განიკვეთის შერჩევისა და სიმტკიცეზე შემოწმების შემდეგ კოჭებს ამოწმებენ სიხისტეზე

$$f = f_6 - f_x - f_{x1} \leq [f] \quad (6.77)$$

სადაც  $f_6$  არის ნორმატიული დატვირთვებით გამოწვეული კოჭის უდიდესი ჩაღუნვა საკოჭის გაუთვალისწინებლად;

$f_x, f_{x1}$ -კოჭის აღუნებები, გამოწვეული წინასწარი დაძაბვისა  $x$  და თვითდაძაბვის ( $x_1$ ) ძალების მიერ;

$f_6, f_{x1}$ -ამოითვლება მორის მეთოდით, ისე როგორც ჩვეულებრივ მარტივ კოჭებში.

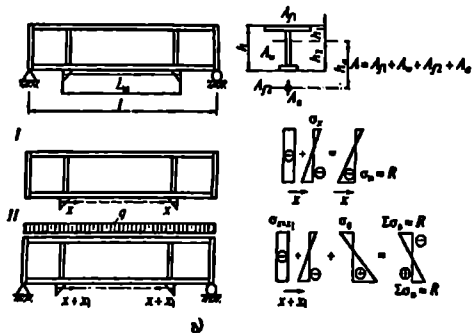
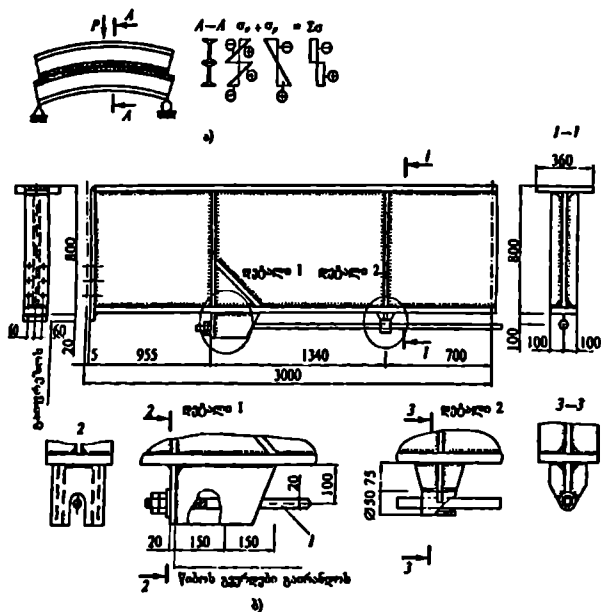
$[f]$ -აღუნვის ზღვრული მნიშვნელობა (ცხრილი 6.2);

$f_x$ -განისაზღვრება ტოლობით

$$f_x = \frac{x h_a (2l_a - l_a^2)}{8EI} \quad (6.78)$$

წინასწარ დაძაბული კოჭები მზადდება მცირენახშირბადიანი დაბალ ლეგირებული ფოლადებისაგან.

უაღრესად ეფექტურია ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული კოჭების წინასწარი დაძაბვა ფოლადის მაღალი სიმტკიცის საკოჭებით, ფოლადის კოჭებთან შედარებით, ალუმინის კოჭები ხასიათდება დაბალი დრეკადობის მოდულით და კოჭისა და საკოჭის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტების სხვადასხვაობით, ამიტომ ასეთი კოჭების დაგეგმარების დროს განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტემპერატურული ძაბვების გაელენას და მდგრადობის უზრუნველყოფის საკითხებს.



ნახ. 626. წინასწარ დაძაბული კოჭები: ა)-კოჭების წინასწარი დაძაბვა აღუნეით და შემდგომ მისი შედეგებით; ბ)-წინასწარ დაძაბული კოჭი დაძაბული მაღალი სიმტკიცის საკოჭით; გ)-კოჭის მუშაობა მისი წინასწარი დაძაბვისას (I) და გარე დატვირთვით დატვირთვისას (II); 1-დაძაბული ღერო.



ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები და ღეროები

7.1. საერთო დახასიათება

ლითონთა კონსტრუქციებში ფართოდ გამოიყენება ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები ან ღეროები, რომლებიც შედიან შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციულ კომპლექსებში.

ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები (ნახ. 7.1,ა) გამოიყენება სართულშუა გადახურვისა და შენობის გადახურვის საყრდენებად. ისინი მუშაობენ მძიმე გისოსოვანი ფემებისა და ჩარჩოების, კონსტრუქციული ელემენტებისა და კომპლექსების შემადგენლობაში (ნახ. 7.1,ბ), ვანტური სისტემების შეკუმშულ ელემენტებში და ა. შ.

სვეტი ეწოდება კონსტრუქციას, რომლის საშუალებით

დატვირთვა მასზე დაყრდნობილი კონსტრუქციიდან გადაეცემა საძირკველს.

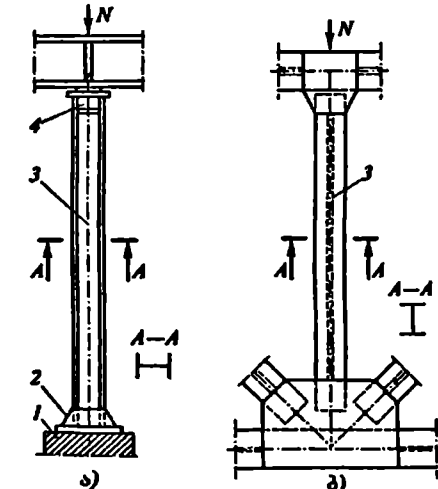
სვეტი შედგება სამი ნაწილისაგან: 1. სათავისაგან 2. ღეროსა და 3. ბაზისაგან.

სვეტის სათავე წარმოადგენს სვეტის ზედა გაფართოებულ ბოლოს, რომელზეც ეყრდნობა გადახურვის კონსტრუქცია.

სვეტის ღეროს უწოდებენ ელემენტს, რომლის საშუალებით დატვირთვა სვეტის სათავიდან გადაეცემა სვეტის ბაზას.

სვეტის ღერო კონსტრუქციის მიხედვით იყოფა მთლიანკედლიან და გამჭოლკედლიანად (ნახ. 7.2).

სვეტის ბაზა წარმოადგენს სვეტის ქვედა



ნახ. 7.1. ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე ღეროების სქემები. ა) სვეტი; ბ) მძიმე ფერმის შეკუმშული ღერო; 1-საძირკველი; 2-ბაზა; 3-ღერო; 4-სათავე.

გაგანიერებულ ბოლოს, რომლითაც დატვირთვა ღეროდან გადაეცემა საძირკველს და შეიძლება იქნეს ხისტი ან სახსროვანი. სახსროვანი ბაზის უარყოფითი მხარეა მისი კონსტრუქციის სირთულე და სვეტის მონტაჟის სიძნელე, რის გამოც ასეთი

ბაზები გამოიყენება იშვიათად, მხოლოდ ყამირების დიდი ჯდომების დროს.

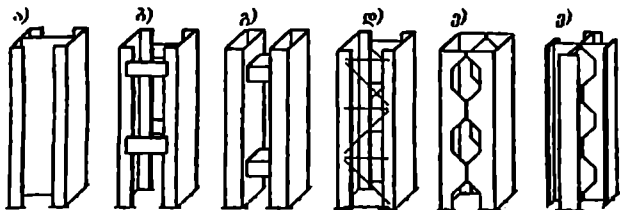
ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტებს დატვირთა შეყურსული ძალის სახით გადაეცემა უშუალოდ მისი ღერძის გასწვრივ ან სვეტის ღერძის სიმეტრიულად.

ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები ძირითადად გემარდება კოჭოვანი გადახურვის მთავარი კოჭების საყრდენებად.

სილუეტის ფორმის მიხედვით კონსტრუქციები შეიძლება იყოს მუდმივი კვეთის, ცვლადი კვეთის და საფეხუროვანი. სიგრძეში კვეთის ცვლილება იძლევა ფოლადის ეკონომიას (ნახ. 73).

## 72. მთლიანკედლიანი სვეტები

მთლიანკედლიანი სვეტების კვეთებს ჩვეულებრივ აპროექტებენ ფართო თაროებიანი ორტესებრი პროფილისაგან, გაგლინულს ან შედგენილს. მათი კვეთების სხვადასხვა ტიპები მოცემულია ნახ. 74 და 75. შედგენილი შედუღებული ორტესებრი პროფილის განივეკეთი შედგება ორი სარტყლისა და ერთი კედლის ფურცლისაგან, სარტყლის ფურცლის სისქე აიღება  $t_f = 8 + 20$  მმ. კედლის ფურცლის სისქე  $t_f = 6 + 12$  მმ სარტყლის ფურცლები კედელს უერთდება უწყვეტი შედუღების ნაკერებით, რომლის სიმაღლე აიღება  $h_f \approx 0,5t_w$ .



ნახ. 72. შედგენილი ღეროების ტექნიკური გადაწყვეტა.

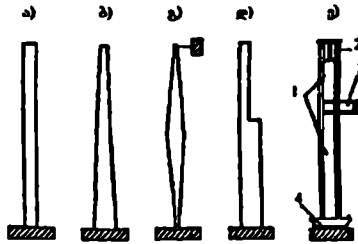
- ა)-მთლიანკედლიანი ღერო; ბ)-გამჭოლკედლიანი ღეროები;  
 ბ)-თამასებით; გ)-ხისტი განმზრჯენებით; დ)-გისოსოვანი; ე)-  
 პერფორირებული ჩაკეტილი ტიპის; ე)-იგივე ღია ტიპის.

იმისათვის, რომ სვეტი იყოს თანაბარმდგრადი, საჭიროა მისი მოქნილობა  $x$  ღერძის გასწვრივ სიბრტყეში უდრიდეს მოქნილობას  $y$  ღერძის გასწვრივ მდებარე სიბრტყეში, ე.ი.

$$\lambda_x = \lambda_y \text{ ან } l_{0x} / i_x = l_{0y} / i_y$$

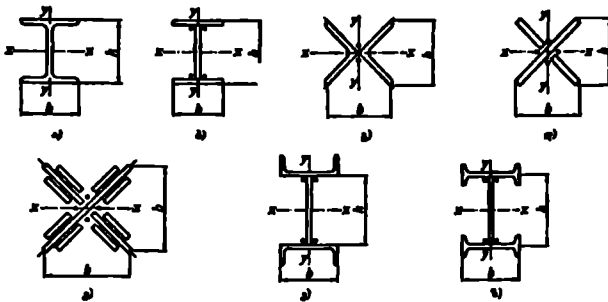
ხოლო ორტესებრი კვეთებში ერთი და იგივე საანგარიშო სიგრძეებისას  $l_{0x} = l_{0y}$  ეს პირობა არ სრულდება, რამდენადაც

მათი ინერციის რადიუსები მიიღება სხვადასხვა სიღიდის. ორტესებრ კვეთში (ცხრ. 7.1)  $x$  ღერძის მიმართ ინერციის რადიუსი  $i_x \approx 0.43h$ , ხოლო  $y$  ღერძის მიმართ  $i_y \approx 0.24b$  აქედან გამომდინარე თანაბარმდგრადი კვეთის მისაღებად საჭიროა, რომ  $0.43h = 0.24b$  ან  $b \approx 2h$ .



ნახ. 7.3. ღეროების სილუეტი.

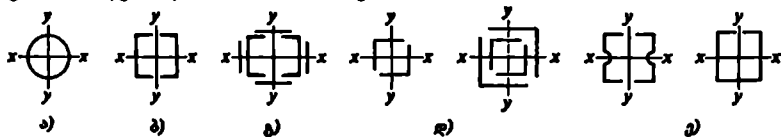
ა)-მუდმივი კვეთის; ბ)-ე-ცვლადი კვეთის; გ)-საფეხუროვანი; დ)-მუდმივი კვეთის კონსოლით; 1-ღერო; 2-სათავე; 3-კონსოლი; 4-ბაზა.



ნახ. 7.4 მთლიანკედლიანი ღეროების ღია კვეთები: ა)-გაგლინული ორტესი; ბ)-შედგენილი შედუღებული ორტესი; გ)-ჯვარედინი გაგლინული კუთხოვანებისაგან; დ)-იგივე ფურცლებისაგან; ე)-იგივე გამაძლიერებელი ელემენტებისაგან; ე)-შველერებისაგან; ზ)-ორტესებისაგან.

ჯვარედინი კვეთის მქონე სვეტები არიან თანაბარმდგრადი ორივე მიმართულებით. ასევე მარტივია დასამზადებლად (იხ. ნახ 4, გ, ე). მისი ინერციის რადიუსები  $i_x = i_y = 0.29b$  ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან ჯვარედინი კვეთის მქონე კოლონის

ფურცლების თავისუფალი შევრილები არ უნდა აღემატებოდეს ფურცლის სისქის 15-22-ს. დიაპაზონი დამოკიდებულია კოლონის საერთო მდგრადობის პირობაზე.



ნახ. 7.5. მთლიანკედლიანი ღეროების ჩაკეტილი კვეთები:

ა)-მილოვანი; ბ)-შველერებისაგან შედგენილი; გ)-იგივე გაძლიერებით; დ)-გაგლიჩული კუთხოვანებისაგან; ე)-ნაღუნ-შედუღებული პროფილები.

საკმაოდ რაციონალურია მილოვანი კვეთის მქონე კოლონები (ნახ. 7.5,ა), ინერციის რადიუსით  $i = 0.35d$  აქ  $d$  არის დიამეტრი. შედუღება იძლევა საშუალებას მიეიღოს ჩაკეტილი პროფილის სხვადასხვა ტიპების სვეტები. მაგ: ორი შველერისაგან (ნახ. 7.5,ბ)

მსუბუქი სვეტების ძალიან ეკონომიური კვეთი შეიძლება მიღებული იქნას თხელკედლიანი გაღუნულ-შედუღებული პროფილებისაგან (ნახ. 7.5,ე)

სხვა ტიპის პროფილებთან შედარებით ჩაკეტილი პროფილის მქონე სვეტების უპირატესობებს წარმოადგენს: თანაბარმდგრადობა, კომპაქტურობა და კარგი გარეთა ხელი; ნაკლოვანებად ითვლება შედუღებისათვის შიგა სიდრმეებისადმი ხელმიუწვდომობა.

ცხრილი 7.1 ინერციის რადიუსების მნიშვნელობები

კვეთი							
$i_x = \alpha_1 h$	0,21h	0,38h	0,43h	0,38h	0,43h	0,43h	0,47h
$i_y = \alpha_2 b$	0,21b	0,44b	0,43b	0,60b	0,24b	0,50b	0,40b

ფოლადის მილის ბეტონით შევსებისას მიიღება ეფექტური კომპლექსური კონსტრუქცია, სადაც მილი წარმოადგენს გარსს, რომელიც ეწინააღმდეგება ბეტონის ცილინდრის განივ დეფორმაციებს. ამ დროს ბეტონის მუშაობა კუმშვაზე

საგრძობლად იზრდება, გამოირიცხება მილის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა და შიდა ზედაპირის კოროზია.

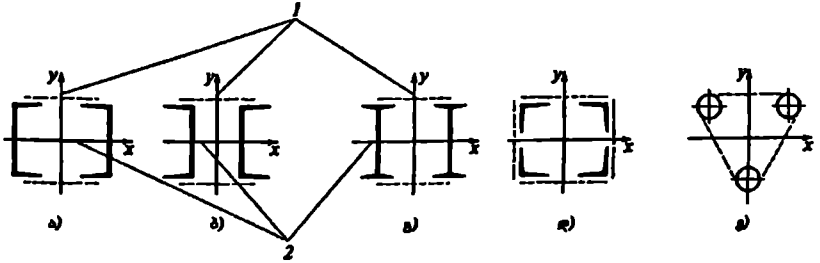
### 7.3. გამჭოლკედლიანი სვეტები

7.3.1 გამჭოლკედლიანი სვეტის ტიპები. ცენტრალურად შეკუმშული გამჭოლკედლიანი სვეტების ღერო ძირითადად შედგება ორი შტოსაგან (შველერი ან ორტესი), დაკავშირებული ერთმანეთთან გისოსებით (ნახ. 7.6,ა,გ). ღერძი, რომელიც კვეთს შტოს იწოდება მატერიალურად; შტოების პარალელური ღერძი კი თავისუფალ ღერძად. შტოებს შორის მანძილი დგინდება ღერძის თანაბარმდგრადობის პირობიდან.

შედურებულ სვეტებში შველერები უფრო ხელსაყრელია დაყენებული იქნას თაროებით შიგნით (ნახ. 7.5,ა), რადგან ამ შემთხვევაში გისოსები მიიღება ნაკლები სიგანის და სვეტი გაბარიტულ ზომებშიც ნაკლები გამოდის.

უფრო მძლავრი სვეტებისათვის შტოებად იყენებენ გაგლინულ ან შედგენილ ორტესებს (ნახ. 7.6,გ).

ისევ გამჭოლკედლიანი სვეტებში, რომლებიც შედგენილი არიან ორი შტოსაგან აუცილებელია უზრუნველყოთ შტოებს შორის მანძილი (100÷150)მმ. ეს მანძილი საჭიროა შიდა ზედაპირის შესაღებად.

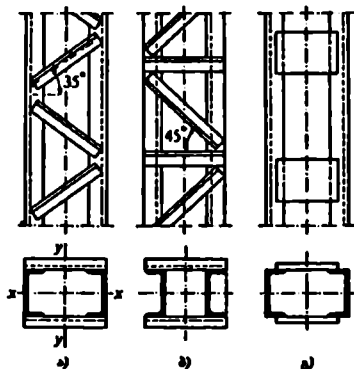


ნახ. 7.6. გამჭოლკედლიანი სვეტების კვეთები: ა) - შველერებისაგან თაროებით შიგნით; ბ) - იგივე თაროებით გარეთ; გ) - ორტესებისაგან; დ) - კუთხოვანებისაგან; ე) - მილებისაგან; 1 - თავისუფალი ღერძი; 2 - მატერიალური ღერძი.

დიდი სიგრძის მქონე ღეროებზე, რომლებზეც მოდებული არ არის მნიშვნელოვანი დატვირთვა აუცილებელი სიხისტიკის შესანარჩუნებლად უნდა ჰქონდეთ განვითარებული კვეთი, ამიტომ მათ აპროექტებენ ოთხი კუთხოვანისაგან, რომლებიც გისოსებით

შეერთებული არიან ერთმანეთთან ოთხივე მხრიდან (ნახ. 7.6,დ). ასეთ სვეტებს დაზადებაზე აქვთ მეტი შრომის დანახარჯები სხვებთან შედარებით.

თუ შტობად გამოიყენება მილოვანი კვეთები, მაშინ შესაძლებელია მათ სამკუთხედად განლაგება. ასე მივიღებთ საკმაოდ ხისტ და მასალის დანახარჯების თვალსაზრისით ეკონომიურ სვეტს. (ნახ. 7.6,ე).



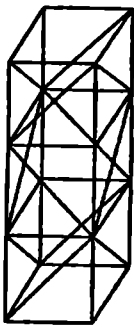
ნახ. 7.7. გამჭოლკელიანი ღეროების გისოსების ტიპები: ა)-ირიბნებიანი; ბ)-იგივე განმბრჯენებით; გ)-თამასებით.

გისოსები უზრუნველყოფენ სვეტების შტოების ერთობლივ მუშაობას და მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ სვეტის შტოებისა და მისი ღეროების მდგრადობაზე. იყენებენ სხვადასხვა სისტემის გისოსებს: ირიბნებისაგან (ნახ. 7.6,ა), ირიბნებისაგან და განმბრჯენებისაგან (ნახ. 7.6,ბ) და უირიბნო ტიპის თამასებისაგან (ნახ. 7.6 გ).

გისოსების ოთხივე სიბრტყეში განლაგებისას (ნახ. 7.6,დ) შესაძლებელია ჩეულებრივი სქემა (ნახ. 7.8,ა) და უფრო ეკონომიური “ნაძვის” ტიპის სქემა (ნახ. 7.8,ბ).

ღერძული ძალით შეკუმშულ სვეტებში შესაძლებელია ღუნვა წარმოიქმნას შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტებიდან. ღუნვისაგან წარმოიქმნება განივი ძალები, რომლებსაც ღებულობს გისოსები და ეწინააღმდეგებიან სვეტის შტოების ძვრას მისი გრძივი ღერძის მიმართ.

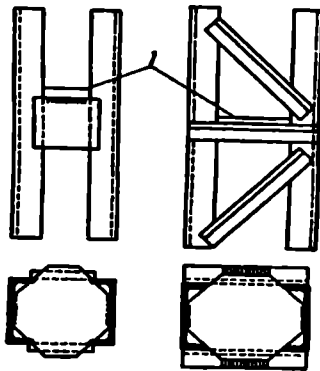
სამკუთხა გისოსები, რომლებიც შედგებიან მხოლოდ ირიბნებისაგან (ნახ. 7.7,ა), ან ირიბნებისა და განმბრჯენებისაგან (ნახ. 7.7,ბ) წარმოადგენენ უფრო ხისტს გისოსს ვიდრე უირიბნო. თუმცა ისინი დამზადებაზე უფრო მეტად შრომატევადია.



ა)



ბ)



ნახ. 7.8. გისოსების განლაგება ოთხივე სიბრტყეში

ნახ. 7.9. გამჭოლკედლიანი ღეროების დიაფრაგმები; 1-დიაფრაგმა.

თამასები (ნახ. 7.7,გ) სვეტის წიბოებში ქმნიან უირიბნო სისტემას, ღუნეაზე მომუშავე, ხისტი კვანძებითა და ელემენტებით, ამის გამო უირიბნო გისოსი ხდება ნაკლებად ხისტი. თუ შტოებს შორის მანძილი მნიშვნელოვანია (0.8-1 მ. და მეტი), მაშინ უირიბნო გისოსის ელემენტები მიიღება მძიმე; ამ შემთხვევაში უპირატესობა ენიჭება ირიბნებიან გისოსს.

უირიბნო გისოსი კარგად გამოიყურება და წარმოადგენს უფრო მარტივს დასამზადებლად. მას იყენებენ სვეტზე 2000-2500 კნ. საანგარიშო დატვირთვისას.

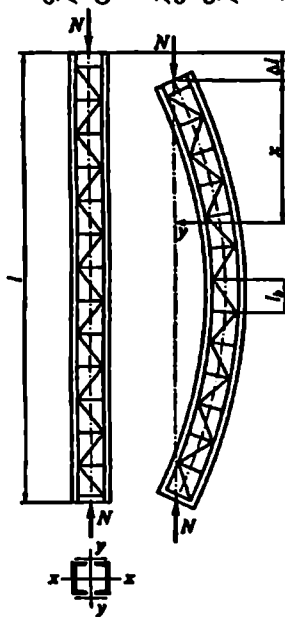
იმისათვის, რომ შენარჩუნებული იქნას გამჭოლკედლიანი სვეტის განივი კვეთის კონტურის უცვლელობა, სვეტის ღეროებს აერთიანებენ განივი დიაფრაგმებით (ნახ. 7.9), რომლებსაც აყენებენ სვეტის სიმაღლეში 3-4 მეტრის დაცილებით.

7.32. გისოსების გაელენა გამჭოლკედლიანი სვეტის (კოლონის) ღეროს მდგრადობაზე. გისოსები, რომლებიც აკავშირებენ სვეტის შტოებს უზრუნველყოფენ მათ ერთობლივ მუშაობას და ღეროს საერთო მდგრადობას. გისოსების დეფორმაციულობის შედეგად გამჭოლი სვეტის ღეროს მოქნილობა თავისუფალი ღერძის მიმართ (იხ. ნახ. 7.6,ა-გ) აღემატება მთლიანკედლიანი სვეტის მოქნილობას  $\lambda = l_{\sigma} / i$ , სადაც  $l_{\sigma}$ -სვეტის საანგარიშო სიგრძეა.

თავისუფალი ღერძის მიმართ, შედგენილი სვეტის მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძალის განსაზღვრა, შეიძლება ღეროს მიერ მდგრადობის საერთო დაკარგვის პირობიდან

$$\Delta A_1 = \Delta A_2 \quad (7.1)$$

სადაც  $\Delta A_1$ -ღეროს შიგა ენერჯიის ნაზრდია მისი ღუნვისას მდგრადობის დაკარგვის მომენტისთვის;  $\Delta A_2$ -ღუნვის შედეგად გარე ძალების ნაზრდია, რომელიც მოდებულია ღეროზე.



ნახ. 7.10. გრძივი ღუნვისას ღეროს დეფორმაცია

მოცემულ შემთხვევაში (ნახ. 7.10) შიგა ენერჯიის ნამატი შედგება ღუნვის ენერჯიის ნაზრდისაგან

$$\Delta A_{1M} = \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EI_y} = \frac{N^2}{2EI_y} \int_0^l y^2 dx \quad (7.2)$$

და ძერის ენერჯიის ნაზრდისაგან

$$\Delta A_{1Q} = \int_0^l \left( \frac{Q\gamma}{2} \right) dx, \quad (7.3)$$

სადაც  $N$ -სვეტში გრძივი ძალაა;  $I_y$ -სვეტის განივი კვეთის ინერციის მომენტი თავისუფალი  $y$  ღერძის მიმართ;  $Q$ -ღუნვის განივი ძალაა;  $\gamma$ -ძერის კუთხე.



გარე ძალის მუშაობა ღეროს ბოლოების გადაადგილებისას, რომელიც გამოწვეულია ღერძის გამრუდების შედეგად, განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta A_e = N\Delta l = \int_0^l N(1 - \cos \alpha) dx = \int_0^l \frac{Nig^2 \alpha}{2} dx = \frac{N}{2} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx, \quad (7.4)$$

სადაც  $\alpha$  არის კუთხე, ღეროს ღერძსა და დრეკადი წირის მხებს შორის, განსახილველ წერტილში. აქედან მდგრადობის დაკარგვის პირობა (7.1) გამოისახება ტოლობით

$$\frac{N^2}{2EI_y} \int_0^l y^2 dx + \frac{N^2 \gamma}{2} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx = \frac{N}{2} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx \quad (7.5)$$

აქ ტოლობის მარცხენა ნაწილის მეორე წევრში გათვალისწინებულია

$$M = Ny; \quad Q = \frac{dM}{dx} = \frac{Ndy}{dx}; \quad \gamma = \gamma_1 Q = \gamma_1 \frac{Ndy}{dx},$$

სადაც  $\gamma_1$ -ძვრის კუთხეა, როცა  $Q=1$  და არის მუდმივი სიდიდე გისოსის მოცემული ტიპის შემთხვევაში.

დავინშნოთ ღეროს გაღუნული ღერძის სახე

$$y = c \sin(\pi x/l)$$

და თუ მოვახდენთ (7.5) ტოლობაში ინტეგრირებას მივიღებთ კრიტიკულ ძალას

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{ef} \left( 1 + \gamma_1 \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \right)} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu l)^2}. \quad (7.6)$$

ამრიგად, შედგენილი ღეროს სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტი

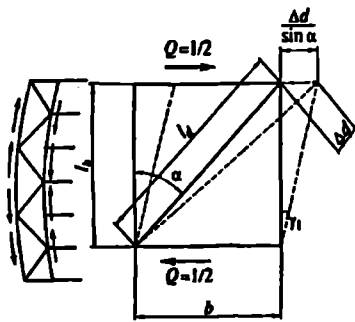
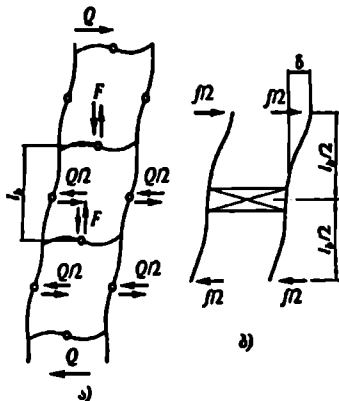
$$\mu = \sqrt{1 + \gamma_1 \frac{\pi^2 EI_y}{l^2}} \quad (7.7)$$

და დამოკიდებულია  $\gamma_1$  ძვრის კუთხეზე, რომლის სიდიდეც განსხვავებულია გისოსთა სხვადასხვა სისტემებისათვის.

7.3.3. სვეტები უირიბნო გისოსით. შეკუმშული სვეტები უირიბნო გისოსით წარმოადგენს ჩარჩოვან სისტემას, რომლის ყველა ელემენტი სვეტის საერთო ჩაღუნვისას იღუნება  $S$ -ის მაგვარი მრუდის სახით (ნახ. 7.11,ა).

თამასებს შორის თანაბარ მანძილებისას და მათი ერთნაირი სიმძლავრეების (ზომების) შემთხვევაში მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ, რომ მომენტების ეპიურის ნულოვანი წერტილები

განლაგებულია თამასების შუაში მათი სიგრძის მიხედვით და სვეტის შტოებში თამასებს შორის მანძილის შუაში. ნულოვან წერტილებში მოქმედებს განივი ძალები, რომლებიც ღეროს ღუნვისას წარმოიქმნება



ნახ. 7.11. თამასებიანი ღეროების დეფორმაციები გრძივი ღუნვისას:  
 ა)-სვეტის დეფორმირებული სქემა;  
 ბ)-საანგარიშო ფრაგმენტი.

ნახ. 7.12. ირიბნებიანი გისოსის გადახრა ღეროს გრძივი ღუნვისას:

შტოებთან შედარებით საკმაოდ ხისტი თამასების დეფორმაციის უგულვებელყოფითა (გრძივ სიხისტეთა ფარდობა მეტია 5-ზე) და იმის მიჩნევით, რომ განივი ძალა შტოებს შორის თანაბრად ნაწილდება, მიიღება, მიიღება, რომ  $\gamma_1$  ძერის კუთხე იქნება შესაბამისი კონსოლური ღეროს  $\delta$  ჩაღუნვისა, გამოწვეული  $1/2$  სიდიდის ტოლი ძალისაგან, (ნახ. 7.11,ბ):

$$\gamma_1 = \frac{\delta}{l_b/2} = \frac{1}{2} \left( \frac{l_b}{2} \right)^3 \frac{1}{3EI_1} \frac{2}{l_b} = \frac{l_b^2}{24EI_1} \quad (7.8)$$

თუ ჩაესვათ  $\gamma_1$  მნიშვნელობას (7.7) ფორმულაში, მივიღებთ სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტს

$$\mu = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 I_y}{24I_1} \left( \frac{l_b}{l} \right)^2}$$

ვითვალისწინებთ რა, რომ  $I_1 = A_b i_1^2$ ;  $I_y = 2A_b i_y^2$ ;  $l_b/i_1 = \lambda_1$  (შტოს მოქნილობა);  $l/i_y = \lambda_y$  (ღეროს მოქნილობა), სადაც  $A_b$  და  $I_1$ -კვეთის ფართობი და შტოს ინერციის მომენტი საკუთარი ღერძის

მიმართ, რომელიც სვეტის კვეთის თავისუფალი ღერძის პარალელურია;  $i_1$ -ერთი შტოს კვეთის ინერციის რადიუსი;  $i_y$ -თამასების სიბრტყეების პარალელურ სიბრტყეში ღეროს კვეთის ინერციის რადიუსი (იხ. ნახ. 7.6,ა), მივიღებთ

$$\mu = \sqrt{1 + 2\pi^2/24(\lambda_1/\lambda_y)^2} \approx \sqrt{1 + (\lambda_1/\lambda_y)^2} \quad (7.9)$$

აქედან ორ სიბრტყეში თამასებიანი ღეროს დაყვანილი მოქნილობა:

$$\lambda_{\text{ყ}} = \mu\lambda_y = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \quad (7.10)$$

თამასებიანი ღეროების დაყვანილი მოქნილობა ოთხ სიბრტყეში განისაზღვრება პირობითი მოქნილობის ფორმულით:

$$\lambda_{\text{ყ}} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2}. \quad (7.11)$$

სამკუთხა კვეთის ღეროების დაყვანილი მოქნილობა (იხ. ნახ. 8.4,დ) ასევე განისაზღვრება პირობითი მოქნილობის ფორმულით

$$\lambda_{\text{ყ}} = \sqrt{\lambda^2 + 1,3\lambda_3^2}, \quad (7.12)$$

სადაც  $\lambda$ -მთლიანი ღეროს უდიდესი მოქნილობაა;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ -ცალკეული შტოების მოქნილობა საკუთარ ღერძების მიმართ, რომლებიც ღეროს კვეთის მთავარი ღერძების პარალელურია (იხ. ნახ. 7.6).

ფორმულებში (7.10)-(7.12)  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ -ცალკეული შტოების მოქნილობა განისაზღვრება თამასებს შორის არსებულ უბნებზე (ღერძებში); სასურველია, მათი მნიშვნელობა არ აღემატებოდეს 40.

(7.10) და (7.11) ფორმულების გამოყენებისას თამასების დეფორმაციები არ იყოს გათვალისწინებული, ამიტომ ისინი შეიძლება ჩაითვალოს სამართლიანად, თამასისა და ღეროს გრძივი სიხისტეების ფარდობისას 5-ზე მეტის შემთხვევაში. ნაკლები დამოკიდებულების შემთხვევაში გათვალისწინებული უნდა იქნას თამასების დეფორმაციების გავლენა დაყვანილ მოქნილობაზე.

7.3.4. სვეტები სამკუთხა გისოსებითა და დამატებითი განმბჯენებით. სამკუთხა გისოსიანი სვეტებისთვის (ნახ. 7.12) გადახრის კუთხე ტოლია:  $\gamma = \Delta d / (l_b \sin \alpha)$ ,

სადაც  $l_b$  არის პანელის სიგრძე;  $\Delta d$  ირიბანას დაგრძელება, როდესაც  $Q = 1$ .

განვსაზღვროთ განივი ძალის მოქმედების სიბრტყეში განლაგებული გისოსის ირიბანას დაგრძელება, როდესაც  $Q = 1$  და

ორი გისოსის არსებობისას. ძალვა ირიბანაში ტოლია  $N_d = 1/(2 \sin \alpha)$ .

ირიბანას დაგრძელება

$$\Delta d = N_d l_d / (EA_d) = l_b / (2 \cos \alpha \sin \alpha EA_d), \quad (7.13)$$

სადაც  $A_d$  ირიბანას განივი კვეთის ფართობია.

ამგვარად, გისოსის გადახრის კუთხე

$$\gamma_1 = \Delta d / (l_b \sin \alpha) = 1 / (2 \cos \alpha \sin^2 \alpha EA_d), \quad (7.14)$$

შესაბამისად, საანგარიშო სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტები არის

$$\mu = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 I_y}{2 l_d^2 A_d \sin^2 \alpha \cos \alpha}}.$$

აქედან მივიღებთ

$$\mu = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{2 \sin^2 \alpha \cos \alpha} \frac{A}{A_d \lambda_y^2}} = \sqrt{1 + \alpha \frac{A}{A_d \lambda_y^2}}. \quad (7.15)$$

დაყვანილი მოქნილობა ორი სამკუთხა გისოსით ორ სიბრტყეში (იხ. ნახ. 7.7, ა):

$$\lambda_{\gamma} = \mu \lambda_y = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha (A/A_d)}. \quad (7.16)$$

დაყვანილი მოქნილობა ოთხი სამკუთხა გისოსით (იხ. ნახ. 7.6, დ) განისაზღვრება პირობითი მოქნილობის ფორმულით

$$\lambda_{\gamma} = \sqrt{\lambda^2 + A(\alpha_1/A_{d1} + \alpha_2/A_{d2})}. \quad (7.17)$$

ტოლგვერდა სამწახნაგა გამჭოლი კვეთის მქონე ღეროებისთვის (იხ. ნახ. 7.6, ე) დაყვანილი მოქნილობა განისაზღვრება ფორმულით

$$\lambda_{\gamma} = \sqrt{\lambda^2 + \alpha(2A/3A_d)}, \quad (7.18)$$

სადაც  $A$  - ღეროს მთლიანი განივი კვეთის ფართობია;  $\lambda_y = l/i_y$  - ღეროს მოქნილობა თავისუფალი  $y$  ღერძის მიმართ,  $\lambda$  - მთელი ღეროს უდიდესი მოქნილობა;  $A_{d1}$  და  $A_{d2}$  - გისოსების ირიბანების განივი კვეთის ფართობებია, რომლებიც მდებარეობენ შესაბამისად  $x$  და  $y$  ღერძების პერპენდიკულარულ სიბრტყეებში (იხ. ნახ. 7.6, დ).

$\alpha_1$  და  $\alpha_2$  კოეფიციენტები დამოკიდებულია ირიბანას დახრის კუთხეზე და განისაზღვრება ფორმულით (იხ. ნახ. 7.12):

$$\alpha = 10l^3 (b^2 l_b).$$

გისოსებიან შედგენილ ღეროებში ცალკეული ღერძის მოქნილობა არ უნდა იყოს 80-ზე მეტი და არ უნდა აღემატებოდეს ღეროს დაყვანილ მოქნილობას- $\lambda_{ef}$ .

მთლიანად ღეროს მდგრადობის შემოწმების გარდა უნდა შემოწმდეს კვანძებს შორის ცალკეულ უბანზე შტოების მდგრადობა.

7.3.5. განივი ძალა გრძივი ღუნვის შემთხვევაში. გრძივი ღუნვისას შედგენილი ღეროების გისოსები მუშაობენ განივ ძალაზე. ეს განივი ძალა ჩნდება ღეროების ღუნვის შედეგად მათ მიერ მდგრადობის დაკარგვისას (ან შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტისას). თუკი მივიჩნევთ, რომ ღეროს ღუნვა ხდება სინუსოიდაზე, მაშინ განივი ძალა

$$Q = \frac{dM}{dx} = N_{cr} \left( \frac{dy}{dx} \right) = \frac{\pi}{l} f_{cr} N_{cr} = \frac{\pi f_{cr}}{l} A \sigma_{cr}, \quad (7.19)$$

სადაც  $f_{cr}$  არის ჩაღუნვა მდგრადობის დაკარგვისას.

(7.19) ფორმულიდან ჩანს, რომ განივი ძალა დამოკიდებულია ღეროს ჩაღუნვაზე  $f_{cr}$ , მისი განივი კვეთის ფართობსა  $A$  და მდგრადობის მახასიათებელზე  $\sigma_{cr}$ . აქედან გამომდინარე, ნორმებში მოცემულია პირობითი განივი ძალის, შემაერთებელი ელემენტებისათვის, გასაანგარიშებელი ფორმულა ცენტრალურად შეკუმშული შედგენილი ღეროებისათვის:

$$Q_{\beta c} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E/R_y) N / \varphi, \quad (7.20)$$

სადაც  $N$ -არის გრძივი ძალვა შედგენილ ღეროში;  $\varphi$  გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი ცენტრალური კუმშვისას, რომელიც მიიღება თამასების ან გისოსების სიბრტყეში გამჭოლი ღეროს საანგარიშოდ.

ცხრილი 72

პირობითი განივი ძალის მნიშვნელობები  $Q_{\beta c}$ , კნ

ფოლადი	C235	C255	C285	C390	C440	C590
$Q_{\beta c}$ , კნ	0,2A	0,3A	0,4A	0,5A	0,6A	0,7A

შ ე ნ ი შ ე ნ ა. სხვა ფოლადებისთვის უნდა მოხდეს  $A$ -ს ცხრილური მნიშვნელობების ინტერპოლაცია, სვეტის განივი კვეთის ფართობის  $A$ -ს განზომილებად მიღებული უნდა იქნას სმ<sup>2</sup>.

პირობითი განივი ძალა თანაბრად უნდა განაწილდეს თამასებს (გისოსებს) შორის, რომლებიც ძვეს ღერძის

პერკენდიკულარულ სიბრტყეებში, რომლის მიმართაც ხდება მდგრადობის შემოწმება.

მთლიან კედლიან სვეტებში განივ ძალას იღებს კედელი, მაგრამ რადგანაც მათში ძაბვების მნიშვნელობები უმნიშვნელოა, მათი შემოწმება ჩვეულებრივ არ არის საჭირო.

(720) ფორმულის მიხედვით გამოთვლილ მნიშვნელობებთან ერთად  $Q_{\text{sc}}$ -ს საკმაოდ ახლო მდგომი მნიშვნელობები შეიძლება განისაზღვროს 72 ცხრილით.

## 7.4. საანგარიშო სქემისა და სვეტის ტიპის შერჩევა

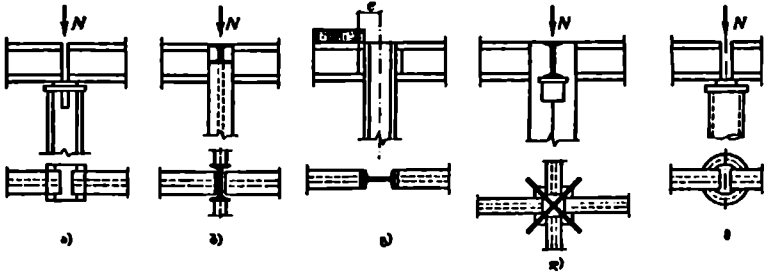
7.4.1. საანგარიშო სქემის შერჩევა. ერთიარუსიანი სვეტის საანგარიშო სქემის განსაზღვრა ხდება მათი საძირკველში ჩამაგრებისა და სვეტზე დატვირთვის გადაძვები კოჭების მიმაგრების ხერხების გათვალისწინებით.

სვეტის შეერთება საძირკველთან შეიძლება იყოს ხისტი ან სახსრული. თუკი საძირკველი საკმაოდ მასიურია, სვეტის ბაზის კვეთები კი საკმაოდ განვითარებული და არის საიმედოდ დაანკურებული, სვეტი შეიძლება ჩაითვალოს როგორც საძირკველში ხისტად ჩამაგრებული. მსუბუქი სვეტების გაანგარიშებისას მისი საძირკველში ჩამაგრება შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც სახსრული, ეს იძლევა ზიდვის უნარის დამატებით მარაგს.

ერთიარუსიანი სვეტების შემთხვევაში კოჭები ან სხვა დამჭერი კონსტრუქციები სვეტს შეიძლება ეყრდნობოდეს ზემოდან (ნახ. 7.13,ა). დატვირთვის ცენტრალურად გადაცემის სიზუსტის გარდა ასეთი შეერთება ქვემოდ ხისტად ჩამაგრებული სვეტების შემთხვევაში მოსახერხებელია დასამონდაჟებლადაც. ამასთან, სვეტი განიხილება როგორც ზედა ბოლოში სახსრულად ჩამაგრებული. მაშინ საძირკველში სვეტის ხისტი ჩამაგრებისას სვეტის საანგარიშო სიგრძედ მიიღება  $0,7l$ , ხოლო სახსრული ჩამაგრებისას- $l$ , სადაც  $l$  არის სვეტის გეომეტრიული სიგრძე საძირკველიდან კოჭების ძირამდე. გაცილებით ხისტია კონსტრუქცია კოჭოვანი კონსტრუქციის სვეტთან გვერდიდან შეერთებისას (იხ. ნახ. 7.13,ბ).

საკმაოდ მძლავრი კოჭოვანი კონსტრუქციისას და სვეტებთან კოჭების ხისტად ჩამაგრებისას უკანასკნელნი (სვეტები) შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც ზემოდან ჩამაგრებული. მაშინ საანგარიშო სიგრძე მთავარი კოჭების სიბრტყეში, საძირკველში სვეტების სახსრულად ჩამაგრებისას, მიიღება  $0,7l$ -ის ტოლად, ხოლო ხისტად ჩამაგრებისას  $0,5l$ . მაგრამ ამ უკანასკნელ შემთხვევაშიც

საანგარიშო სიგრძე მიიღება 0,7l ტოლად, იმდენად რამდენადაც კოჭების ღუნვის გამო სრულად ხისტად ჩამაგრება არ ხერხდება.



ნახ. 7.13. კოჭების სვეტთან შეუღლების სქემები: ა)-კოჭის ზემოდან დაყრდნობისას; ბ)-იგივე გვერდიდან სვეტის კედელზე; გ)-იგივე, სარტყლებზე; დ)-ჯვარედინი კვეთის სვეტთან; ე)-მილი-ბეტონის სვეტზე.

ორტესებრი სვეტების შემთხვევაში, რომლებსაც აქვთ კვეთის მცირე სიმაღლე და ფართო თაროები, მთავარი კოჭების მიმაგრება ხელსაყრელია მოხდეს არა სვეტის კედელთან, არამედ თაროებთან (სარტყლებთან) (ნახ. 7.13,გ). ამ შემთხვევაში დროებითი დატვირთვის სვეტის ცალი მხრიდან განლაგებისას ეს უკანასკნელი (სვეტი) მუშაობს, როგორც გარეცენტრალურად შეკუმშული. ამასთან, მომენტი პირობითად მიიღება

$$M = N'e$$

სადაც  $N'$  - ცალმხრივი დროებითი დატვირთვისაგან საყრდენი წნევაა;  $e$  - ძალის მოდების ექსცენტრისიტეტი.

ჯვარედინ სვეტებზე გვერდიდან მიერთებისას კოჭები ჩვეულებრივ განლაგდებიან ჯვარედინი კვეთის ბისექტრისის სიბრტყეში და ყურდნობიან სვეტის ფურცლებს შორის განლაგებულ მაგიდებს, რაც ასევე იწვევს ცალმხრივი დატვირთვისას ექცენტრისიტეტს (ნახ. 7.13,დ), თუმცა ნაკლებს, ვიდრე ორტესებრი სვეტების შემთხვევაში.

მილი-ბეტონის სვეტებზე კოჭების მიმაგრება მოსახერხებელი არის ზემოდან (ნახ. 7.13,ე).

7.4.2. კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევა. კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევისას უნდა ვეცადოთ მივიღოთ უფრო მეტად ეკონომიური გადაწყვეტილება, დატვირთვის სიდიდის, ექსპლუატაციის პირობების, დამზადების შესაძლებლობის, სორტამენტის არსებობისა და დასაყრდენი კონსტრუქციებთან შეერთების ხელსაყრელი პირობების გათვალისწინებით.

თავდაპირველად უნდა გადაწყდეს სვეტის კვეთი მიღებული იქნეს მთლიანკედლიანი თუ გამჭოლკედლიანი. ორი შევლერისაგან შედგენილი გამჭოლკედლიანი სვეტისათვის მაქსიმალური შესაძლო საანგარიშო დატვირთვა არის 2700-3550 კნ. ორი ორტესისაგან შედგენილი სვეტებისათვის - 5500-5600 კნ. მნიშვნელოვანი დატვირთვებისას გამჭოლკედლიანი სვეტები დამზადების თვალსაზრისით მიიღება რთული, ამ დროს უფრო რაციონალურია მთლიანკედლიანი სვეტები.

400-800 კნ დატვირთვისა და  $l=6$  მ საანგარიშო სიგრძისას ნაღუნი პროფილების მქონე მთლიანკედლიან სვეტებს (დამზადების სიმარტივის გამო) ღირებულების თვალსაზრისით შეიძლება უპირატესობა მიენიჭოს გამჭოლკედლიან სვეტებთან.

### 7.5. სვეტის ღეროს განივკვეთის შერჩევა და კონსტრუქციული გაფორმება

7.5.1. მთლიანკედლიანი სვეტები. განივიკვეთის შერჩევა. კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევის შემდგომ ისახლდება კვეთის საჭირო ფართობი

$$A_{საჭ} = \frac{N}{\varphi \cdot R\gamma_c} \quad (7.21)$$

სადაც  $N$  - სვეტში საანგარიშო ძალეა,  $\gamma_c$  - მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (დან. 14).

იმისათვის რომ წინასწარ განვსაზღვროთ  $\varphi$  კოეფიციენტი (დან. 8) ვნიშნავთ სვეტის მოქნილობას

$$\lambda = l_0 / i$$

მთლიანკედლიანი სვეტებისათვის, რომელთა საანგარიშო დატვირთვაა 1500-2500 კნ და სიგრძე 5-6 მ. შეიძლება დანიშნული იქნას მოქნილობა  $\lambda = 100 + 70$ . უფრო მძლავრი სვეტებისათვის 2500-4000 კნ. დატვირთვით შეძლება დანიშნული იქნას მოქნილობა  $\lambda = 70 + 50$  სიდიდით. დანიშნული მოქნილობის  $\lambda$  და ფოლადის საანგარიშო წინაღობის  $R_y$ -ის მიხედვით დან. 8-დან ეპოულობთ შესაბამის  $\varphi$ , რომლის საშუალებითაც პირველი მიახლოებით (7.21)-დან ეპოულობთ საჭირო განივკვეთის ფართობს და საჭირო ინერციის რადიუსს დანიშნული მოქნილობის მიხედვით

$$i_{საჭ} = l_0 / \lambda \quad (7.22)$$

ინერციის რადიუსის კვეთის ტიპზე დამოკიდებულება მიახლოებით გამოისახება ფორმულებით

$$r_x = \alpha_1 h; \quad r_y = \alpha_2 b$$



სადაც  $h$  და  $b$  – კვეთის სიმაღლე და სიგანეა;  $\alpha_1$  და  $\alpha_2$  – პროფილების მიხედვით რადიუსების განმსაზღვრელი კოეფიციენტები ყველაზე მეტად გავრცელებული პროფილებისათვის იხ. ცხრ. 7.1

აქედან განისაზღვრება სვეტის კვეთის საჭირო გენერალური ზომები:

$$\left. \begin{aligned} h_{საჭ} &= \frac{i_{საჭ}}{\alpha_1} \\ b_{საჭ} &= \frac{i_{საჭ}}{\alpha_2} \end{aligned} \right\} \quad (7.23)$$

კვეთის გენერალური ზომების ( $h$  და  $b$ ) დადგენის შემდეგ ირჩევა სარტყლების (თაროების) ფურცლებისა და კედლის სისქები (ნახ. 7.14). საჭირო კვეთის ფართობის და ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან გამომდინარე კვეთის ელემენტების სიგანის დამოკიდებულება მათ სისქესთან ირჩევა ისე, რომ ისინი იყვნენ ზღვრულ დამოკიდებულებაზე ნაკლები.

პირველი მიახლოებისას ხშირად არ ხერხდება ისეთი რაციონალური კვეთის მიღება, რომელიც დააკმაყოფილებს სამ პირობას ( $A_{საჭ}, b_{საჭ}, h_{საჭ}$ ), რადგან მათი განსაზღვრისას მოქნილობის საწყისი სიდიდე იყო დანიშნული მიახლოებით. შეუსაბამობის გამოვლენისას ხდება ზემოთაღნიშნული სიდიდეების კორექტირება. თუ დანიშნული მოქნილობის სიდიდე  $\lambda$  მიღებული იქნა ძალიან დიდი, მაშინ მიიღება ძალიან დიდი ფართობი  $h$  და  $b$  – ს შედარებით მცირე ზომებისას. აქედან გამომდინარე უნდა გაიზარდოს კვეთი, ერთდროულად საჭირო ფართობის  $A_{საჭ}$  შემცირებისას, ე.ი. უნდა შემცირდეს დანიშნული მოქნილობა.

თუ დანიშნული მოქნილობა ძალიან მცირეა, მიიღება ძალიან მცირე ფართობი ძალიან გაზრდილი კვეთით, მაშინ  $A_{საჭ}$  უნდა გაიზარდოს კვეთის ზომების შემცირებით.

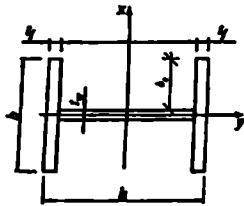
$A$ ,  $b$  და  $h$  – ის კორექტირების შემდგომ ახდენენ კვეთის შემოწმებას.

$$i_x = \alpha_1 h; \quad i_y = \alpha_2 b,$$

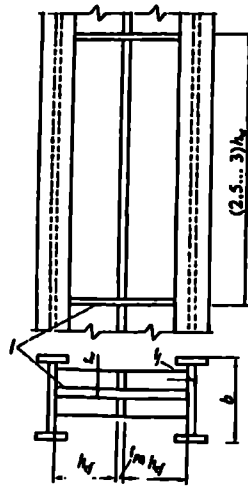
$\lambda_{\max} = I_0 / i_{\min}$ ;  $\varphi_{\min}$  – ვირჩევთ  $\lambda_{\max}$  – ის და  $R_y$  – ის მიხედვით.

ძაბვების შემოწმება მდგრადობაზე ხდება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} \leq R_y \gamma_c \quad (7.24)$$



ნახ. 7.14.  
ორტესებრი კეეთის  
მთლიანკედლიანი  
სვეტი



ნახ. 7.15.  
მთლიანკედლიანი  
სვეტების განივი და  
გრძობი სიხისტის  
წიბოებო:  
1-ღიაფრაგმა.

კეეთის ზომების საბოლოო შერჩევის შემდგომ იანგარიშება ინერციის ფაქტობრივი მომენტები  $i_x = \sqrt{I_x / A}$   $i_y = \sqrt{I_y / A}$  რომელთა მიხედვით იანგარიშება მოქნილობის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\lambda_{\max} = l_0 / i_{\min}$$

და  $\lambda_{\max}$ -ის და  $R_y$ -ის მიხედვით აირჩევა  $\phi_{\min}$ . დგინდება ასევე კეეთის უმცირესი ზომები

$$b_{\min} = i_{\min} / \alpha_2 \quad h = i_{\min} / \alpha_1;$$

საბოლოოდ (7.24) ფორმულით ხდება სვეტის მდგრადობაზე შემოწმება.

სვეტის ღეროს კონსტრუქციული გაფორმება და ფაქტობრივი მუშაობა. ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტებში კედელსა და სარტყლებს შორის აღძრული ძერის ძალები არის უმნიშვნელო, რადგან განივი ძალა, გამოწვეული შემთხვევითი ზემოქმედებებისაგან, არის მცირე. ამ მიზეზის გამო შედუღებულ სვეტებში სარტყლის ნაკერები მიიღება კონსტრუქციულად, რომლებიც

ღეროს კვეთი	$h_0/t$ ზღერული მნიშვნელობები
ორტესებრი	$h_0/t \leq (0,36 + 0,8\lambda) \sqrt{E/R}$ , მხოლოდ არა უმეტეს $2,9 \sqrt{E/R}$
შველერისებრი, კოლოფისებრი	$h_0/t \leq (0,85 + 0,8\lambda) \sqrt{E/R}$ , როცა $\lambda < 0,8 h_0/t \sqrt{R/E} = 1$

სვეტები, რომელთა ექსპლუატაცია არ ხდება საშუალო და ძლიერაგრესიულ გარემოში, ასევე აშენება არ ხდება I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub> და II<sub>3</sub> კლიმატურ რაიონებში (როცა ტემპერატურა < 50°), რეკომენდებულია სარტყლის ნაკერები დაყენებული იქნას ცალმხრივად. სვეტის კედლის სისქე საჭიროა მიღებული იქნას რაც შესაძლებელია მცირე, რადგან კედლის განივი კვეთი, ყ-ღერძის მიმართ ინერციის მომენტის გაუზრდელად, ზრდის ფართობს და შესაბამისად ამცირებს ინერციის რადიუსსა  $i = \sqrt{I_y/A}$  და სვეტის სიხისტეს. მძლავრი კოჭების მიმაგრებისას კედელი არ უნდა იყოს ზედმეტად თხელი, რადგან ასეთ ადგილებში მოხდება გადაბაბვა.

ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან კედლის უდიდესი სიმაღლის  $h_0$ -ის შეფარდება მის სისქესთან  $t$ -სთან განისაზღვრება ფორმულებით, რომლებიც მოყვანილია ცხრ. 73-ში, ხოლო ორტესებრი სვეტის თაროს კიდულის- $b_0$ -ის ფარდობა მის სისქესთან  $t_f$ -თან (ნახ. 7.14), როცა სვეტის პირობითი მოქნილობა  $\lambda$  მოთავსებულია საზღვრებში 0.8-დან 4-მდე, უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$b_0/t_f \leq (0,36 + 0,1\lambda) \sqrt{E/R} \quad (725)$$

ზღერული მოქნილობის მიხედვით შეკუმშული ღეროს განივი კვეთის განსაზღვრისას, საჭიროა  $h_0/t$  და  $b_0/t$  უდიდესი მნიშვნელობები გავამრავლოთ  $\sqrt{(R/\sigma)\rho}$  კოეფიციენტზე, სადაც  $\sigma = N/A$ . ეს კოეფიციენტი არ უნდა აღმატებოდეს 1,25-ს. ასეთ შემთხვევაში ორტესებრი კვეთისათვის  $\lambda$  არ უნდა იყოს  $3,2 \sqrt{E/R}$ -ზე მეტი.

$h_0/l_f$  და ცხრილი 73-ის მიხედვით ჩანს, რომ სვეტის მოქნილობის გაზრდით განსახილველი ფარდობებიც იზრდება, ე. ი. კედელი და თაროები შეიძლება იყოს შედარებით თხელი, რადგანაც ამასთან ძაბვები სვეტის კვეთში მცირდება. ფოლადის საანგარიშო წინაღობის  $R_y$ -ის გაზრდით, კედლისა და თაროების სისქეები უნდა იყოს შედარებით დიდი, რადგან ფაქტობრივი ძაბვები იზრდება.

თუ კონსტრუქციული მოსაზრებებით  $h_0/l$ -სთან ფარდობა მიიღება ზემოთაღნიშნულ სიდიდეებზე მეტი, მაშინ კედლები უნდა იქნას გამაგრებული გრძივი წიბოთი (ნახ. 7.15), რათა არ მოხდეს კედლის მდგრადობის დაკარგვა და მოხდეს განივი ტალღის გამომზრცვის გადაკეუთა (ნახ. 6.16,ბ).

ამ შემთხვევაში კედლის საანგარიშო სიმაღლედ  $h_0$  ღებულობენ წიბოდან ღეროს კვეთის თარომდე მანძილს.

წიბო შეიძლება იყოს წყვილი ან ცალი მხრიდან იყოს განლაგებული.

კედლის წყვილი წიბოებით გამაგრებისას  $h_0/l$ -ს ზემოთგანსაზღვრული მნიშვნელობები (ცხრ. 73) გამრავლებული უნდა იქნას  $\beta$  კოეფიციენტზე, თანაც  $I_{f1}/(h_0 l^3) \leq 6$

$$\beta = 1 + 0,4 \frac{I_{f1}}{h_0 l^3} \left( 1 - 0,1 \frac{I_{f1}}{h_0 l^3} \right) \quad (7.26)$$

აქ  $I_{f1}$ -გრძივი წიბოს კვეთის ინერციის მომენტია.

კედლის ცალი მხრიდან წიბოს განლაგებისას მისი ინერციის მომენტი, უნდა გამოითვალოს კედლის უახლოეს ნაპირთან შეთავსებულ ღერპის მიმართ.

სიხისტის გრძივი წიბო შეყვანილი უნდა იქნას ღეროს საანგარიშო ფართობში.

სვეტის კვეთის კონტურისა და კედლის გამაგრებისათვის, როცა  $h_0/l \leq 2,2 \sqrt{E/R}$  დაყენებული უნდა იქნას განივი სიხისტის წიბოები ერთი მეორისაგან 2,5-3მ. მანძილზე. თითოეულ ელემენტზე უნდა იყოს არაუმცირეს ორი წიბო.

ზოგჯერ სვეტის კვეთის დიდი ზომებისას გვიწევს მისი ფართო თაროების დაპროექტება, რომელთა მცირე სისქეებისას შეიძლება აღმოჩნდნენ არამდგრადები. ასეთ შემთხვევაში თაროების მდგრადობის შესანარჩუნებლად მიზანშეწონილია ისინი გამაგრებული იქნას ნაწიბურებზე მიდუღებული განივი წიბოებით (იხ. ნახ. 7.15).

752. გამჭოლკედლიანი სვეტები. გამჭოლკედლიანი სვეტების გაიგეკეთის შერჩევა გამჭოლკედლიანი სვეტების კვეთის შერჩევისას მის მდგრადობას თავისუფალი ღერძის მიმართ ამოწმებენ არა მოქნილობის  $\lambda = l_0/i_y$ , არამედ დაყვანილი მოქნილობის  $\lambda_{red}$ -ის მიხედვით, რომელიც ყოველთვის მეტია გისოსის დეფორმაციულობის გამო.

დაყვანილი მოქნილობა დამოკიდებულია შტოებს შორის მანძილზე, ეს პარამეტრი დგინდება განივი კვეთის შერჩევის პროცესში. შტოებს შორის  $b$  მანძილი (ნახ. 7.6) განისაზღვრება გამჭოლკედლიანი სვეტის  $x$  და  $y$  ღერძების მიმართ თანაბარმდგრადობის პირობიდან. ამ პირობის დასაკმაყოფილებლად საჭიროა დაყვანილი მოქნილობა გაუტოლდეს მატერიალური ღერძის მიმართ გამოთვლილ მოქნილობას ( $\lambda_{red} = \lambda_x$ ).

გამჭოლკედლიანი სვეტის კვეთის შერჩევა იწყება მატერიალური  $x$  ღერძის მიმართ მდგრადობაზე გაანგარიშებით, ე.ი. კვეთის საჭირო ფართობის განსაზღვრით:

$$A_{საჭ} = \frac{N}{\varphi_x R_y} \quad (727)$$

ისევე როგორც მთლიანკედლიანი სვეტების კვეთის შერჩევისას უნდა დაენიშნოთ მოქნილობა, რომ მივიღოთ ცხრილიდან (დან. 8) გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი  $\varphi$ .

გამჭოლკედლიანი სვეტებისათვის 1500 კნ-მდე საანგარიშო დატვირთვისა და 5-7 მ. სიგრძისას შეიძლება დანიშნული იქნას მოქნილობა  $\lambda = 90 + 60 -$  მდე. უფრო მძლავრი სვეტებისათვის 2500 + 3000 ან საანგარიშო დატვირთვისას მოქნილობა შეიძლება მიღებული იქნას  $\lambda = 60 + 40$  ტოლი.

დანიშნული მოქნილობისა ( $\lambda$ ) და მის მიხედვით განსაზღვრული  $\varphi$  კოეფიციენტით (727) ფორმულით ვსაზღვრავთ საჭირო განიგეკეთის ფართობს და საჭირო ინერციის რადიუსს მატერიალური ღერძის მიმართ  $i_{საჭ} = l_0/\lambda$  ამასთან ვითვალისწინებთ, რომ მოქნილობა მატერიალური ღერძის მიმართ ტოლია საანგარიშო მოქნილობისა.

საჭირო ფართობისა და საჭირო ინერციის რადიუსის განსაზღვრის შემდგომ, სორტამენტიდან ვირჩევთ მის შესაბამის შევლურის ან ორტესის პროფილს.

ღეროს დანიშნულ კვეთს ვამოწმებთ მდგრადობაზე ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_x A} \leq R_y \gamma_c \quad (728)$$

აქ  $\phi_x$  არის რეალური მოქნილობის მიხედვით  $\lambda_x = l_{ax}/i_x$  განსაზღვრული კოეფიციენტი.

თუ კვეთი შერჩეულია დამაკმაყოფილებლად, მაშინ შემდგომ ეტაპზე უნდა მოხდეს შტოებს შორის მანძილის განსაზღვრა გამომდინარე თანაბარმდგრადობის პირობიდან  $\lambda_{red} = \lambda_x$ .

გისოსის ტიპზე დამოკიდებულებით დაყვანილი მოქნილობა განისაზღვრება (7.10) ან (7.15) ფორმულებით. თამასებიანი კოლონებისათვის რეკომენდებულია შტოების მოქნილობა მიღებული იქნას  $\lambda_1 = 30 + 35$ , მაგრამ არაუმეტეს 40-ისა.

თამასებიანი გისოსის შემთხვევაში დანიშნული  $\lambda_1$ -სა და (7.10) ფორმულიდან გამომდინარე ვპოულობთ თავისუფალი ღერძის მიმართ მოქნილობის საჭირო მნიშვნელობას.

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_{red}^2 - \lambda_1^2} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_1^2} \quad (7.29)$$

აუცილებელია მივიღოთ მხედველობაში, რომ  $\lambda_1 < \lambda_{red}$ , წინააღმდეგ შემთხვევაში შესაძლებელია შტოს ზიდვის უნარის უფრო ადრე დაკარგვა, ვიდრე მთლიანად კოლონა დაკარგავდეს მდგრადობას.

$\lambda_y$  განსაზღვრის შემდგომ ვპოულობთ მის შესაბამის ინერციის რადიუსს  $i_y = I_o/\lambda_y$  და შტოებს შორის მანძილს, რომელიც დაკავშირებულია ინერციის რადიუსთან შემდეგი ფარდობით  $b = i_y / \alpha_2$ .

$\alpha_2$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია შტოების კვეთის ტიპზე და აიღება ცხრ. 7.1-დან.

$b$ -ს მნიშვნელობა უნდა იყოს დაკავშირებული სვეტის გაბარიტებთან, ასევე შტოების თაროებს შორის აუცილებელ საჭირო შუალედურ ზომაზე.

რომ განვსაზღვროთ  $\lambda_y$  მოქნილობა ირიბებიანი გისოსის მქონე კოლონებში უნდა დანიშნოს ირიბანას კვეთის ფართობი- $A_{ნრ}$ . გვეცოდინება რა ფარდობა  $A/A_{ნრ}$  ისაზღვრება

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_x^2 - \alpha_1 \frac{A}{A_{ნრ}}} \quad (7.30)$$

შემდგომ ვსაზღვრავთ  $i_y$  და  $h$  (როგორც თამასებიანი სვეტის შემთხვევაში).

კვეთის საბოლოო შერჩევისას სვეტს ამოწმებენ მდგრადობაზე  $y$  ღერძის მიმართ (7.24) ფორმულით. მდგრადობის შემოწმებისათვის საჭიროა დადგინდეს განივი კვეთის ზომები, შტოებს შორის

მანძილი და დაყვანილი მოქნილობით განესაზღვროთ  $\phi_y$ . თუ კოეფიციენტი  $\phi_y$  მეტია  $\phi_x$  კოეფიციენტზე, მაშინ მდგრადობის შემოწმება  $\gamma$  ღერძის მიმართ (724) ფორმულის მიხედვით საჭირო არ არის.

გისოსებიან სვეტებში ასევე შემოწმებული უნდა იქნას გისოსის მომიჯნავე კვანძებს შორის მდებარე შტოების მდგრადობა.

*უირიბნო გისოსის (თამასების) გაანგარიშება.* თამასებს შორის მანძილი განისაზღვრება შტოს მიღებული მოქნილობისა და ინერციის რადიუსის მიხედვით.

$$l_1 = \lambda_1 i_1 \quad (731)$$

შედულებულ სვეტებში შტოს საანგარიშო სიგრძედ ღებულობენ თამასებს შორის მანძილს. (ნახ. 7.16,ა).

თამასების გაანგარიშება მოიცავს მათი კვეთის შემოწმებასა და შტოებთან მათი მიერთების ანგარიშს. გადამჭრელი  $Q_s$  ძალის მოქმედებით შტოები მუშაობენ ღუნვაზე, რომლის სიდიდე განისაზღვრება სვეტიდან ამოჭრილი კვანძის წონასწორობის პირობიდან (ნახ. 7.11,ბ.)

$$Q_s l / 2 = F_s b_1 / 2 \quad (732)$$

სადაც  $Q_s$ -განივი ძალაა. მისი სიდიდე განისაზღვრება 7.20 ფორმულით ან აიღება ცხრ. 7.2-დან.  $l$ -თამასების ღერძებს შორის მანძილია;  $b_1$ -შტოების ღერძებს შორის მანძილი. აქედან

$$F_s = Q_s l / b_1 \quad (733)$$

თამასას სიმაღლეს- $h$  ღებულობენ მისი მიმაგრების პირობიდან, ხოლო სიგანეს  $(0,5...0,75)b$  ტოლად. აქ  $b$  არის სვეტის სიგანე.

თამასების სისქედ ღებულობენ კონსტრუქციულად 6 დან 10 მმ-დე  $(1/10...1/15)h$  საზღვრებში.

თამასების მიმაგრების ადგილას მოქმედებს განივი ძალა  $F_s$  და მღუნავი მომენტი

$$M_s = F_s (b_1 / 2) \quad (734)$$

შედულებულ სვეტში თამასები მაგრდება შტოებზე პირგადადებით და დუღდება კუთხური ნაკერებით. თამასების შტოებში შეყვანა ხდება 20 ÷ 30 მმ-ით. (ნახ. 7.16,ა).

კუთხური შედუღების ნაკერის სიმტკიცე განისაზღვრება:

1)-ნაკერის ლითონში,

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{წ}}^2 - \tau_{\text{წ}}^2} \leq R_{\text{წ}} \gamma_c,$$

სადაც  $\sigma_{\text{აფ}} = M_s/W_{\text{აფ}}$ ;  $\tau_{\text{აფ}} = F_s/A_{\text{აფ}}$ ;  $F_s$  და  $M_s$  - შესაბამისად განივი ძალა და მღუნავი მომენტი თამასის მიმაგრების ადგილას;  $W_{\text{აფ}}$  - წინაღობის მომენტი, რომელიც ტოლია  $\beta_f k_f l_w^2/6$ ;  $A = \beta_f k_f l_w$ .

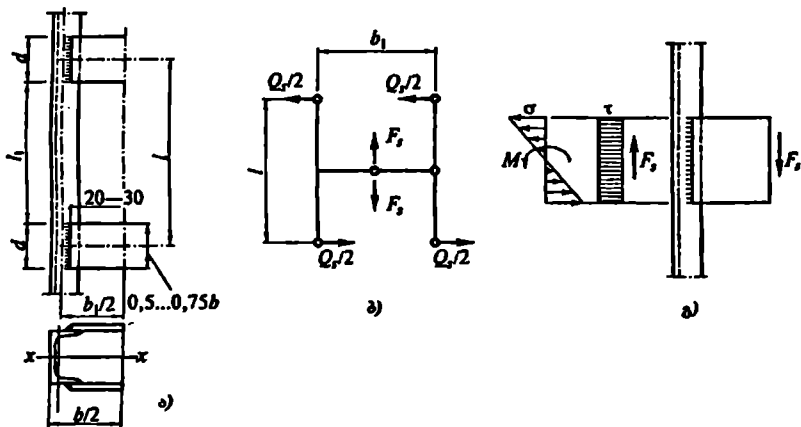
2)-ნაკერის ლითონის საზღვარზე

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{ვზ}}^2 - \tau_{\text{ვზ}}^2} \leq R_w$$

სადაც  $\sigma_{\text{ვზ}} = M_s/W_{\text{ვზ}}$ ;  $\tau_{\text{ვზ}} = F_s/A_{\text{ვზ}}$ ;  $W_{\text{ვზ}} = \beta_z k_z l_w^2/6$ ;

$A_{\text{ვზ}} = \beta_z k_z l_w F_s$ .

იმ შემთხვევაში, როცა სვეტის შტოები შეერთებულია გისოსით, გისოსის ანგარიში ტარდება ისევე, როგორც წამწის გისოსის ანგარიში.



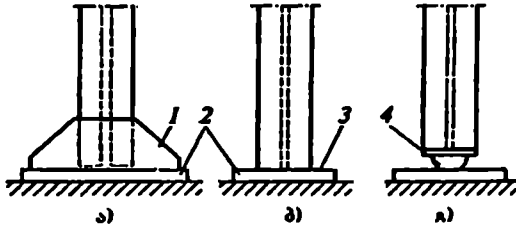
ნახ. 7.16. თამასების საანგარიშო სქემა: ა)-კონსტრუქციული სქემა; ბ)-საანგარიშო ფრაგმენტი; გ)-თამასის შეერთება.

### 7.6. სვეტის ბაზები

სვეტის ბაზის დანიშნულება არის ძალების სვეტიდან საძირკველზე ან ქვემოთ მდებარე კონსტრუქციაზე თანაბრად გადაცემა-განაწილება.



ბაზის კონსტრუქცია უნდა შეესაბამებოდეს საანგარიშო სქემაში მიღებული სვეტის საძირკველში ჩამაგრების ხერხს. სახსრულად ჩამაგრებისას შემთხვევითი მომენტების მოქმედებისას ბაზას უნდა შეეძლოს საძირკელის მიმართ რამდენადმე მობრუნება, ხისტი ჩამაგრებისას აუცილებელია უზრუნველყოფილი იქნას ისეთი ჩამაგრება, რომელიც არ დაუშვებს მობრუნებას.



ნახ. 7.17. სვეტების ბაზის ტიპები:

ა) — ტრავერსით; ბ) — ფრეზირებული ტორსით; გ) — სახსრული ჩამაგრებისას; 1-ტრავერსი; 2-ფილა; 3-გაფრეზება; 4-მაცენტრებული ფილა.

კონსტრუქციული გადაწყვეტით ბაზები არსებობს სამი ტიპის ტრავერსით (ნახ. 7.17,ა), უტრავერსოდ (ნახ. 7.17,ბ), და სახსრული ელემენტით (ნახ. 7.17,გ).

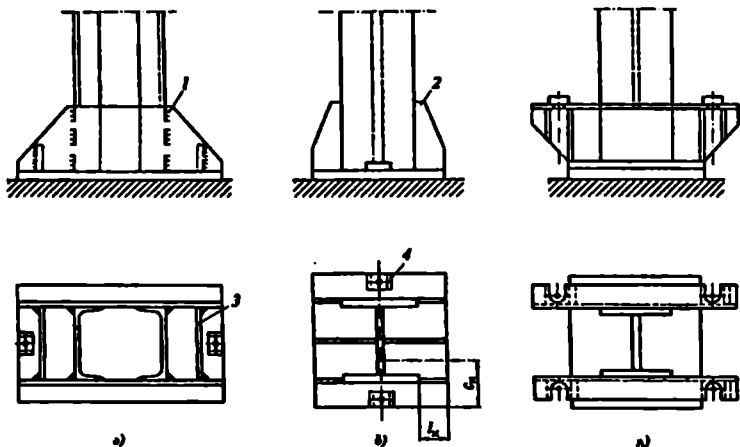
სვეტის ბაზა შედგება საყრდენი ფილის, ტრავერსის, სიხისტის წიბოების, ზოგჯერ დიაფრაგმის ფურცლებისა და საანკერო ჭანჭიკებისაგან (ნახ. 7.18).

სვეტებში 4000-5000 კნ. დატვირთვებისას ხშირად გამოიყენება ბაზები ტრავერსით. ტრავერსი ღებულობს დატვირთვას სვეტის ღეროდან და გადასცემს საყრდენ ფილას. იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იქნას ფილის თანაბარი წნევა საძირკველზე, ფილის სიხისტეს ადიდებენ დამატებითი წიბოებით, რომლებიც მოთავსებული არიან ტრავერსის შტოებს შორის (ნახ. 7.18,ა). მსუბუქ სვეტებში ტრავერსის ფუნქციას ასრულებს კონსოლური წიბოები; რომლებიც მიღუღებულია სვეტის ღეროსთან და საყრდენ ფილასთან (ნახ. 7.18,ბ). (ნახ. 7.18,გ)-ზე ნაჩვენებია ბაზა სახსრული ჩამაგრებით. ასეთი ჩამაგრებები ზუსტად პასუხობენ საანგარიშო სქემას, მხოლოდ სვეტის მონტაჟის სირთულის გამო გამოიყენება იშვიათად.

ნახ. 7.18,ბ-ზე ნაჩვენებია მთლიანკედლიანი სვეტის ბაზის კონსტრუქცია, ხოლო გამჭოლკედლიანი სვეტის-ნახ. 7.18,ა-ზე არსებობს ბაზის კონსტრუქციის სხვა ვარიანტებიც.

ტრავერსისა და სიხისტის წიბოების ფურცლების სისქე აიღება  $t = (12 + 16) მმ$ . ბაზა საძირკველში მაგრდება ორი საანკერო ჭანჭიკით. ჭანჭიკები აიღება გაანგარიშების გარეშე სახსრული

ჩამაგრებისას  $d = 20 + 30$  მმ, ხოლო ხისტი ჩამაგრებისას  $d = 24 + 36$  მმ. მონტაჟის დროს, სვეტის საპროექტო მდგომარეობაში დადგმის მიზნით, ფილის ნახვრეტები ტანჯიკის დიამეტრზე  $(2+3)$  მმ-ით მეტი უნდა იყოს. სვეტის ბაზა იდგმება  $(2+3)$  სმ სისქის, საძირკვლის ზედაპირის გამასწორებელი ცემენტის სხნარის ფენაზე.



ნახ. 7.18. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტების ბაზები: ა)-ტრავერსებით; ბ)-თამასებით; გ)-სვეტის საძირკველში ხისტად ჩამაგრებისას; 1-ტრავერსი; 2-კონსოლური წიბო; 3-ღიაფრაგმა; 4-ანკერის საყელური.

სვეტის გაანგარიშება იწყება საყრდენი ფილის ზომების განსაზღვრით. ფილის საჭირო ფართობი გამოითვლება საძირკვლის მასალის საანგარიშო წინაღობის მიხედვით

$$A_p = \frac{N}{\phi R_{b,loc}} \quad (7.35)$$

სადაც  $N$  არის სვეტის ღერძული ძალა, სვეტის ბაზის დონეზე;  $A_p$ -საყრდენი ფილის ფართობი;  $\phi$ -კოეფიციენტი მიღებულია ერთის ტოლად, როცა ფილის ქვეშ არის თანაბრად განაწილებული დატვირთვა;  $R_{b,loc}$ -ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ადგილობრივ კუმშვაზე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით  $R_{b,loc} = \alpha \phi_b R_b$ ;  $R_b$  - ბეტონის პრიზმული წინაღობა.

ჩვეულებრივ საძირკვლის ზედაპირის ფართობი  $A_f$  უმნიშვნელოდ აჭარბებს საყრდენი ფილის ფართობს  $A_p$ , ხოლო საძირკველში ბეტონის კლასს დებულობენ B25-ზე ნაკლებს. საანგარიშო წინაღობის  $R_b$ -ს მნიშვნელობები კლასის შესაბამისად მოყვანილია ცხრილი 7.4-ში. ამ პირობების გათვალისწინებით შეიძლება მივიღოთ:

$$\alpha = 1; \quad \varphi_b = \sqrt[3]{\frac{A_f}{A_{pe}}}; \quad R_{b,loc} = \sqrt[3]{\frac{A_f}{A_{pe}}} R_b. \quad (736)$$

ცხრილი 7.4

ბეტონის საანგარიშო წინაღობა

სიმტკიცის კლასი	B 7,5	B 10	B 12	B 15	B 20
საანგარიშო წინაღობა კნ/სმ <sup>2</sup>	0,45	0,60	0,75	0,85	1,15

$A_p$ -განსაზღვრის შემდეგ საყრდენი ბაზის სიგრძე განისაზღვრება ტოლობით

$$L = \frac{A_p}{B_p} \quad (737)$$

სადაც  $B_p$  არის საყრდენი ფილის სიგანე და წინასწარ ინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებით

$$B_p = b_f + 2e \quad (738)$$

$b_f$  - სვეტის სარტყლის სიგანე;  $e$  - ტრავერსიდან ფილის თავისუფალი გადმონაშვერი და აიღება (80-140) მმ.

ფილის სისქის განსაზღვრისათვის მას იხილავენ, როგორც ფირფიტას, რომელიც დაყრდნობილია ტრავერსებზე და სიხისტის წიბოებზე. ფილაზე მოსულ დატვირთვად დებულობენ საძირკვლის რეაქციულ თანაბრად განაწილებულ დაწოლას, როგორც (ნახ. 7.19)-დან ნათლად ჩანს, ტრავერსით და სიხისტის წიბოებით ფილა იყოფა ცალკეულ უბნებად. უბნები მუშაობენ როგორც ოთხი (უბანი 1), ისე სამი (უბანი 2) კონტურით დაყრდნობილი და აგრეთვე კონსოლურ (უბანი 3 და 4) ფილებად. ცალკეულ უბნებში მოქმედი მღუნავი მომენტების განსაზღვრისათვის უბნიდან გამოყოფენ 1 სმ სიგანის ზოლს და განიხილავენ მას როგორც ორ საყრდენზე დაყრდნობილ კოჭს. ასეთი საანგარიშო სქემის

მიხედვით კოჭის განიკვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტები განისაზღვრება გალიორკინის მიერ შედგენილი ფორმულებით და ცხრილებით. მაგალითად: ოთხი კონტურით დაყრდნობილი ფირფიტებისათვის

$$M = \alpha q a_1^2; \quad (7.39)$$

სამი კონტურით დაყრდნობილი ფირფიტებისათვის

$$M = \beta q a^2; \quad (7.40)$$

### ცხრილი. 7.5.

$b/a$  ოთხ კონტურზე დაყრდნობილი ფილის ღუნვაზე გაანგარიშებისათვის საჭირო  $\alpha$  კოეფიციენტები.

$b/a$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$\alpha$	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081
$b/a$	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2-ზე მეტი
$\alpha$	0,086	0,091	0,094	0,098	0,1	0,125

### ცხრილი. 7.6.

სამ კონტურზე დაყრდნობილი ფილის ღუნვაზე გაანგარიშებისათვის საჭირო  $\beta$  კოეფიციენტები.

$b_1/a_1$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\beta$	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107
$b_1/a_1$	1,0	1,2	1,4	2	2-ზე მეტი
$\beta$	0,112	0,120	0,126	0,132	0,133

გალიორკინის მიერ მიღებული  $\alpha$  და  $\beta$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილი 7.5 და 7.6-ში.  $\alpha$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია უფრო დიდი მხარის  $b$ -ს უფრო ნაკლებ მხრესთან  $a$ -სთან ფარდობაზე;  $\beta$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია ფირფიტის ჩამაგრებული მხარის  $b_1$ -ის ფარდობაზე თავისუფალი მხარის- $a_1$ -ის მიმართ;  $a$  და  $b$  ზომები აიღება ტრავერსის შტოებისა და ნაწიბურებს შორის მანძილის ტოლად.

როცა გვერდების ფარდობა  $b/a > 2$ , საანგარიშო მომენტი განისაზღვრება ისეთივე ფორმულით, როგორც ერთმალაინი კოჭოვანი ფილის შემთხვევაში

$$M = \frac{qa^2}{8}$$

როცა გვერდების ფარდობა  $a_1/b_1 > 2$ , ფილა იანგარიშება, როგორც კონსოლური.

ფილის ორ კონტურზე დაყრდნობისას, მარაგის გაზრდის მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ (7.39) ფორმულა. ამისათვის უნდა გამოვიყენოთ  $a_1$  მანძილი-კონტურებს შორის დიაგონალი,  $b_1$  მანძილი ტოლი კუთხიდან დიაგონალამდე (ნახ. 7.19).

ფილის კონსოლურ ნაწილში მღუნავი მომენტი ტოლია

$$M = qc^2/2 \quad (7.41)$$

სადაც  $q$  საძირკველის რეაქციული წნევაა, კნ/სმ.

$$q = \sigma_f b = \frac{N}{A_f} b \quad (7.42)$$

$$b = 1 \text{ სმ.}$$

საყრდენი ფილის სისქე განისაზღვრება უბნის უდიდესი მღუნავი მომენტის საშუალებით

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_p} = \frac{\sigma \cdot M_{\max}}{t_p^2} \leq R_y \gamma_c$$

საიდანაც 
$$t_p = \sqrt{\frac{6 M_{\max}}{R_y \gamma_c}} \quad (7.43)$$

ფილის სისქედ ღებულობენ 20-40 მმ. ზომის ფარგლებში.

სვეტის ღეროს ძალვა ტრავერს გადაეცემა შედუღების ნაკერების საშუალებით. ტრავერსის ფურცლის ზომების დადგენა წარმოებს ტრავერსისა და სვეტის ღეროს შემავრთებელი შეეული შედუღების ნაკერის სიგრძის მიხედვით. თუ ნაკერის სიმაღლეს ( $k_f$ ) წინასწარ დავნიშნავთ, მაშინ ერთი შეეული ნაკერის სიგრძე განისაზღვრება შემდეგი ცნობილი ფორმულებით:

$$l_w' = \frac{N}{4 \beta_f k_f \gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}} \quad (7.44)$$

$$l_w'' = \frac{N}{4 \beta_z k_f \gamma_{wz} \gamma_c R_{wz}}$$

$l_w'$  და  $l_w''$ -დან ნაკერის სიგრძედ აიღება უდიდესი ( $\max l_w$ ). ნაკერის სიგრძის მიხედვით, ტრავერსის სიმაღლე

$$h_r = \max l_w + 1 \text{ სმ}$$

ტრავერსის ფურცლის სისქე კონსტრუქციული მოსაზრებით აიღება

$$l_{rr} = (12 + 16) \text{ მმ}$$

ტრავერსის ფურცლის სიმტკიცის შემოწმების მიზნით, ტრავერსი განიხილება როგორც ორკონსოლიანი კოჭი (ნახ. 7.19) კონსოლის ჩამაგრების სიბრტყეში მოქმედი მღუნავი მომენტი გამოითვლება ფორმულით

$$M_{rr} = \frac{q_{rr} l^2}{2} \quad (7.45)$$

სადაც

$$q_{rr} = \sigma_{rr} \frac{B_p}{2} = \frac{NB_p}{2A_p}$$

$M_{rr}$ -ის განსაზღვრის შემდეგ ტრავერსის ფურცლის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{M_{rr}}{W_{rr}} \leq R_y \gamma_c \quad (7.46)$$

ტრავერსის განივკვეთის წინაღობის მომენტი

$$W_{rr} = \frac{l_{rr} h^2}{6} \quad (7.47)$$

შედულების ნაკერების სიმაღლე, რომლითაც სიხისტის წიბოები უერთდება ტრავერსის ფურცელს, გამოითვლება ფორმულით:

$$k_f' = \frac{N_s}{2\beta_f (h_r - 1) \gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}} \quad (7.48)$$

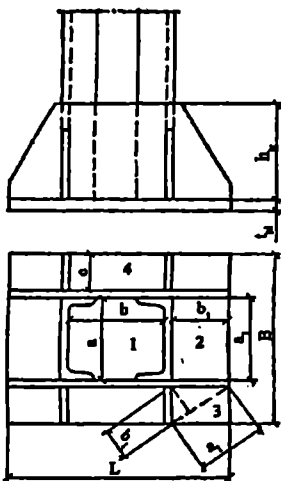
$$k_f'' = \frac{N_s}{2\beta_z (h_r - 1) \gamma_{wz} \gamma_c R_{wz}}$$

სადაც  $N_s$  სიხისტის წიბოზე მოქმედი საძირკვლის რეაქციული ძალაა.

$$N_s = (l - l_{rr}) (h/2 - l_1) \sigma_p; \quad (7.49)$$

$$\sigma_p = \frac{N}{A_p}$$

$k_f'$  და  $k_f''$ -დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი ( $\max k_f$ ).



ნახ. 7.19. სვეტის ბაზის დაყოფა კონსტრუქციულად

შედულების ნაკერის სიმაღლე, რომლითაც ტრავერსები და სიხისტის წიბოები ედულება საყრდენ ფილას

$$k_f' = \frac{N_s}{\beta_f \sum l_w \gamma_w \gamma_c R_w} \quad (7.50)$$

$$k_f'' = \frac{N_s}{\beta_z \sum l_w \gamma_w \gamma_c R_w}$$

სადაც  $\sum l_w$  ნაკერის სიგრძეა.

$k_f'$  და  $k_f''$ -დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი ( $\max k_f$ ).

### 7.7. სვეტის სათავის კონსტრუქცია

კოჭოვანი გადახურვის სვეტის სათავის კონსტრუქცია ნაჩვენებია 7.20 ნახაზზე. სათავის კონსტრუქცია ძირითადად შედგება ფოლადის ფილისაგან, რომელიც ქმნის თარაზულ მოედანს კოჭების დასაყრდნობად.

საყრდენი ფილა ედულება სვეტის ზედა ბოლოს მთელი კონტურით. შედულების ნაკერის სიმაღლე განისაზღვრება (4.10, 4.11) ფორმულებით:

$$k_f' = \frac{N}{\beta_f \sum l_w \gamma_w \gamma_c R_w} ;$$

$$k_f'' = \frac{N}{\beta_z \sum l_w \gamma_w \gamma_c R_w} ,$$

სადაც  $N$  არის სვეტზე მოქმედი ნორმალური ძალა,

$\sum l_w$ -სვეტის სათავის განივეკეთის კონტურის სიგრძე

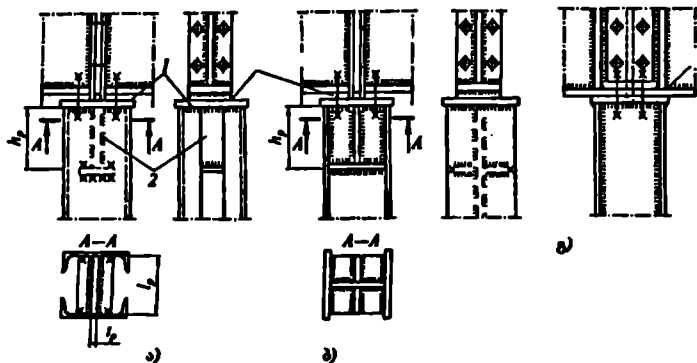
$k_f'$  და  $k_f''$ -დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი  $\max k_f$ .

ჩვეულებრივ, საყრდენი ფილის სისქე აიღება კონსტრუქციული მოსაზრებით (20+30) მმ-მდე თუ საჭიროა მისი სიმტკიცის შემოწმება, მაშინ ფილის განივეკეთში მოქმედი მღუნავი მომენტი განისაზღვრება ისე, როგორც სამი გვერდით დაყრდნობილ ფილებში (ნახ. 7.20,ა,ბ). ფილის უბნებში მოქმედი მომენტები გამოითვლება გალიორკინის ცხრილებით (7.39). გისოსურკედლიანი სვეტებში სვეტის სათავეს აძლიერებენ წყვილი თამასით და შვეული დიაფრაგმით (ნახ. 7.20,ბ). დიაფრაგმა განლაგებულია სვეტის შტოებს შორის კოჭის კედლის სიბრტყეში. შედულების ნაკერის სიმაღლე, რომლითაც დიაფრაგმა უერთდება სვეტის შტოებს, განისაზღვრება (4.10, 4.11) ფორმულებით:

$$\kappa_f' = \frac{F_A}{4\beta_f(h_p - 1)\gamma_{wf}\gamma_c R_{wf}}, \quad \kappa_f'' = \frac{F_A}{\beta_z(h_p - 1)\gamma_{wz}\gamma_c R_{wz}}, \quad (7.51)$$

სადაც  $h_p$ -დიაფრაგმის სიგრძეა

$\kappa_f'$  და  $\kappa_f''$ -დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი  $\max \kappa_f$ .



ნახ. 7.20. სვეტის სათავეის კონსტრუქცია კოჭების ზემოდან დაყრდნობისას: ა)-გისოსურკედლიანი სვეტის სათავე; ბ),გ)-მთლიანკედლიანი სვეტის სათავე; 1-საყრდენი ფილა; 2-საყრდენი წიბო.

როდესაც მთავარი კოჭის რეაქცია  $F_A > (1000 + 1500)$  კნ-ზე, კოჭი სვეტის სათავეს ეყრდნობა ქვედა სარტყელით (ნახ. 7.20, აგ). ასეთი კონსტრუქციის დადებითი მხარეა მისი სიმარტივე და საყრდენ ფილაზე კოჭის რეაქციის თანაბარი განაწილება, უარყოფითი კი-სვეტი მუშაობს ექსცენტრულ კუმშვაზე (დროებითი დატვირთვის ერთ მალზე განლაგების შემთხვევაში) მუშაობა. ამიტომ, როდესაც  $F_A \leq 1000$  კნ, კოჭის საყრდენი რეაქციის გადაცემა სვეტის სათავეზე წარმოებს კოჭის საყრდენი სიხისტის წიბოს საშუალებით (ნახ. 7.20, ბ). რეაქციის ცენტრალურად გადაცემის მიზნით, საყრდენი წიბო კოჭის ქვედა სარტყელიდან დაცილებულია (10+15) მმ-ით. კოჭის შემთხვევით გადაადგილების საწინააღმდეგოდ, იგი სვეტის სათავეს ემაგრება სამონტაჟო ჭანჭიკებით ( $d = 10 + 12$  მმ).

თუ კოჭი ეყრდნობა სვეტს გავერდიდან (ნახ. 7.21), ვერტიკალური რეაქცია გადაეცემა კოჭის საყრდენი წიბოთი საყრდენ მაგიდას, რომელიც მიდუღებულია კოლონის თაროზე. საყრდენ მაგიდა უნდა გაირანდოს. მაგიდის სისქეს ლებულობან 20-



40 მმ.-ს. მაგიდის სისქე დაახლოებით 10 მმ.-ით მეტი უნდა იყოს საყრდენ წიბოზე.

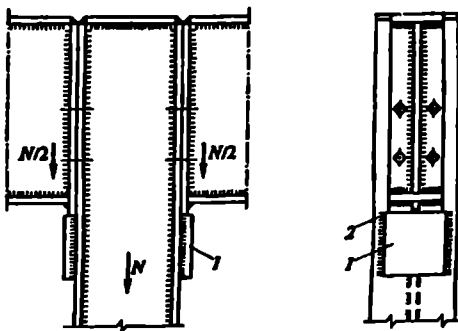
მაგიდის კოლონასთან მისადუღებელი ნაკერების სიგრძეებს ანგარიშობენ ფორმულებით:

$$\tau_w = \frac{1,3N}{\beta_f \kappa_f l_w} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \text{ თუ } \beta_f R_{wf} < \beta_z R_{wz} \quad (7.52)$$

ან

$$\tau = \frac{1,3N}{\beta_z \kappa_f l_w} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c; \text{ თუ } \beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz} \quad (7.53)$$

კოეფიციენტი 1,3 ითვალისწინებს მაგიდის და საყრდენი წიბოს არაპარალელურ დაყენებას დამზადების უზუსტობის გამო. კოჭი საყრდენი წიბოებით კოლონის თაროზე დამაგრებული უნდა იქნას ჭანჭიკებით, ისე რომ ნახევრეტის დიამეტრი 2-3 მმ-ით უნდა იყოს მეტი ჭანჭიკის დიამეტრზე.



ნახ. 7.21. კოჭის სვეტზე გვერდიდან დაყრდნობა: 1-საყრდენი მაგიდა; 2-კოჭის საყრდენი წიბოს გვერდი-გაირანდოს.

## წამწეები

## 8.1. წამწეების კლასიფიკაცია და მისი გამოყენების არე

წამწე (ფერმა) ეწოდება ღეროების სისტემას (ძირითადად წრფივხაზოვანს), რომლებიც შეერთებული არიან ერთმანეთთან კვანძებში და სახსრული კვანძებით ქმნიან გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას (კონსტრუქციას). წამწის კონსტრუქციაში ძალეები მოდებულია კვანძებში და რეალურ პირობებში არსებულ კვანძების სიხისტეს უმნიშვნელო გავლენა აქვს კონსტრუქციის მუშაობაზე. პირველი მიახლოებით ის შეიძლება ჩავთვალოთ სახსრულად. ასეთ შემთხვევაში წამწის ყველა ღეროები დებულობენ მხოლოდ ღერძული გაჭიმვის ან კუმშვის ძალებს. კოჭებთან შედარებით ეს პირობები იძლევა უფრო ხელსაყრელ საშუალებას იმისა, რომ მასალა იქნეს მაქსიმალურად გამოყენებული.

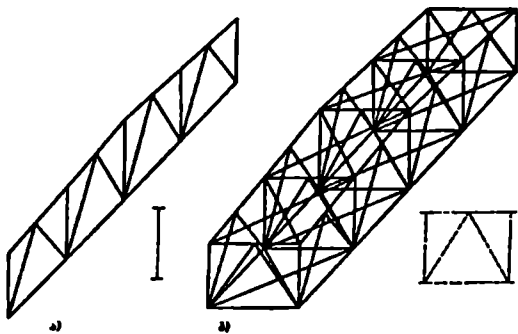
მასალაზე დანახარჯების თვალსაზრისით წამწეები კოჭებთან შედარებით უფრო ეკონომიურია, მხოლოდ აქვთ უფრო მეტი შრომის დანახარჯები დამზადებაზე.

წამწეები არსებობს ბრტყელი (ყველა ღეროები მდებარეობენ ერთ სიბრტყეში) და სივრცითი ფორმის.

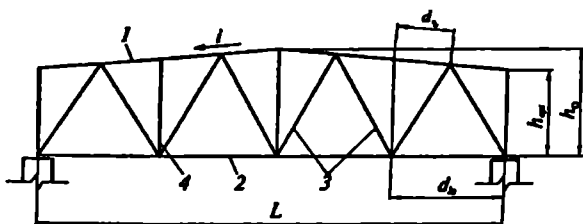
ბრტყელ წამწეებს შეუძლიათ დატვირთვა მიიღონ ძალებიდან, რომლებიც განლაგებული არიან თავიანთ სიბრტყეში. ისინი საჭიროებენ კავშირებითა და სხვა კონსტრუქციული ელემენტებით ჩამაგრებას, რათა არ მოხდეს მათი გასვლა თავისი სიბრტყიდან. რაც შეეხება სივრცით წამწეებს, ისინი ქმნიან სივრცით ხისტ ბლოკს, რომელსაც შეუძლია მიიღოს დატვირთვა ძალების ნებისმიერი მიმართულებით (ნახ. 8.1)

წამწეების ძირითად ელემენტებს წარმოადგენს სარტყლები, რომლებიც ქმნიან წამწის კონტურს და გისოსი, რომელიც შედგება ირიბანებისა და დგარებისაგან (ნახ. 8.2) ელემენტების კვანძებში შეერთება ხორციელდება ან ერთი ელემენტის სხვასთან უშუალო მიერთებით (ნახ. 8.3,ა), ან საკვანძო ფურცლების გამოყენებით (ნახ. 8.3,ბ). იმისათვის რომ შემცირებული იქნეს კვანძებში მომენტი, ახდენენ წამწის ელემენტების დაცენტრებას სიძიმის ღერძების გასწვრივ.

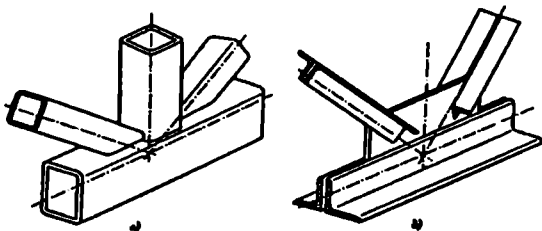
სარტყლის მეზობელ კვანძებს შორის მანძილს პანელი ეწოდება ( $d_4$ -ზედა სარტყლის პანელი;  $d_1$ -ქვედა სარტყლის პანელი), საყრდენებს შორის მანძილს კი, მალი ( $l$ ).



ნახ. 8.1. ბრტყელი (ა) და სივრცითი (ბ) წამწეები.



ნახ. 8.2. წამწის ელემენტები:  
 1-ზედა სარტყელი; 2-ქვედა სარტყელი;  
 3-ირიბანები; 4-ღგარები.



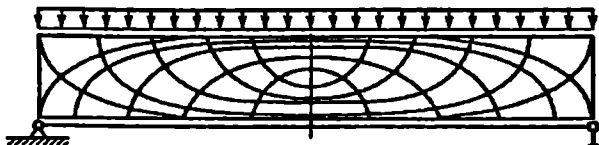
ნახ. 8.3. წამწის კვანძები:  
 ა)-ელემენტების უშუალო მიერთებით; ბ)-საკვანძო ფურცლებით.

წამწის სარტყლები ძირითადად მუშაობენ გრძივ ძალაზე და მღუნავ მომენტზე (კოჭის სარტყლების ანალოგიურად); წამწის გისოსი ძირითადად ღებულობს განივ ძალას. ის ასრულებს კოჭის კედლის ფუნქციას.

ფოლადის წამწები არიან ფართოდ გაერცვლებული მშენებლობის სხვადასხვა მიმართულებებში: სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობების გადახურვებსა და დახურვებში ხიდებში, ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენებში, კავშირგაბმულობის ობიექტებში, ამწესატრანსპორტო მანქანებში, ჰიდროტექნიკურ ჩამკეტებში და ა.შ.

დანიშნულებისა და დატვირთვების მიხედვით წამწებს შეიძლება ჰქონდეს სხვადასხვა კონსტრუქციული ფორმები. მათი კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა ნიშნებით:

სტატიკური სქემით: კოჭოვანი (ტრილი, უჭრი, კონსოლური), თაღოვანი, ჩარჩოვანი, კომბინირებული (ნახ. 8.5).



ნახ. 8.4. კოჭში მთავარი ძაბვების ტრაექტორიები.

სარტყლების მოხაზულობით: წამწები პარალელური სარტყლებით, ტრაპეციული, სამკუთხა, პოლიგონალური, სეგმენტური (ნახ. 8.6).

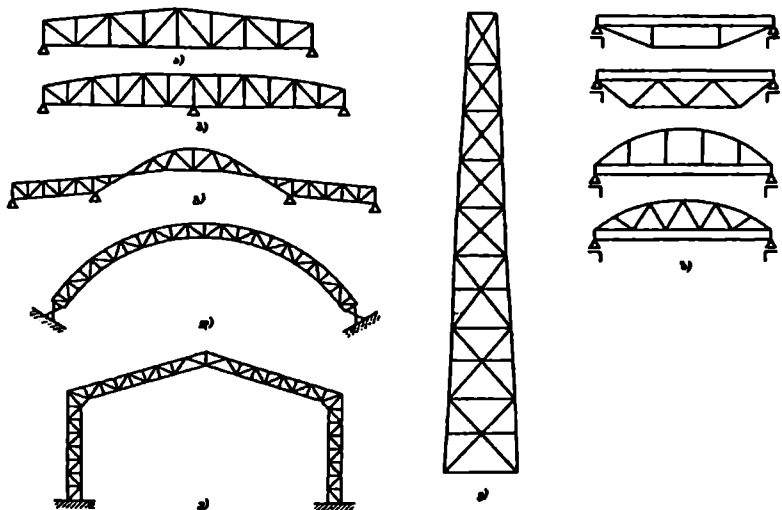
გისოსის სისტემით: სამკუთხა ირიბნებიანი, ჯვარედინი, რომბული და სხვა (ნახ. 8.7).

კვანძებში ელემენტების შეერთების მიხედვით-შედულებული, მოქლონური, ჭანჭიკებით.

მაქსიმალური ძალვის მიხედვით-მსუბუქი (ერთკედლიანი კვეთებით უბრალო გაგლინული პროფილებით  $N \leq 3000$  კნ) და მძიმე (ორკედლიანი ელემენტები-შედგენილი პროფილებით  $N > 3000$  კნ).

წამწესა და მთლიანკედლიან კოჭს შორის შუალედური მდგომარეობა უჭირავს კომბინირებულ სისტემებს. ისინი შედგება კოჭისაგან, რომელიც ქვემოდან გამაგრებულია შპრენგელით ან ირიბნებით, შესაძლებელია ასევე კოჭი გამაგრებული იყოს ზემოდან თალით. გამამაგრებელი ელემენტები ამცირებენ კოჭში მღუნავ მომენტს და ამაღლებენ სისტემის სიხისტეს. ასეთ

სისტემაში არსებული ელემენტების მცირე რიცხვის გამო შპრენგელური სისტემა ადვილია დასამზადებლად. ეს სისტემა რაციონალურია მიხედვით კონსტრუქციებში და კონსტრუქციებში, რომელზეც მოქმედებს მოძრავი დატვირთვა.



ნახ. 8.5. წამწის სისტემები:

- ა)-კოჭოვანი ტრილი; ბ)-უჭრი; გ)-კონსოლური;  
 დ)-თაღოვანი; ე)-ჩარჩოვანი;

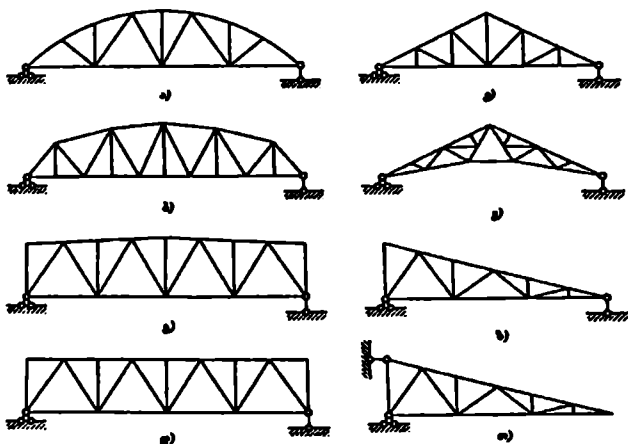
წამწებისა და კომბინირებული სისტემის ეფექტურობა ამდღედება, თუ გამოვიყენებთ მათში წინასწარი დაძაბვის იდეას.

ამწისქვეშა კონსტრუქციების წამწებში და კომბინირებულ სისტემებში, სადაც კონსტრუქციის მასის შემცირება იძლევა საგრძნობ ეკონომიურ ეფექტს, შეიძლება გამოყენებული იქნეს ალუმინის შენადნობები.

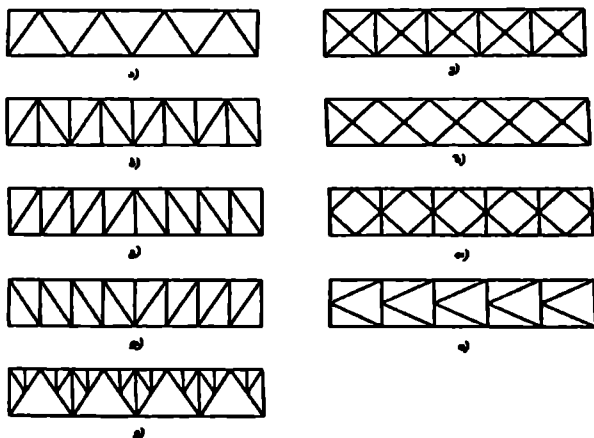
პარალელურ სარტყელებიანი წამწის გისოსის ელემენტებში ძალების ნიშნები ("მინუსი"-კუმშვა, "პლიუსი"-გაჭიმვა) შეიძლება განისაზღვროს კოჭის ანალოგიურად.

თუ ავაგებთ კოჭებში მთავარი ძაბვების ტრაექტორიებს (ნახ. 8.4), შევამჩნევთ, რომ ირიბანები რომლებიც მიმართული არიან მთავარი გამჭიმავი ძაბვების წირების მიმართულებით მუშაობენ

გაჭიმვაზე. ხოლო ირიბანები რომლებიც მიმართული არიან მთავარი მკუშავი ძაბვების წირების მიმართულებით კუმშვაზე.



ნახ. 8.6. წამწის სარტყელების მოხაზულობა:  
 ა)-სეგმენტური; ბ)-პოლიგონალური; გ)-ტრაპეციული;  
 დ)-პარალელური სარტყელებით; ე)-სამკუთხა.



ნახ. 8.7. წამწეების გისოსების სისტემა:  
 ა)-სამკუთხა; ბ)-სამკუთხა დამატებითი დგარებით; გ)-ირიბანებიანი  
 აღმავალი ირიბანებით; დ)-ირიბანებიანი დაღმავალი ირიბანებით;  
 ე)-შპრენგელური; ვ)-ჯვარედინი; ზ)-გადაჯვარედინებული;  
 თ)-რომბისებური; ი)-ნახევრადირიბანებიანი.

## 8.2. წამწეების კონსტრუქციის დეტალური დაგეგმარება

8.2.1. წამწის სტატიკური სქემისა და მოხაზულობის შერჩევა. სტატიკური სქემისა და მოხაზულობის შერჩევა წარმოადგენს კონსტრუქციის დაპროექტების პირველ ეტაპს. ის დამოკიდებულია დანიშნულებაზე და არქიტექტურულ კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე და ხორციელდება შესაძლო ვარიანტების შედარების საფუძველზე.

შენობების გადახურვებში, ხიდებში და სხვა მსგავს ნაგებობებში საკმაო გამოყენება კპოვა კოჭოვანმა ჭრილმა სისტემებმა. არ არის რთული მათი დამზადება და მონტაჟი, თუმცა მასალის ხარჯი აქვს მნიშვნელოვანი.

ორი და მეტი მალლიანი ნაგებობების გადახურვისას გამოიყენება უჭრი წამწეები. ლითონის ხარჯის თვალსაზრისით ასეთი სისტემები ეკონომიურია და გააჩნიათ დიდი სიხისტე, რაც იძლევა საშუალებას შემცირებული იქნეს მათი სიმაღლე. თუმცა, ისევე როგორც ყველა სტატიკურად ურკვევ სისტემებში, უჭრ წამწეებში საყრდენების ჯდომისას მათში წარმოიქმნება დამატებითი ძალები, ამიტომ სუსტი ფუძეების არსებობისას ასეთი სისტემის წამწეები არ გამოიყენება. უჭრი წამწეების მონტაჟი არის რთული.

ჩარჩოვანი წამწეები ეკონომიურია მასალაზე დანახარჯების თვალსაზრისით და აქვთ შედარებით მცირე გაბარიტული ზომები.

ა) ჩარჩოვანი სისტემის მონტაჟი არის რთული. მათი გამოყენება რაციონალურია დიდმალიან ნაგებობებში.

მართალია თაღოვანი სისტემების გამოყენება იძლევა მასალის მნიშვნელოვან ეკონომიას, მაგრამ მას მიეყვარათ ნაგებობის მოცულობის გადიდებასთან და ზედაპირის შემოსაზღვრელი კონსტრუქციების გაზრდასთან. მათი გამოყენება ძირითადად განპირობებულია არქიტექტურული მოთხოვნებით.

კონსოლური წამწეები გამოიყენება კიდულებში, კოშკებში, ელექტრო-გადამცემი ხაზების საყრდენებში და ა.შ.

წამწის მოხაზულობა უნდა შეესაბამებოდეს მღუნავი მომენტების ეპიურის მოხაზულობას. ასევე გასათვალისწინებელია სახურავის მასალა, წყლის გადაყვანისათვის საჭირო აუცილებელი დახრა, კოლონასთან შეერთების სახე (ხისტი და სახსრული).

წამწის ხარტყლების მოხაზულობა ძირითადად განსაზღვრავს მის ეკონომიურობას. თეორიულად მასალის ხარჯის თვალსაზრისით ის წამწეებია ეკონომიური, რომელთა ხარტყლების მოხაზულობა შეესაბამება მომენტების ეპიურას. ერთმალიანი კოჭოვანი სისტემისათვის თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას ეს არის სეგმენტური წამწე პარაბოლური მოხაზულობის

სარტყელით (ნახ. 8.6,ა). მხოლოდ სარტყელის მრუდწირული მოხაზულობა მნიშვნელოვნად ზრდის შრომატევადობას დამზადებაზე, ამიტომ ასეთი წამწევები გამოიყენება ძალიან იშვიათად. უფრო მისაღებია პოლიგონური მოხაზულობა (ნახ. 8.6,ბ), რომელიც ახლოს არის მომენტების ეპიურასთან. ეს მისაღებია მძიმე დიდმალიან წამწევებში, რადგან მისი სარტყელის ცალკეული ელემენტი უნდა აიკრიბოს მოედანზე, ტრანსპორტირების პირობების გამო.

მსუბუქი წამწევებისათვის პოლიგონური მოხაზულობა არარაციონალურია, რადგან კვანძების გართულება არ გამოისყიდება ფოლადის უმნიშვნელო ეკონომიით.

ტრაპეციული მოხაზულობის წამწევები (ნახ. 8.6,გ), თუმცა არც ისე ძალიან შეესაბამებიან მომენტების ეპიურას, აქვთ კონსტრუქციული უპირატესობა, ყველაზე უფრო მეტად კვანძების გამარტივების საფუძველზე. ამას გარდა გადახურვაში ასეთი წამწის გამოყენება იძლევა საშუალებას შეიქმნას ხისტი საყრდენი კვანძი, რაც თავის მხრივ ამაღლებს ნაგებობის სიხისტეს.

წამწევები პარალელური სარტყლებით (ნახ. 8.6,გ) თავისი მოხაზულობით მართალია არ ემთხვევა მომენტების ეპიურას, მაგრამ გისოსის ელემენტების თანაბარი სიგრძეები, კვანძების ერთნაირი სქემები, ელემენტების ყველაზე მეტჯერ განმეორება და მათი უნიფიცირების საშუალება იძლევა მათი დამზადების ინდუსტრიალიზაციის პირობას. ამის გამო პარალელურ-სარტყლებიანი წამწევები გახდნენ სამრეწველო შენობების გადახურვის ძირითად ტიპად.

წამწევები სამკუთხა მოხაზულობით (ნახ. 8.6,ე-თ) რაციონალურია გამოყენებულ იქნეს კონსოლურ სისტემებში, ასევე მალის შუაში მოდებული შეყურსული ძალის მოქმედებისას (ნივნიეკეშა წამწე). განაწილებულ დატვირთვისას სამკუთხა წამწევებს აქვთ მასალის გადაჭარბებული ხარჯი. მათ აქვთ ასევე კონსტრუქციული ნაკლები, კერძოდ, საყრდენი მახვილი კვანძი არის რთული და იძლევა მხოლოდ კოლონასთან სახსრული შეერთების შესაძლებლობას. შუა ირიბნები მიიღება ძალიან გრძელი და გვიწევს მათი კვეთების შერჩევა არა საჭირო ფართობის მიხედვით, არამედ ზღვრული მოქნილობის მიხედვით, რაც იწვევს მასალის გადახარჯვას. თუმცა, როცა არის საჭირო ცალმხრივი თანაბარი განათების მოწყობა (შედური გადახურვები) გამოიყენება ასეთი წამწევები.

**8.2.2. წამწევების გენერალური ზომების დადგენა.** წამწის მალის განსაზღვრა. მალი ანუ წამწის სიგრძე უმეტეს შემთხვევაში განისაზღვრება საექსპლუატაციო მოთხოვნებით და შენობის



დაგეგმარების პირობით. ის შეიძლება იქნეს რეკომენდებული კონსტრუქტორის მიერ.

*სამკუთხა წამწის სიმაღლის განსაზღვრა.* სამკუთხა წამწეებში (ნახ. 8.6, ე) სიმაღლე წარმოადგენს მაღლისა და სახურავის დახრის ფუნქციას, რომლებიც დამოკიდებული არიან სახურავის მასალაზე. ჩვეულებრივ სამკუთხა წამწეებს უკეთებენ  $20^{\circ} + 25^{\circ}$ -იან დახრას, რასაც შეესაბამება წამწის  $h = (\frac{1}{4} \dots \frac{1}{2}) \cdot l$  სიმაღლე.

მაღლის შუაში წამწის სიმაღლე შეიძლება შევამციროთ, თუ მივცემთ ქვედა სარტყელს წამოწეულ მოხაზულობას (იხ. ნახ. 8.6, ე). ამ დროს საყრდენი კვანძი არ უნდა იყოს ძალიან მახვილი.

*ტრაპეციული მოხაზულობის წამწეებისა და პარალელურსარტყლებიანი წამწეების სიმაღლის განსაზღვრა.* თუ არ არის კონსტრუქციული შეზღუდვა, წამწის სიმაღლე მიღებული უნდა იქნეს უმცირესი მასის პირობიდან ე.ი. ეკონომიური მოსაზრებიდან. წამწის მასა შედგება სარტყლებისა და გისოსის მასისაგან. სიმაღლის გაზრდით სარტყლების მასა მცირდება, რადგან სარტყლებში ძალები უკუპროპორციულია სიმაღლისა  $h$ .

გისოსის მასა პირიქით, წამწის სიმაღლის გაზრდით იზრდება, რადგან იზრდება ირიბანებისა და დგარების სიგრძე. აქედან გამომდინარე შესაძლებელია მოძებნილი იქნეს წამწის ოპტიმალური სიმაღლე, რომლის დროსაც სარტყლებისა და გისოსის მასა იქნება უმცირესი.

გაანგარიშებები გვაჩვენებს, რომ ასეთი მიდგომით წამწეების ოპტიმალური სიმაღლე არის  $(\frac{1}{4} - \frac{1}{5}) \cdot l$  მაღლისა. ამას მიეყვარათ იქამდე, რომ 20 მეტრიანი წამწის სიმაღლე არის ზღერულზე მეტი-3,85. ეს ზღერული პირობა დადგენილია ტრანსპორტირების პირობიდან. ამას გარდა იზრდება შენობის მოცულობა, რისთვისაც საჭიროა გათბობასთან დაკავშირებული დამატებითი დანახარჯები და სხვა მიზეზების გამო სიმაღლის განსაზღვრის შემოთაღნიშნული მიდგომა არ გამოდგება.

შემოთაღნიშნული მიზეზების გათვალისწინებით წამწის სიმაღლედ დებულობენ მაღლის  $(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{12}) \cdot l$ -ს. მსუბუქი წამწეებისათვის ეს მნიშვნელობა არის უფრო მცირე.

*სიხისტის პირობის მიხედვით წამწეების სიმაღლის განსაზღვრა.* წამწის შესაძლო უმცირესი სიმაღლე დგინდება დასაშვები ჩაღუნვის პირობიდან. მოძრავ დატვირთვებზე მომუშავე კონსტრუქციებზე მოთხოვნები სიხისტის პირობაზე არის შედარებით მაღალი-  $f/l = (1/750 + 1/1000)$ .

წამწის ჩაღუნვა შესაძლებელია განსაზღვრული იქნეს მორის ანალიზური ფორმულით:

$$f = \sum \frac{N_i \bar{N}_i l_i}{EA} \quad (8.1)$$

სადაც  $N_i$ -მოცემული დატვირთვისაგან წამწის ღეროებში აღძრული ძაღვაა;  $\bar{N}_i$ -ძაღვა იმავე ღეროში აღძრული ერთეულოვანი ძაღვისაგან, რომელიც მოდებულია იმ წერტილში, რომელშიც უნდა განისაზღვროს ჩაღუნვა ჩაღუნვის მიმართულებით.

მორის ფორმულის მიხედვით შეიძლება მიღებული იქნეს პარალელურსართყლებიანი წამწის უმცირესი სიმაღლის მალთან შეფარდების ფორმულა:

$$\frac{h_{\min}}{l} = \frac{6.5}{24} \left[ \frac{f}{l} \right] \frac{\sigma}{E} \left( 1 + 2 \frac{h}{l} \right); \quad (8.2)$$

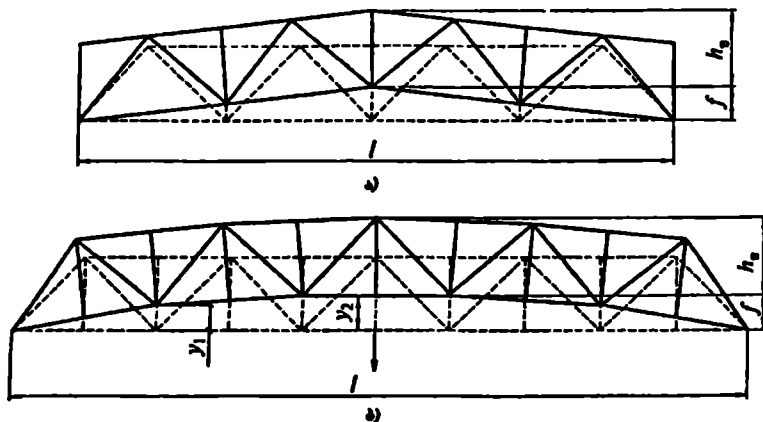
$f/l$ -არის წამწის ზღერული ჩაღუნვის შეფარდება მალთან.

$\sigma$ -სართყელში მაქსიმალური ძაღვა; რადგანაც ძაღვა განისაზღვრება ნორმატიული დატვირთვისაგან ( $\gamma_f = 1$ )

$$\sigma = \frac{g_n + p_n}{g_n \gamma_g + p_n \gamma_p} R_y \quad (8.3)$$

$p_n$  და  $g_n$ -ღროებითი და მუდმივი ნორმატიული დატვირთვები;

$\gamma_p$  და  $\gamma_g$ -შესაბამისი საიმედობის კოეფიციენტები დატვირთვის მიხედვით.



ნახ. 8.8. სამშენებლო აწვეის სქემები:  
ა)-ერთი და ბ)-რამოდენიმე გამსხვილებული შეერთებისას.

*სამშენებლო აწვევა*. როდესაც წამწის მალი  $l \geq 36$  მ, აგრეთვე ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებულ წამწეებში, ასევე რამოდენიმე გამსხვილებული შეერთებისას, ადგილი აქვს დიდ ჩაღუნვებს, რომლებიც აუარესებენ საექსპლუატაციო პირობებს და საგრძნობი დეფორმაციის გამო ქმნიან არასასიამოვნო შთაბეჭდილებას. ამის საწინააღმდეგოდ წამწეებს სჭირდებათ სამშენებლო აწვევა (ნახ. 8.8).

პარალელურსარტყელებიან წამწეებში-ბრტყელი სახურავის დროს სამშენებლო აწვევა გათვალისწინებული უნდა იქნეს მალის სიდიდის მიუხედავად, იგი აიღება მთელი ნორმატიული დატვირთვით გამოწვეული ჩაღუნვის სიდიდისა და  $l/200$ -ის ჯამის ტოლი, სამშენებლო აწვევის ეს სიდიდე- $f$  წამწეს მიეცემა მალის შუაში, ე. ი. სარტყლების პირაპირის მოწყობის ადგილზე.

**8.2.3. წამწეების გისოსების სისტემა და მათი მახასიათებლები.** წამწეების გისოსი მუშაობს განივ ძალაზე და ასრულებს მთლიანკედლიანი კოჭის კედლის ფუნქციას.

გისოსის სამკუთხა სისტემა ტრაპეციული მოხაზულობის ან პარალელურ-სარტყლებიანი წამწეებისათვის მეტად მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს სამკუთხა მოხაზულობის გისოსი (ნახ. 8.7, ა). გისოსის სამკუთხა სისტემას აქვს უმცირესი ჯამური სიგრძე, კვანძების უმცირესი რიცხვი. წამწეები, რომლებზეც განლაგებულია სახურავის გრძივები ან ფენილის კოჭები, გისოსის სამკუთხა სისტემას ხშირად უმატებენ დამატების დგარებს (იხ. ნახ. 8.7, ბ), ტვირთის ქვედა სარტყელზე მოდებისას სამკუთხა გისოსს უმატებენ კიდულებს. ისინი ამცირებენ წამწის კვანძებს შორის მანძილს. შეკუმშულ სარტყელში ამცირებენ საანგარიშო სიგრძეს.

სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში ხშირად იყენებენ გისოსების სამკუთხა სისტემას.

ამ სისტემის უარყოფითი მხარეა მასში შეკუმშული გრძელი ირიბანების არსებობა (პარალელურ სარტყლებიანში-აღმავალი, სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში დაღმავალი).

გისოსის ირიბნებიანი სისტემა. მისი დაპროექტებისას უნდა ვეცადოთ, რომ ყველაზე უფრო გრძელი ელემენტები-ირიბანები იყვნენ გაჭიმულები, ხოლო დგარები-შეკუმშულები. ეს მოთხოვნები დაკმაყოფილდება პარალელურ სარტყლებიან წამწეებში დაღმავალი ირიბანებისას (ნახ. 8.3, დ), ხოლო სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში აღმავალი ირიბანებისას (ნახ. 8.7, გ). მხოლოდ სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში აღმავალი ირიბანები ქმნიან კონსტრუირებისათვის მოუხერხებელ კვანძებს და აქვთ

დიდი სიგრძე, რადგან მდებარეობენ დიდი დიაგონალის გასწვრივ. ამიტომ სამკუთხა მოხაზულობის წამწებებში მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს დადამეალი ირიბანები (ნახ. 8.6, ე). მართალია ისინი მიიღება როგორც შეკუმშულები, მაგრამ მათი სიგრძეები არის უფრო მცირე და წამწის კვანძები არიან უფრო კომპაქტურები.

სპეციალური სისტემის გისოსები. წამწის დიდი სიმაღლისას (დაახლოებით 4-5 მ) და ირიბების რაციონალური კუთხით დახრისას (დაახლოებით 35-45°) პანელები შეიძლება იქნეს ძალიან დიდი. ასეთ შემთხვევაში მოუხერხებელია გადახურვის გრძივებისა და სხვა ელემენტების განლაგება. იმისათვის, რომ შევამციროთ პანელის ზომები და შევინარჩუნოთ ირიბების რაციონალური დახრის კუთხეები, გამოყენებული უნდა იქნეს შპრენგელური გისოსი (იხ. ნახ. 8.7, ე).

ზოგიერთ სამკუთხა წამწეს გააჩნია განსაკუთრებული სახის შპრენგელური გისოსი (ნახ. 8.6, ე). ეს სისტემა გამოიყენება სამკუთხა წამწის დიდი დახრის კუთხეებისას ( $\alpha = 35^\circ \dots 45^\circ$ ) და სამკუთხა წამწის დიდი მალეებისას ( $l = 20 \dots 24$  მ).

წამწებში, რომლებიც მუშაობენ ორმხრივ დატვირთვაზე, როგორც წესი ეწყობა ჯვარედინი გისოსი (იხ. ნახ. 8.7, ვ). ასეთ წამწებს მიეკუთვნება სამრეწველო შენობის ჰორიზონტალური კავშირის წამწები, კოშკების ვერტიკალური წამწები და ა.შ. წამწებში ფართოთაროებიანი  $T$ -ების საშუალებით დაპროექტებულ სარტყლებს ერთმანეთთან აერთებენ ცალმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილ ჯვარედინა გისოსით (იხ. ნახ. 8.7, ზ).

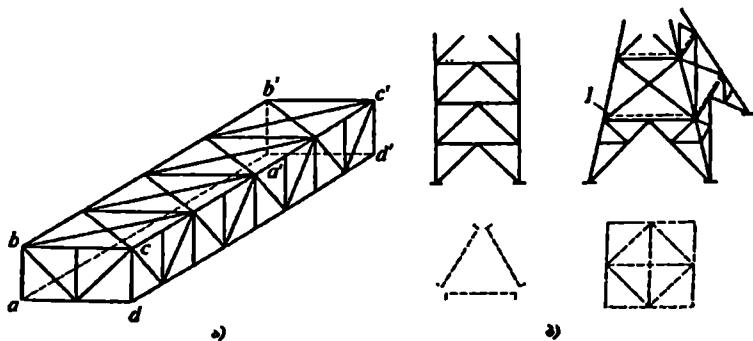
რომბისებურ და ნახევრადირიბნულ გისოსებს (იხ. ნახ. 8.7, თ, ი) გააჩნიათ დიდი სიხისტე. ასეთი სისტემები გამოიყენება ხიდებში, კოშკებში, ანძებში და სხვა კონსტრუქციებში.

8.2.4. წამწების მდგრადობის უზრუნველყოფა. ბრტყელი წამწე არამდგრადია თავისი სიბრტყის მართობულ სიბრტყეში. იმისათვის, რომ წამწე გახდეს მდგრადი საჭიროა იგი მივეერთოთ ხისტი კონსტრუქციით სხვა წამწესთან. ამის შედეგად შეიქმნება მდგრადი ბლოკი (ძელი) (ნახ. 8.9, ა). ასეთი ბლოკის მდგრადობის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია, რომ ის იყოს გეომეტრიულად უცვლელი.

ბლოკის წიბოები (ნახ. 8.9, ა) ფორმირდება ორი ვერტიკალური ბრტყელი წამწისაგან ( $abb'a'$  და  $dcd'c'$ ), ორი მათი მართობულ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში განლაგებული კავშირებით, რომლებიც მდებარეობენ წამწების სარტყლებზე ( $cbb'c'$  და  $add'd'$ ) და სულ ცოტა ორი ვერტიკალური განივი კავშირებით

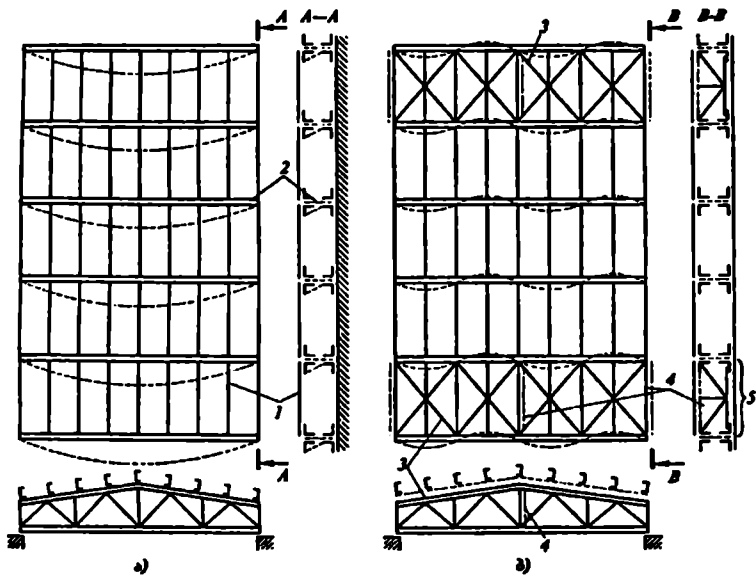
( $abcd$  და  $a'b'c'd'$ ) თუ ბლოკის სიგრძე არის დიდი საჭიროა შუაში ჩაყენებული იქნეს დამატებითი ვერტიკალური განივი კავშირი. რადგანაც ეს ძელი ჩაკეტილია მისი მდგრადობის დაკარგვა არ მოხდება. ხიდების, ამწეების, კოშკების, ანძების კონსტრუქციები წარმოადგენენ სივრცით ძელებს, რომლებიც შედგებიან ბლოკებისაგან (ნახ. 8.9,ბ).

ნაგებობების გადახურვებში ამ გადაწყვეტილების განხორციელება რთულდება ერთმანეთის გვერდი-გვერდ მდებარე წამწეების დიდი რაოდენობის გამო. წამწეები, რომლებიც ერთმანეთთან არიან შეერთებული მხოლოდ გრძივებით არ ქმნიან გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას. ამიტომ წამწებს თავისი სიბრტყიდან გააჩნია თავისუფალი სიგრძე, რომელიც მალის ტოლია და ადვილად შეუძლია დაკარგოს მდგრადობა (ნახ. 8.10,ა).



ნახ. 8.9. წამწეების შეერთება სივრცით სისტემად: ა)-სანივნივო წამწეები; ბ)-კოშკები; 1-ღიაფრაგმა.

ასეთ შემთხვევაში წამწეების მდგრადობის უზრუნველყოფა ხდება რამდენიმე მდგრადი ბლოკის საშუალებით. ეს ბლოკები იქმნება ორი მეზობელი წამწისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებული არიან კორიზონტალური და ვერტიკალური კავშირებით (ნახ. 8.10,ბ). ამ ბლოკებთან მიმაგრებული არიან გრძივები, განმბრჯენები და ა.შ. თუ გრძივი არ არის მიმაგრებული კავშირის ღიაგონალთან, მაშინ წამწის სიბრტყის მართობულ სიბრტყეში წამწის ზედა სარტყლის სიგრძე ტოლია ორი პანელის სიგრძისა (იხ. ნახ. 8.10,ბ).



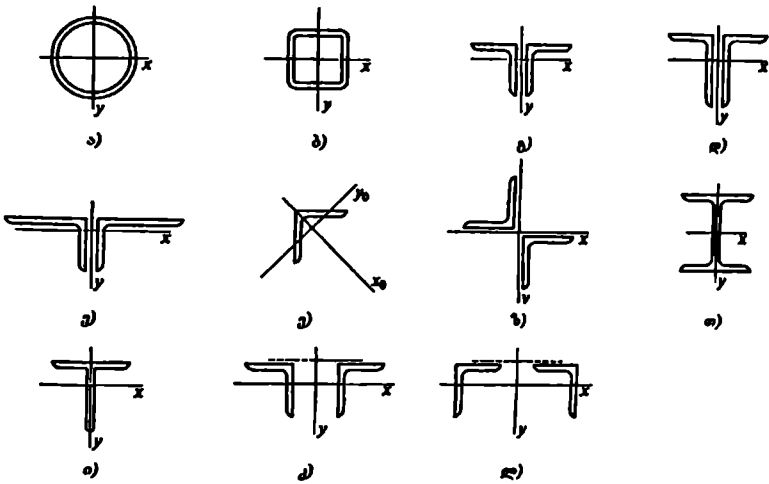
ნახ. 8.10. კაეშირები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სანივნივო  
 წამწეების მდგრადობას:  
 ა)-კაეშირების არარსებობისას; ბ)-კაეშირების არსებობისას;  
 1-გრძივები; 2-ფერმები; 3-პორიზონტალური კაეშირები;  
 4-ვერტიკალური კაეშირები; სივრცითი ბლოკი.

### 83. წამწის ღეროების განიკვეთის ტიპები

83.1 მსუბუქი წამწის ღეროები. მსუბუქი წამწეების ელემენტების განიკვეთის ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეები ნაჩვენებია ნახ. 8.11.-ზე. წამწეების შეკუმშული ღეროებისათვის ყველაზე მეტად ეფექტურ ტიპს წარმოადგენს თხელკედლიანი მილოვანი და ნაღუნ-ჩაკეტილი კვეთები (ნახ. 8.11,ა,ბ). წამწეებში ასეთი პროფილების გამოყენება იძლევა დაახლოებით 20-25% მასალის ეკონომიას.

წამწის ელემენტების განიკვეთის ძირითად ტიპებად ასევე მიღებულია ტესებრი პროფილი, შემდგარი ორი თანაბართაროიანი ან არათანაბართაროიანი კუთხოვანებისაგან (ნახ. 8.11,გ,დ,ე).

გამონაკლისს წარმოადგენს წამწის საყრდენი და კეხის დგარები. ამ ელემენტებისთვის განიკვეთად აიღება ჯვარედინად განლაგებული ორი თანაბართაროებიანი კუთხოვანა (ნახ. 8.11,ზ).



ნახ. 8.11. – მსუბუქი წამწეების ღეროების განიკვეთის ტიპები: ა),ბ)- მილისებური; გ),დ),ე),ვ),ზ),ი),ლ)-გაგლინული კუთხოვანების გამოყენებით; თ)-ორტესური; ი)-ტესებრი.

ასეთი პროფილი მეტად ხელსაყრელია კავშირების, დგარებისა და საკოჭების მისამაგრებლად. ღეროების კუთხოვანების შეეული თაროები ერთმანეთისაგან დაცილებული უნდა იქნან საკვანძო ფურცლის სისქის ტოლი მანძილით. სასურველია ზედა სარტყლის ელემენტების განიკვეთები ისე შეირჩეს, რომ მათი მოქნილობები განიკვეთების მთავარი ღერძების მიმართ იქნეს ტოლი ( $\lambda_x = \lambda_y$ ). განიკვეთი იქნება ტოლსიხისტიანი, თუ

$$\frac{l_x}{i_x} = \frac{l_y}{i_y} \text{ ან } \frac{i_x}{i_y} = \frac{l_x}{l_y}; \quad (8.4)$$

აქედან გამომდინარე, თუ წამწის ზედა სარტყელი პორიზონტალურ სიბრტყეში დამაგრებულია თითო კვანძის გამოშვებით (მაგ. უგრძივო გადახურებებში)  $l_x = 2l_y$  და, მაშასადამე,

$$\frac{l_x}{i_x} = \frac{l_y}{i_y} = 2. \text{ ინერციის რადიუსების ასეთ ფარდობას ყველაზე მეტად}$$

შეესაბამება ორი არათანაბართაროებიანი კუთხოვანა, განლაგე-

ბული დიდი თარობით თარაზულ სიბრტყეში  $\left( 2,8 \leq \frac{i_y}{i_x} \leq 2,8 \right)$ .

ზედა სარტყლის ყველა კვანძში დამაგრების შემთხვევაში  $i_x = i_y$

და შესაბამისად:  $\frac{i_y}{i_x} = \frac{i_x}{i_y} = 1$ . ინერციის რადიუსების ასეთ ფარდობას შეესაბამება ორი თანაბართარობიანი კუთხოვანა  $\left( 1,4 \leq \frac{i_y}{i_x} \leq 1,5 \right)$  ან არათანაბართარობიანი კუთხოვანები

განლაგებული დიდი თარობით შეეულ სიბრტყეში  $\left( 1,2 \leq \frac{i_y}{i_x} \leq 1,3 \right)$ .

უკანასკნელი ორი სახის პროფილიდან აიღება ის, რომელსაც უმცირესი მასა ექნება. გარდა ამისა არათანაბართარობიანი კუთხოვანები 5-10%-ით ძვირია თანაბართარობიან კუთხოვანებზე, ამიტომ უმეტეს შემთხვევაში უპირატესობას ანიჭებენ უკანასკნელს. ქვედა სარტყლის ელემენტების განიკვეთის ძირითად პროფილად მიიღება იგივე, რაც წამწის ზედა სარტყლისათვის.

წამწის შუალედი ირიბანების და დგარების სიგრძეები ტოლია

$$i_x = (1 + 0,8) \cdot l - s \quad \text{და} \quad l_y = l - s, \quad \text{რის გამო} \quad \frac{i_y}{i_x} = \frac{l_y}{i_x} \approx (1,25 + 1,0).$$

ინერციის რადიუსების ასეთ ფარდობას უკეთ შეესაბამება ტესებრი პროფილი შემდგარი ორი თანაბართარობიანი კუთხოვანისაგან (ნახ. 8.11,გ).

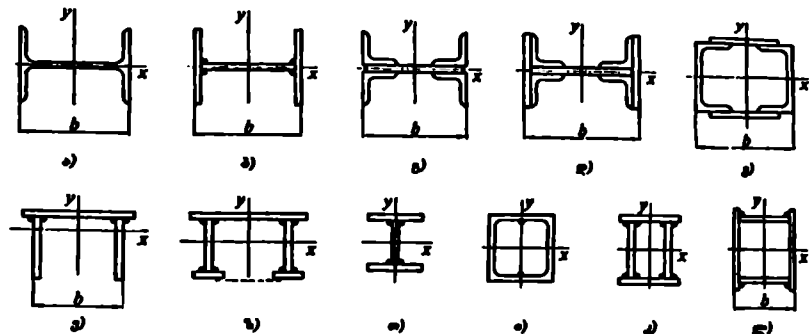
შედარებით მცირე დატვირთვებისას გამოიყენება კვეთები ცალი კუთხოვანისაგან, ასეთი კვეთები მარტივია დამზადების თვალსაზრისით (ნახ. 8.11,ვ).

უკანასკნელ ხანებში წამწის ზედა და ქვედა სარტყლებად გეგმარდება შედუღებული ტესებრი, ორტესებრი ან მილისებრი პროფილები (ნახ. 8.11,თ,ა)

შედუღებული ტესებრი და ორტესებრი პროფილის დადებითი მხარეა: მცირე წონა, შედგების სიადვილე, უარყოფითი—დამზადების სირთულე. მილისებრი პროფილები ხასიათდებიან მასალის მცირე ხარჯით და ურთიერთმართობ სიბრტყეებში თანაბარი მდგრადობით, მაგრამ ასეთი პროფილის გამოყენებისას რთულდება წამწის კვანძების კონსტრუქცია.

ნახ. 8.12-ზე ნაჩვენებია მძიმე წამწეების ღეროების განიკვეთის ტიპები.





ნახ. 8.12. - მძიმე წამწეების ღეროების განიკვეთის ტიპები: ა),ბ),ზ)-გაგლინული და შედუღებული შედგენილი ორტესისაგან; გ),დ)-მოქლონური წამწეებისათვის; ე),ი)-გაგლინული შეელერებისაგან; ე),ზ)-შედუღებული შედგენილი შეელერებისაგან; კ),ლ)-მილოვანი შედგენილი შედუღებული

#### 8.4. წამწეების გაანგარიშება

წამწეების გაანგარიშება წარმოებს შემდეგი თანამიმდევრობით: ანგარიშობენ წამწის კვანძებზე მოქმედ შეყურსულ დატვირთვებს, რის შემდეგ, სამშენებლო მექანიკის ერთ-ერთი მეთოდით, საზღვრავენ მის ელემენტებში მოქმედ ძალებს. ამ ძალების მიხედვით არჩევენ წამწის ელემენტების განიკვეთვებს და ახდენენ წამწის კვანძებისა და პირაპირების კონსტრუირებას და გაანგარიშებას.

8.4.1. დატვირთვები. წამწეზე მოქმედი დატვირთვები იყოფა ორ ჯგუფად: მუდმივ და დროებით დატვირთვებად.

მუდმივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: წამწეების, შუქფარების, გრძივების, კავშირების, სახურავის ფილების, თბო და ჰიდროსაიზოლაციო ფენილების და შეკიდული ჭერის მასები. სამრეწველო ნაგებობებში ამ დატვირთვებს ემატება შეკიდული ამწის საკუთარი მასაც.

დროებით დატვირთვებში შედის: თოვლის, ქარისა და სამრეწველო ნაგებობებში -ამწე მექანიზმების დატვირთვები.

ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გაანგარიშების დროს, ზემოთ აღნიშნული დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობები მრავლდება საიმედობის კოეფიციენტზე დატვირთვების მიხედვით. დროებით ნორმატიული დატვირთვების სიდიდეები და შესაბამისი

საიმედობის კოეფიციენტები მოცემულია ტ.ნ. და პირობებში СНиП 2.01.07 - 85°

მუდმივი და დროებითი დატვირთვები, შეყურსული ძალების სახით, წამწეს გადაეცემა კვანძებში და მათ კვანძური დატვირთვები ეწოდება (ნახ. 8.13).

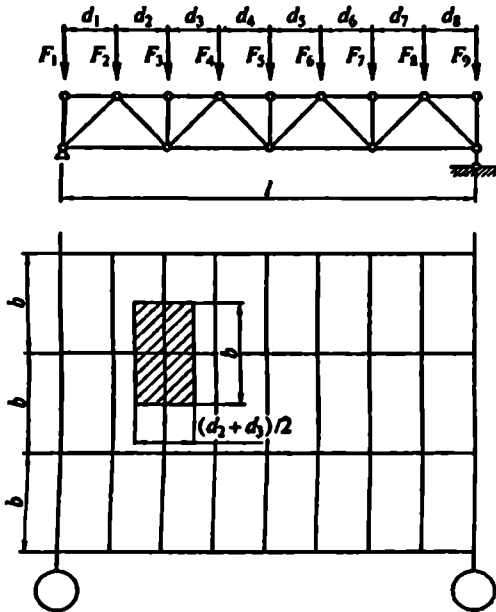
წამწვის ზედა კვანძებზე მოქმედი მუდმივი დატვირთვები გამოითვლება ფორმულით:

$$F_{\text{ст}} = \left( g_{\text{ст}} + \frac{g_{\text{სახ}}}{\cos \alpha} \right) \cdot b \cdot [(d_{i-1} + d_i) / 2] \cdot \gamma_{\text{ст}} \quad (8.5)$$

სადაც  $g_{\text{ст}}$  - წამწების, შუქფარების და კავშირების მასები, დაყვანილი გადახურვის პორიზონტალური ფართობის  $1\text{მ}^2$ -ზე.

$g_{\text{სახ}}$  არის სახურავისა და სათბუნებელი ფილების საკუთარი მასები წამწვის ქანობის სიბრტყის  $1\text{მ}^2$ -ზე;

$\alpha$  - წამწვის ზედა სარტყლის დახრის კუთხე პორიზონტთან;



ნახ. 8.13.-წამწვის საანგარიშო სქემა

$d_{i-1}$  და  $d_i$  - წამწვის კვანძის მომიჯნავე პანელების სიგრძე;

$b$  - წამწვებს შორის მანძილი (გრძივი ბიჯი);

$\gamma_g$  — საიმედობის კოეფიციენტი მუდმივი დატვირთვებისთვის.

გადახურვის ცალკეული ელემენტების (წამწების, შუქფარების, კავშირების, სახურავი ფილებისა და ა.შ.) ნორმატიული მასები განისაზღვრება სამშენებლო კონსტრუქციებისა და მისი ნაწილების კატალოგებისა და ცნობარების მიხედვით.

ტიპური წამწების მასები გადახურვის ფართობის  $1\text{მ}^2$ -ზე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ემპირიული ფორმულებითაც:

როდესაც წამწის მალი  $l = 18$  მ,

$$g_f = 0,04 + 0,014q \text{ (კნ/მ}^2\text{);}$$

როდესაც წამწის მალი  $l = 24$  მ,

$$g_f = 0,04 + 0,03q \text{ (კნ/მ}^2\text{);}$$

როდესაც წამწის მალი  $l = 30$  მ,

$$g_f = 0,05 + 0,03q \text{ (კნ/მ}^2\text{);}$$

როდესაც წამწის მალი  $l = 36$  მ,

$$g_f = 0,05 + 0,04q \text{ (კნ/მ}^2\text{);}$$

სადაც  $q$  არის გადახურვის  $1\text{მ}^2$ -ზე მოქმედი მთლიანი საანგარიშო დატვირთვა (სახურავის მასა და თოვლის დატვირთვა).

შეიქმედებული ჭერის არსებობის შემთხვევაში, წამწის მასის ნახევარი გადაეცემა ზედა კვანძებს, ხოლო წამწის მასის მეორე ნახევარი — ქვედა კვანძებს. სხვენის გადახურვის დროს წამწის მასა ითვლება მის ზედა კვანძებზე მოდებულიად.

კვანძური დატვირთვა თოვლისაგან გამოითვლება ფორმულით

$$F_{\Sigma} = S_g b [(d_{i-1} + d_i) / 2] \quad (8.6)$$

სადაც  $S_g$  არის თოვლის ნორმატიული დატვირთვა გადახურვის პორიზონტალური ფართობის  $1\text{მ}^2$ -ზე. მისი სიდიდე განისაზღვრება ტ. 6. და პირობების მიხედვით СНиП 2.01.07-85<sup>6</sup> -დან.

უშუქფარნო ერთმალთან სახურავებში ნახევარ მალზე მოქმედმა თოვლის დატვირთვამ შეიძლება გამოიწვიოს ირიბანებში უდიდესი საანგარიშო ძალები. ამიტომ წამწის გაანგარიშება ხდება დატვირთვების ორი სქემის მიხედვით: ა) როდესაც წამწე მთელი მალის სიგრძეზე დატვირთულია მუდმივი და თოვლის დატვირთვით; ბ) როდესაც მუდმივი დატვირთვა მოქმედებს მთელ მალზე, ხოლო თოვლის დატვირთვა — მალის სიგრძის ნახევარზე.

8.4.2. ძალების განსაზღვრა წამწის ღეროებში. წამწის არაავტომატიზებული წესით (ხელით) გაანგარიშების დროს იგულისხმება, რომ ა) წამწის კვანძები წარმოადგენენ იდეალურ სახსრებს; ბ) ყველა ღეროს ღერძები სწორხაზოვანია და

იკვეთებიან კვანძებში ერთ წერტილში; გ) დატვირთვები მოქმედებენ კვანძებზე. ასეთი იდეალური წამწის ღეროები მუშაობენ მხოლოდ გამჭიმავ ან მკუმშავ ღერძულ ძალებზე.

წამწის ღეროებში ძალების ხელით განსაზღვრა მარტივად წარმოებს სამშენებლო მექანიკის ანალიზური ან გრაფიკული ხერხით. ანალიზურ ხერხებში იგულისხმება კვანძთა ამოკვეთის მეთოდი, დაგეგმილების წესი და სხვა, რაც შეეხება გრაფიკულ მეთოდს აღსანიშნავია მაქსველ-კრემონას დიაგრამა სწრაფი, მარტივი და ზუსტი ხერხი (მე 9-ე თავის ბოლო საკითხში განხილულია გრაფიკული მეთოდის, კერძოდ მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგების ზოგადი პრინციპები და თეორიული საფუძვლები). იმისათვის, რომ განისაზღვროს წამწის ღეროებში დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი შეხამების შესაბამისი უდიდესი საანგარიშო ძალები, მუდმივ, თოვლის და ამწის დატვირთვებზე ძალებს საზღვრავენ ცალ-ცალკე, ცალკეული დატვირთვების შესაბამისი ძალები შეაქვთ საანგარიშო ძალვათა ცხრილში, რის შემდეგ ამ ცხრილის მიხედვით, წამწის თითოეული ღეროსათვის აღგენენ დატვირთვების ისეთ კომბინაციას რომელთა ძალების შეჯამებით მიიღება ღეროში მოქმედი საანგარიშო ძალების უდიდესი მნიშვნელობა. ამჟამად, კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით, წამწების გაანგარიშება წარმოებს სპეციალური კომპიუტერული პროგრამებით (მაგ. LIRA), როგორც ხისტკვანძოვანი სისტემებისა. გაანგარიშების ასეთი გზა შედარებით ზუსტია, საანგარიშო სქემა უკეთ შეესაბამება წამწის რეალური მუშაობის სქემას. ასეთი გაანგარიშების შედეგად მასალის ხარჯის ეკონომია აღწევს 5-10 %-ს.

8.4.3. ღეროების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრა. მდგრადობის დაკარგვის მომენტში შეკუმშული ღერო გამოიბურცება, მობრუნდება შესაბამისი კვანძების ცენტრების ირგვლივ და საკვანძო ფურცლების სიხისტის გამო იწვევს ამ კვანძებში შემავალი ღეროების მობრუნებას და გაღუნვას (ნახ. 8.14).

კვანძში შემავალი ღეროები ეწინააღმდეგებიან კვანძის გაღუნვასა და მობრუნებას და ამით ხელს უშლის ღეროს, რომელიც კარგავს მდგრადობას, თავისუფალ ღუნვას. კვანძის მობრუნებას ყველაზე მეტ წინააღმდეგობას უწევს გაჭიმული ღეროები, რის გამო შუალედი შეკუმშული რიკულები მუშაობენ ისე, როგორც ნაწილობრივ ჩამაგრებული ღეროები. ხოლო შეკუმშული ღეროები მცირედით ეწინააღმდეგებიან ღუნვას.

ამიტომ, კვანძში შეკუმშული ღეროს შეყურსვის ხარისხად ლებულობენ დამოკიდებულებას

$$\tau = i / \sum i_p \quad (8.7)$$

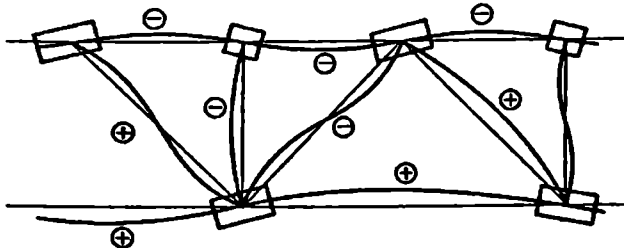
აქ  $i$  არის წამწის სიბრტყეში განსახილველი ღეროს გრძივი ინერციის მომენტი.  $\sum i_p$ —განსახილველ ღეროს ორივე ბოლოზე მიერთებული გაჭიმული ღეროების ინერციის გრძივი მომენტების ჯამი.

რაც უფრო მცირეა  $r$ , მით უფრო მეტია შეყურსვის ხარისხი და მცირეა წამწის საანგარიშო სიგრძე

$$l_{ef} = \mu \quad (8.8)$$

როგორც 8.14 ნახაზიდან ჩანს, წამწის სიბრტყეში ზედა სარტყლის ღეროები, სუსტად არის შეყურსული კვანძებში, რადგან ყოველი მხრიდან მასთან მიერთებულია მხოლოდ თითო გაჭიმული ირიბანა, რომელთა გრძივი სიხისტე მნიშვნელოვნად მცირეა სარტყლების გრძივ სიხისტეზე, ამიტომ ზედა სარტყლის შეყურსვა შეიძლება უგულვებელყოთ და მივიღოთ მისი საანგარიშო სიგრძე მომიჯნავე კვანძებს შორის მანძილად. ე. ი. ჩამაგრების ასეთი სქემის დროს  $\mu = 1$ .

გისოსის შეკუმშულ ღეროებს ზედა კვანძში უერთდება გაჭიმული ირიბანა, ხოლო ქვედა კვანძში ქვედა სარტყლის გაჭიმული პანელები და ირიბანა (იხ. ნახ. 8.14). აქ შეყურსვის ხარისხი მნიშვნელოვნად მეტია და  $r$ -დამოკიდებულება მიიღება არც თუ ისე დიდი 0,5-თან მიახლოებული. ეს იძლევა კოეფიციენტის  $\mu = 0,77$  მნიშვნელობას.



ნახ. 8.14. ღეროების დეფორმაციის სქემა, როდესაც შეკუმშული ღერო კარგავს მდგრადობას.

ნორმების მიხედვით კუთხოვანებისაგან შედგენილი გისოსის ელემენტების ფერმის სიბრტყეში დაყვანის კოეფიციენტი  $\mu = 0,8$ . ე. ი. საანგარიშო სიგრძე  $l_x = 0,8l$ .

გამონაკლისს წარმოადგენს საყრდენი აღმავალი ირიბანა, რომლის მუშაობის პირობები, წამწის სიბრტყეში, იგივეა, როგორც შეკუმშული ზედა სარტყლისა. ამის შედეგად წამწის

სიბრტყეში საყრდენი აღმაველი ირიბანას საანგარიშო სიგრძე მიიღება მომიჯნავე კვანძებს შორის მანძილად.

გაჭიმული ელემენტების (ქვედა სარტყელი, გაჭიმული ირიბანები და დგარები) საანგარიშო სიგრძედ აღიება მისი გეომეტრიული სიგრძე და  $\mu = 1$ .

$$l_{ef} = l_y = l \quad (8.9)$$

წამწის მართობ სიბრტყეში ზედა სარტყლის ელემენტების საანგარიშო სიგრძე დამოკიდებულია ზედა კვანძების კავშირებით დამაგრების სქემაზე და ტოლია დამაგრებული კვანძებს შორის მანძილისა.

როდესაც წამწის ზედა კვანძები დამაგრებულია გრძივებით ან უგრძივო გადახურვის შემთხვევაში—სახურავის ფილებით, მაშინ  $\mu = 1$  და საანგარიშო სიგრძე

$$l_{ef} = l_y = l \quad (8.10)$$

როდესაც წამწის ზედა კვანძები დამაგრებულია თითო კვანძის გამოშვებით (ნახ. 8.10),

$$l_{ef} = l_y = 2l \quad (8.11)$$

წამწის მართობ სიბრტყეში ირიბანებისა და დგარების საანგარიშო სიგრძე ტოლია მისი გეომეტრიული სიგრძისა და  $\mu = 1$ .

$$l_{ef} = l_y = l \quad (8.12)$$

8.4.4. ღეროების ზღვრული მოქნილობები. როგორც წესი, კონსტრუქციის ელემენტები დაპროექტებული უნდა იქნეს ხისტი ღეროებისაგან. მოქნილობას— $\lambda$  განსაკუთრებითი არსებითი მნიშვნელობა გააჩნია შეკუმშული ღეროებისათვის, რომლებიც კარგავენ მდგრადობას გრძივი ღუნვისას.

უმნიშვნელო მკუმშავი ძაბვების არსებობისასაც კი ღეროების მოქნილობა არ უნდა იყოს ძალიან დიდი. ძალიან მოქნილი ღეროები ადვილად მრუდდებიან შემთხვევითი ზემოქმედებებით, იზნიკებიან საკუთარი მასისაგან, მათში წარმოიქმნება არასასურველი ექსცენტრისიტეტი, ხდება მათი ციბრირება დინამიკური ზემოქმედებისას. ამიტომ შეკუმშული ღეროებისათვის დადგენილია უდიდესი ზღვრული მოქნილობა, რომელიც არის ისეთივე ნორმატიული სიდიდე, როგორიც საანგარიშო წინაღობა.

ნორმებში დადგენილი ზღვრული მოქნილობის  $[\lambda]$  მნიშვნელობა დამოკიდებულია ღეროს დანიშნულებაზე და მისი დატვირთულობის ხარისხზე  $\alpha = N/\varphi AR_y \gamma_c$ , სადაც  $N$ —საანგარიშო ძალეა;  $\varphi AR_y \gamma_c$ —ღეროს ზიდვის უნარი:

### მოქნილობები:

შეკუმშული სარტყლები, ასევე საყრდენი დგარები და ირიბანები, რომლებიც გადასცემენ საყრდენთა რვაქციებს	180 – 60 α
წამწეების სხვა შეკუმშული ღეროები	210 – 60 α
კავშირების შეკუმშული ღეროები	200

ამასთან α მიიღება არა უმცირეს 0,5-ისა.

გაჭიმული ელემენტებიც არ უნდა იყენენ ძალიან მოქნილები, რადგან დიდი მოქნილობების დროს, შეიძლება დაიღუნოს ტრანსპორტირებისას და მოტაჟისას.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთ ღეროებს კჰონდეთ საკმარისი სიხისტე, რომლებზეც ხდება დინამიკური ზემოქმედება.

გაჭიმული ღეროების დიდი მოქნილობებისას ღეროები იწყებენ თრთოლვას.

ღეროებისთვის, რომლებზეც უშუალოდ ხდება დინამიკური ზემოქმედება, დადგენილია ზღვრული მოქნილობების შემდეგი მნიშვნელობები:

### მოქნილობები:

გაჭიმული სარტყლები და საყრდენი ირიბანები	250
წამწეების სხვა გაჭიმული ღეროები	350
კავშირების გაჭიმული ღეროები	400

კონსტრუქციებში, რომლებზეც არ ხდება დინამიკური ზემოქმედება გაჭიმული ღეროების ზღვრული მოქნილობა განპირობებულია საკუთარი წონისაგან ჩაღუნვის პირობიდან და ტოლია  $[\lambda] = 400$ .

### 8.5. წამწის ღეროების განიკვეთის შერჩევა

წამწის ზედა და ქვედა სარტყლის განიკვეთის შერჩევა წარმოებს სარტყლის პანელებში მოქმედი უდიდესი საანგარიშო ძალევის მიხედვით. მიღებული განიკვეთის კალიბრი ვრცელდება სარტყლის ყველა პანელზე. ირიბანებისა და დგარების განიკვეთი შეირჩევა ცალ-ცალკე, მათში მოქმედი საანგარიშო ძალების მიხედვით.

პროფილების დაკვეთის გაადვილების მიზნით, სასურველია სხვადასხვა კალიბრის პროფილების რაოდენობა იქნეს უმცირესი.

ამ მიზნით, ჯერ ირჩევენ წამწის თითოეული ელემენტის განიკვეთს და შემდეგ შერჩეული კვეთების ნაწილს ცვლიან უდიდესი ფართობის მქონე პროფილით ისე, რომ სხვადასხვა კალიბრის კუთხედის რაოდენობა არ აღემატებოდეს  $6+8$ -ს. ამავე დროს, პროფილების ასეთი უნიფიცირება არ უნდა იწვევდეს წამწის მასის  $3-5\%$ -ზე მეტი სიდიდით გაზრდას.

8.5.1. წამწის შეკუმშული ღეროების განიკვეთის შერჩევა. შეკუმშული ელემენტების ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება მდგრადობის პირობით, ამიტომ ამ ელემენტების ზიდვის უნარი მოწმდება (2.70) ფორმულით

$$N/(\varphi A) \leq R_y \gamma_c \quad (8.13)$$

$\gamma_c$  არის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი აიღება დან. 14-დან;  $N$  არის გრძივი ძალვა.

(8.13) ფორმულაში არის ორი უცნობი: განიკვეთის ფართობი- $A$  და გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი  $\varphi$ , რომელიც არის მოქნილობისა ( $\lambda = l_0 / i$ ) და საანგარიშო წინააღობის ( $R_y$ )-ის ფუნქცია და აიღება დან. 8-დან;  $l_0$  არის ღეროს საანგარიშო სიგრძე;  $i = \sqrt{I/A}$  - კვეთის ინერციის რადიუსი, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია  $A$  ფართობზე.

გაანგარიშება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

ა) თავდაპირველად ინიშნება კვეთის ტიპი. ღეროების საანგარიშო სიგრძეების  $l_x$  და  $l_y$ -ის ფარდობის მიხედვით ირჩევენ 8.11 ნახაზზე ნაჩვენები პროფილებიდან ერთ-ერთს.

ბ) ინიშნავენ ღეროს მოქნილობას. მაგ. მსუბუქი წამწეებში სარტყლების მოქნილობა  $\lambda = 80 + 60$  და გისოსების მოქნილობა  $\lambda = 120 + 100$ . უფრო დიდი მოქნილობები შეირჩევა უფრო მცირე ძალებისას.

გ) დანიშნული მოქნილობისა ( $\lambda$ ) და საანგარიშო წინააღობის ( $R$ )-ის მიხედვით დან. 8-დან ისაზღვრება გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი  $\varphi$ .

დ) შემდგომ საფეხურზე უნდა განისაზღვროს კვეთის საჭირო განიკვეთის ფართობი.

$$A_{საჭ} = \frac{N}{\varphi R \gamma_c} \quad (8.14)$$

$\lambda$  დანიშნული მოქნილობის მიხედვით, ასევე უნდა ვიპოვოთ კვეთის საჭირო ინერციის რადიუსები

$$i_{საჭ} = l_{0x} / \lambda \quad (8.15)$$



$$i_{\text{საქ}} = i_{0y} / \lambda \quad (8.16)$$

(8.15) და (8.16) შორის აიღება უმცირესი  $i_{\text{min}}$ .

$A_{\text{საქ}}$  და  $i_{\text{საქ}}$  მიხედვით სორტამენტიდან ირჩევენ შესაბამისი კალიბრის პროფილს და იწერენ შესაბამის  $A$ -ს,  $i_x$  და  $i_y$ .  $i_x$  და  $i_y$  შორის უმცირესის მიხედვით იანგარიშება მოქნილობის  $\lambda_{\text{max}} = l_0 / i$  მაქსიმალურ მნიშვნელობა. მოქნილობის მაქსიმალურ მნიშვნელობის  $\lambda_{\text{max}} = l_0 / i$  და საანგარიშო წინაღობის  $R_y$ -ის მიხედვით ცხრილიდან ვირჩევთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს  $\varphi$ . საბოლოოდ ძაბვებს ვამოწმებთ მდრადობაზე ფორმულით:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \quad (8.17)$$

თუ პირობა დაკმაყოფილებულია ეტრეებით მიღებულ განიკვეთს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ვახდენთ თავიდან გადაანგარიშებას.

თუ ღეროს მოქნილობა დანიშნული იქნა არასწორად, მაშინ გაანგარიშებით მივიღებთ გადაძაბვას, ან მნიშვნელოვან დაუძაბავობას. ამ შემთხვევაში უნდა მოხდეს კვეთის კორექტირება დანიშნულ და ფაქტობრივ მოქნილობებს შორის აღებული მნიშვნელობების მიხედვით. ჩვეულებრივ მიზანი მიიღწევა მეორე მიახლოებით.

შეკუმშული ელემენტები, რომლებიც შესრულებული არიან გაგლინული პროფილებისაგან, ადგილობრივ მდგრადობაზე არ მოწმდება. მისი ადგილობრივი მდგრადობა უზრუნველყოფილია, რადგან კედლებისა და თაროების გაგლინვის პირობით სისქეები არის უფრო მეტი, ვიდრე ეს საჭიროა ადგილობრივი მდგრადობის პირობით. მილოვანი კვეთების კედლის მდგრადობა უზრუნველყოფილია, თუ  $r/t \leq 1,57 \sqrt{E/R_y}$ , სადაც  $r$ —რადიუსია;  $t$ —კედლის სისქე. ნაღუნ-ჩაკეტილი მართკუთხა ტიპის კვეთებისათვის კედლის ზღვრული მოქნილობა მდგრადობის პირობის  $\bar{\lambda}_w$ -ს მიხედვით განისაზღვრება,

$$\bar{\lambda}_w = (h_w/t) \sqrt{R_y/E} \leq \bar{\lambda}_{wcr}, \quad \bar{\lambda}_{wcr} = 1 + 0,2\bar{\lambda} \leq 1,6,$$

სადაც  $\bar{\lambda} = (l_0/i) \sqrt{R_y/E}$  — ღეროს პირობითი მოქნილობაა.

8.5.2. წამწის გაჭიმული ელემენტების კვეთის შერჩევა. გაჭიმული ელემენტების ზღვრული მდგრადობა განისაზღვრება ან გაგლეჯით, ან პლასტიკური დეფორმაციების მნიშვნელოვნად განვითარებით.

ფოლადებს, რომელთა დენადობის ზღვრის ნორმატიული მნიშვნელობა ნაკლებია  $R_y \leq 44$  კნ/სმ<sup>2</sup> გააჩნიათ განვითარებული დენადობის ბაქანი. ასეთი ელემენტების ზიდვის უნარი განისაზღვრება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების პირობიდან, ფორმულით,

$$\sigma = N/A_n \leq R_y \gamma_c \quad (8.18)$$

$A_n$  არის განივი კვეთის ნეტო ფართობი.

ელემენტებისათვის, რომლებიც დამზადებული არიან ფოლადებისაგან, რომელთაც არ გააჩნიათ გამოკვეთილი დენადობის ზღვარი (პირობითი დენადობის ზღვარი  $\sigma_{02} \geq 44$  კნ/სმ<sup>2</sup>), ასევე კონსტრუქციის ექსპლუატაცია შესაძლებელია დენადობის ზღვრის განვითარების შემდგომ, ზიდვის უნარის შემოწმება ხდება ფორმულით,

$$\sigma = N/A_m \leq (R_u/\gamma_u)\gamma_c \quad (8.19)$$

$R_u$  — დროებითი საანგარიშო წინაღობა;  $\gamma_u = 1,3$  საიმედობის კოეფიციენტი, რომელიც გამოიყენება დროებითი საანგარიშო წინაღობისას.

გაჭიმული ელემენტებისათვის, როცა  $R_u/\gamma_u \leq R_y$  განიკვეთის ფართობის შერჩევა ხდება ფორმულით.

$$A_{საგ} = N/(R_y \gamma_c) \quad (8.20)$$

შერჩეული განიკვეთი უნდა შემოწმდეს უდიდეს მოქნილობაზე, ის არ უნდა იყოს გაჭიმული ელემენტებისათვის მოქნილობის ზღვრულ მნიშვნელობაზე მეტი.

ტექნიკური ნომრებითა და პირობებით, შედუღებულ წამწეებში კუთხოვანების უმცირესი კალიბრი არ უნდა იქნეს ნაკლები 50X5-ზე, მოქლონურ წამწეებში - 65X5-ზე.

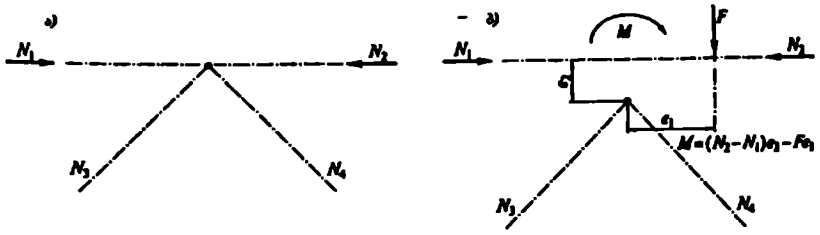
## 8.6. მსუბუქი წამწეების კონსტრუქციები

8.6.1. ზოგადი მითითებები. წამწეების კონსტრუქციებს იწყებენ მათი გეომეტრიული სქემების გამოხაზვით, რის შემდეგ წარმოებს კვანძების კონსტრუქციების დამუშავება.

შედუღებული წამწის სქემა ისე უნდა იქნეს გამოხაზული, რომ წამწის ღეროების გეომეტრიული ღერძები (მათი განიკვეთების სიმძიმის ცენტრში გამავალი ღერძი) შეთავსებული იქნეს წამწის გეომეტრიულ ღერძებთან და იკვეთებოდნენ კვანძების ცენტრებში (ნახ. 8.15,ა), თუ ეს წესი არ იქნება დაცული, კვანძებში წარმოიშობა დამატებითი მღუნავი მომენტი  $M = (N_2 - N_1)e_2 - Fe_1$ ,

რაც საგრძნობლად აუარესებს კვანძებისა და ღეროების მუშაობას (ნახ. 8.15,ბ).

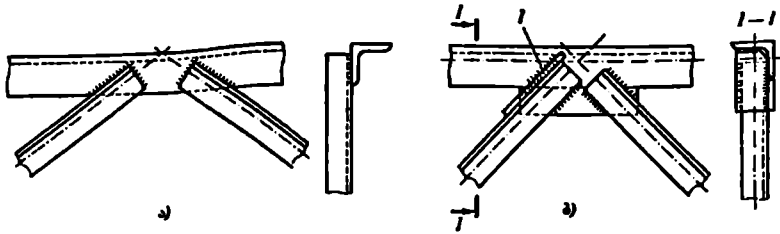
მოქლონურ წამწეებში კვანძების დაცენტრება წარმოებს ღეროების საკვანძო ფურცლებთან მისამაგრებლად საჯირო მოქლონების განლაგების ხაზებზე (ნაკაწრებზე). ღეროების დაცენტრება მოქლონების განლაგების ღერძებზე (ნაკაწრებზე) იწვევს კვანძებში ისეთ მომენტებს, რომელთა გაეღენა მუშაობაზე უმნიშვნელოა. წამწის ღეროების გადაჭრა წარმოებს მისი ღერძის მართობულად. საკვანძო შედუღების ნაკერების განლაგების მიზნით, ირიბანებისა და დგარების ბოლოებსა და წამწის სარტყლების კუთხოვანებს შორის თავისუფალი მანძილი უნდა იქნეს  $a = 6t - 20$  მმ, მაგრამ არა უმეტეს 80 მმ-სა ( $t$  - საკვანძო ფურცლის სისქეა მმ-ში) (ნახ. 8.17,გ). სასურველია ღეროების გეომეტრიული სიგრძეები, გამოხატული მმ-ში, ბოლოედებოდეს 0 ან 5 მმ-ით.



ნახ. 8.15. წამწის კვანძების დაცენტრების სქემა:  
 ა) შეთავსება გეომეტრიულ ღერძებთან; ბ) დამატებითი მომენტების განსაზღვრა ცენტრის გადაწევისას

8.6.2. წამწეები ცალმაგი კუთხოვანებისაგან. ცალმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილ მსუბუქ შედუღებულ წამწეებში კვანძები შეიძლება დაპროექტებული იქნეს საკვანძო ფურცლების გარეშე. ასეთ შემთხვევაში გისოსის ღეროები უშუალოდ ედუღება სარტყლის კუთხოვანის თაროს, კუთხური ნაკერებით (ნახ. 8.16). წამწის ელემენტების სიმძიმის ცენტრები მდებარეობენ სხვადასხვა სიბრტყეებში, რაც იწვევს მგრეხავი მომენტის წარმოქმნას. იმისათვის, რომ შემცირებული იქნეს მგრეხავი მომენტი, მიზანშეწონილია გისოსი მიმაგრებული იქნეს სარტყლის შიგა თაროსთან (ნახ. 8.16,ბ).

კვანძის სიხისტის გაზრდის მიზნით მიზანშეწონილია დაყენებული იქნეს დამატებითი თამასა-1. კუთხოვანები შეერთებული უნდა იქნეს კონტურზე მიდუღებით.



ნახ. 8.16. წამწეების კვანძები ცალმაგი კუთხოვანებისაგან:  
 ა)-საკვანძო ფურცლის გარეშე; ბ)-საკვანძო ფურცლის დამატებით.

8.6.3. წვეილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი წამწეები, მათი შუალედური კვანძების კონსტრუქცია და გაანგარიშება. ორი კუთხოვანისაგან შედგენილი წამწეების ღეროებს აქვს ტესებრი კვეთი. მის კვანძებს აპროექტებენ საკვანძო ფურცლებით, რომლებიც შეჰყავთ კუთხოვანებს შორის (ნახ. 8.3,ბ), (ნახ. 8.17). ელემენტში ძალები ნაწილდება ყუა და ფრთა ნაკერებს შორის.

შუალედური კვანძების კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახაზზე 8.17,ა,ბ. როგორც ამ ნახაზებიდან ჩანს, კვანძში შემაგალი ღეროების ერთმანეთთან დაკავშირება წარმოებს საკვანძო ფურცლის დახმარებით. ირიბანები და დგარები საკვანძო ფურცელს ემაგრება ფლანგური და შუბლური შედულების ნაკერებით. გისოსების შუბლურ ნაკერებს აქვთ კონსტრუქციული დანიშნულება და გაანგარიშებაში არ შედის. საკვანძო ფურცლების ზომები და მოხაზულობა განისაზრვრება კვანძის სქემით და შედულების ნაკერების სიგრძით. ტ. 5. და პირობებით კვანძის შედულების ნაკერების სიგრძე არ უნდა იქნეს  $4k_f$ -ზე და 40 მმ-ზე, სიმაღლე  $-k_f$  კი  $-4.4$  ცხრილში მოცემულ სიდიდეებზე ნაკლები.

საკვანძო ფურცლის მოხაზულობა განისაზრვრება კვანძის სქემითა და ღეროების მისამაგრებლად საჭირო შედულების ნაკერების ზომების ან მოქლონების რაოდენობით. საკვანძო ფურცელი უნდა იქნეს რაც შეიძლება მარტივი მოხაზულობის. საკვანძო ფურცლის მარტივი მოხაზულობის დროს მარტივდება მისი კონსტრუქცია და დამზადება, მცირდება ჩამონაჭურთა რაოდენობა. საკვანძო ფურცლის ყველაზე მარტივი მოხაზულობაა სწორკუთხა, ტრაპეციული და პარალელოგრამისებური (ნახ. 8.17;8.21). სასურველია ერთნაირი ტიპის კვანძებისათვის გამოყენებულ იქნეს ერთი ზომის საკვანძო ფურცლები, დამზადებული ერთი თარგით.

ტ. ნ. და პირობებით შედუღების ფლანგური ნაკერები, რომლითაც გისოსები უერთდება საკვანძო ფურცელს, გადაყვანილი უნდა იქნეს გისოსის ტორსზე, სიგრძით არა ნაკლებ 20 მმ-სა.

საკვანძო ფურცლის რეკომენდებული სისქეები მოცემულია ცხრ. 8.1-ში.

ცხრილი 8.1

საკვანძო ფურცლის რეკომენდებული სისქეები

გისოსის ღეროებში მაქსიმალური ძალვა, კნ	150-მდე	160-250	260-400	410-600
საკვანძო ფურცლის სისქე, მმ	6	8	10	12
გისოსის ღეროებში მაქსიმალური ძალვა, კნ	610-1000	1010-1400	1410-1800	1800-ზე მეტი
საკვანძო ფურცლის სისქე, მმ	14	16	18	20

გრძივების ან სახურავის რკინაბეტონის ფილების ზედა სარტყელზე დაყრდნობის მიზნით, ზედა კვანძების საკვანძო ფურცლები არ გადაიან ზედა სარტყლის კუთხოვანების თარაზული თაროების ნაპირებიდან და დაცილებულია მისგან (5-10) მმ-ით. საკვანძო ფურცლის ზედა ზედაპირის და კუთხოვანების თარაზულ თაროს შორის წარმოშობილი სიცარიელე იყვება შედუღების ნაკერით. ამ ნაკერის ხარისხის შემოწმება ძნელია, ამიტომ მისი სიმტკიცე ნაკერების გაანგარიშების დროს მხედველობაში არ მიიღება.

ქვედა სარტყლის შუალედურ კვანძებში საკვანძო ფურცლები სარტყლის კუთხოვანებიდან (10-15) მმ-ით გარეთ გამოდის და სარტყლის კუთხოვანებს ედუღება მთლიანი ან წვეკტილი ფლანგური ნაკერებით (ნახ. 8.17,ა). კვანძში შემავალ ღეროებში მოქმედი ძალის მიხედვით, საკვანძო ფურცლის სისქე აიღება ცხრ. 8.1-დან.

იმისათვის, რომ მივამაგროთ გრძივები წამწის ზედა სარტყელთან კუთხოვანას ნახერებებით ჭანჭიკებისათვის ადუღებენ მასზე (ნახ. 8.17,ბ). გადახურვის ფილების დაყრდნობის ადგილას ზედა სარტყლის კუთხოვანები ძლიერდება (10-14) მმ-ის სისქის საყრდენი ფურცლებით.

ზედა კვანძების ნაკერები, რომლებითაც საკვანძო ფურცლები მიდუღებულია ზედა სარტყლის კუთხოვანებთან, იანგარიშება

$N = N_2 - N_1$  ძალებზე,  $M = (N_2 - N_1) \cdot e_2 - F \cdot e_1$  მომენტზე და  $F$  კვანძურ შეყურსულ დატვირთვაზე (ნახ. 8.15,ბ).

ამ ძალების მიხედვით ნაკერის სიმტკიცე ნაკერის ლითონში და მის საზღვარზე მოწმდება ფორმულებით:

$$\sqrt{\tau_{wN}^2 + (\tau_{wM} + \tau_{wF})^2} \leq R_{wF} \gamma_w \gamma_c \quad (8.21)$$

$$\sqrt{\tau_{wN}^2 + (\tau_{wM} + \tau_{wF})^2} \leq R_{wz} \gamma_w \gamma_c \quad (8.22)$$

სადაც:

$$\tau_{wN} = \frac{N}{2\beta_f k_f l_w} \quad \tau_{wzN} = \frac{N}{2\beta_z k_f l_w}$$

არის  $N$  ძალის მიერ გამოწვეული ძაბვები ერთი ნაკერის ლითონში და მის საზღვარზე;

$$\tau_{wM} = \frac{M}{\beta_f k_f l_w^2} \quad \tau_{wzM} = \frac{M}{\beta_z k_f l_w^2}$$

$M$  მომენტით გამოწვეული ძაბვები ნაკერის იმავე კვეთებში;

$$\tau_{wF} = \frac{F}{\beta_f k_f l_w} \quad \tau_{wzF} = \frac{F}{\beta_z k_f l_w}$$

$F$  ძალით გამოწვეული ძაბვები ნაკერის ლითონში და მის საზღვრებზე.

$k_f$  და  $l_w$  — ნაკერის სიმაღლე და სიგრძეა;

როდესაც შესადულებელი ელემენტების დენადობის ზღვარი ნაკლებია 580 მპა-ზე  $\beta_f$  და  $\beta_z$  აიღება ცხრილი 4.5-დან. როდესაც დენადობის ზღვარი მეტია 580 მპა-ზე  $\beta_f = 0,7$  და  $\beta_z = 1$ -ს.

$\gamma_w, \gamma_c$  — კუთხური ნაკერების მუშაობის პირობების კოეფიციენტებია, რომლებიც აიღება პუნქტი 4.2.2-ის მიხედვით.

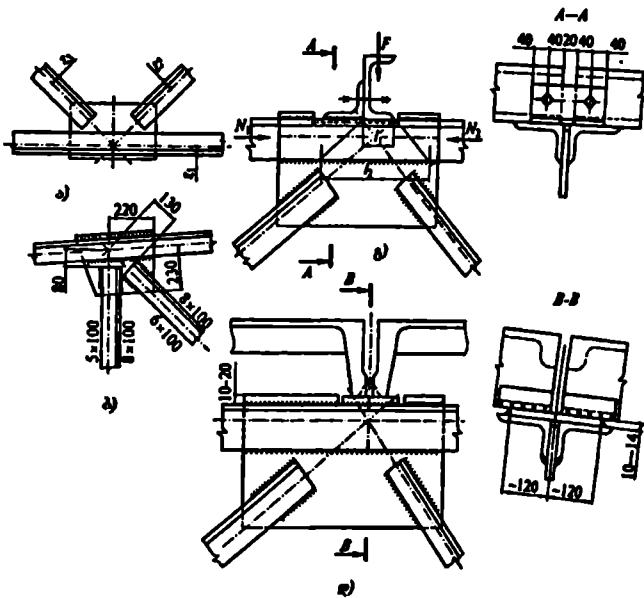
$R_{wF}, R_{wz}$  — კუთხური ნაკერების საანგარიშო წინააღმდეგობა აიღება ცხრ. 4.3-დან.

$N_1$  და  $N_2$  — ზედა სარტყლის კვანძთან მიმდებარე მარცხენა და მარჯვენა პანელებში მოქმედი მკუმშავი საანგარიშო ძალებია.

ქვედა კვანძების საკვანძო ფურცლებთან სარტყლის კუთხოვანების მისამაგრებლად საჭირო შედულების ფლანგური ნაკერების სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით:

ნაკერის ლითონში:

$$\frac{N}{\beta_f k_f \Sigma l_w} \leq R_{wF} \gamma_w \gamma_c \quad (8.23)$$



ნახ. 8.17. წყვილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი წამწეების კვანძები: ა)-ღეროების დაცენტრება, ქვედა კვანძი; ბ)-ზედა კვანძი ირიბნებიანი გისოსისას; გ)-გრძობების მიმაგრება;

ნაკერის ლითონის საზღვარზე:

$$\frac{N}{\beta_2 k_f \sum l_w} \leq R_{wz} \gamma_w \gamma_c \quad (8.24)$$

სადაც  $\sum l$  — ფლანგური შედულების ნაკერების ჯამური სიგრძეა;

$N = N_1 - N_2$  ქვედა კვანძის მარცხნივ და მარჯვნივ მიმდებარე პანელების სარტყლებში მოქმედი ძალეათა სხვაობა (ნახ. 8.17,ა).

ირიბანებისა და ღებარების საკვანძო ფურცლებთან მისამაგრებლად საჭირო შედულების ნაკერის ზომების შერჩევა წარმოებს მათში მოქმედი საანგარიშო ძალების მიხედვით. ასეთი ნაკერის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით:

ნაკერის ლითონში:

$$\sigma = \frac{D}{\beta_f k_f \sum l_w} \leq R_{\sigma} \gamma_w \gamma_c \quad (8.25)$$

ნაკერის ლითონის საზღვარზე:

$$\sigma = \frac{D}{\beta_x k_f \sum l_w} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c \quad (8.26)$$

სადაც  $D$  ირიბანაში (დგარში) მოქმედი გრძივი ძალაა.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული კონსტრუქციული მოსაზრებით, გისოსების (ირიბანების, დგარების) ფლანგური ნაკერები გადაყვანილი უნდა იქნეს გისოსების ტორსებზე 20 მმ-ით.

საკვანძო ფურცლების მოხაზულობისა და ზომების საბოლოოდ დადგენის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული, რომ საკვანძო ფურცლის მოხაზულობა შეესაბამებოდეს კვანძში მოქმედი მთავარი ძაბვების ღეროდან სარტყელზე გავრცელების ტრაექტორიას. ამ მიზნით საკვანძო ფურცლის კიდესა და დგარის კუთხოვანი წიბოს შორის კუთხე არ უნდა იქნეს ნაკლები  $< (15-18)^\circ$  -ზე (ნახ. 8.17,ბ).

ტესებრი ან ჯვარედინი ღეროების შემადგენელი კუთხოვანების ერთობლივი მუშაობისათვის, კუთხოვანების შეეულ თაროებს შორის იდგმება მცირე ზომის სწორკუთხა მოხაზულობის ფურცლები—შუასადები. თითოეულ ღეროში შუასადების რაოდენობა უნდა იქნეს არა ნაკლები ორისა.

შუასადების ღეროებს შორის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს:

$$\text{შეკუმშულ ღეროებში } l_1 \leq 40i, \quad (8.27)$$

$$\text{გაჭიმულ ღეროებში } l_1 \leq 80i, \quad (8.28)$$

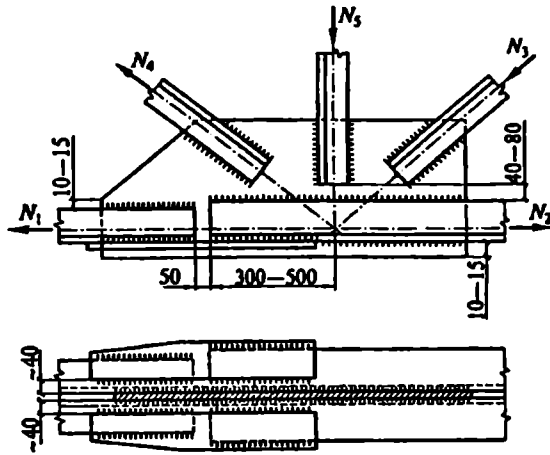
სადაც  $i$ , არის განივი კვეთის შემადგენელი ერთი კუთხოვანის ინერციის რადიუსი, მისი სიმძიმის ცენტრში გამავალი შუასადების პარალელური ღერძის მიმართ

შუასადების უმცირესი სიგანე არ უნდა იქნეს ნაკლები  $0,8b_f$  -სა ან 60 მმ-ის, სადაც  $b_f$  კუთხოვანას თაროს სიგანეა. შუასადების სიგრძე წამწის შეეულ სიბრტყეში 20–30 მმ-ით მეტი იყოს უნდა პროფილის სიმაღლეზე (შედულების ნაკერების უკეთ განლაგების მიზნით).

8.6.4. სამონტაჟო შეპირაპირების კვანძი. წამწეების ლითონის კონსტრუქციების ქარხნიდან მშენებლობის ადგილზე გადაზიდვის მიზნით, აუცილებელია მათი დაგეგმარების დროს გათვალისწინებული იქნეს სამონტაჟო პირაპირების განლაგების სქემა და კონსტრუქცია. სამონტაჟო პირაპირები ისე უნდა დაინიშნოს, რომ გადასაზიდი ერთეულის ზომები და მასა არ აღემატებოდეს გადასაზიდი ტრანსპორტის გაბარიტულ ზომებსა და ტვირთამწეობას.



თუ ფოლადის ხარჯის შემცირების მიზნით კვანძებში ეწყობა საქარხნო პირაპირი, ასეთ კვანძებში სარტყლების შეერთებები უნდა გადაიფაროს ფურცლოვანი ან კუთხოვანის ზესადებით (ნახ.8.18).



ნახ. 8.18. წამწის სარტყლების საქარხნო პირაპირები კეუთის ცვლილებისას.

8.19 ნახაზზე ნაჩვენებია წამწის სამონტაჟო პირაპირების განლაგების სქემა. სარტყლის პირაპირები შეიძლება მოთავსდეს როგორც პანელის ფარგლებში, ასევე წამწის კვანძებში. ჩვეულებრივ, ქვედა სარტყლის პირაპირები ეწყობა ქვედა შუალედურ კვანძებში (ნახ. 8.19); ზედა სარტყლის პირაპირი—წამწის კეხის კვანძში (ნახ. 8.19); პირაპირების ასეთი კონსტრუქციის დროს საკვანძო ფურცელი გამოყენებულია, როგორც პირაპირის შემაერთებელი ელემენტი. ხშირად, საკვანძო ფურცლის გადაძაბვის თავიდან აცილების მიზნით, პირაპირები დამატებით გადახურულია ორი კუთხოვანის ჩამონატყვებით.

პირაპირების კუთხოვანების (ზესადების) ზომები აიღება იგივე, რაც სარტყლის კუთხოვანებისა პირაპირების კვანძებში მოწყობის შემთხვევაში, კვანძში შემავალი სარტყლების, ირიბანებისა და დგარების საკვანძო ფურცელთან მისამაგრებლად საჭირო შედუღების ნაკერების ზომების შერჩევა წარმოებს მათში მოქმედი საანგარიშო ძალების მიხედვით. ასეთი ნაკერების სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით:

$$\sigma = \frac{N}{\beta_f k_f l_w} \leq R_{wf} \gamma_w \gamma_c \quad \sigma = \frac{N}{\beta_z k_f \sum l_w} \leq R_{wz} \gamma_w \gamma_c \quad (8.29)$$

8.6.5. საყრდენი კვანძები. კონსტრუქციის მიხედვით წამწის საყრდენი კვანძები შეიძლება იქნეს სახსრული და ხისტი. პირველი ტიპის საყრდენი კვანძი გეგმარდება წამწის კედლებზე ან სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში (ნახ. 8.21), მეორე ტიპის— წამწის სვეტებთან ხისტად მიერთებისას.

ტრაპეციული და პარალელურსარტყლებიანი მოხაზულობის წამწების სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში საყრდენი კვანძი შედგება (ნახ. 8.21): საყრდენი ფილის, საკვანძო ფურცლისა და სიხისტის წიბოებისაგან. საკვანძო ფურცელი გამოდის სარტყლის კუთხედების თარაზული თაროებიდან და მიდუღებულია საყრდენ ფილასთან. სიხისტის წიბოების დანიშნულებაა გადასცეს წამწის შვეული რეაქცია საყრდენ ფილას განაწილებულად და ამავე დროს უზრუნველყოს კვანძის სიხისტე წამწის სიბრტყის გარეთ. ამ მიზნით, სიხისტის წიბოები მიდუღებულია, როგორც საკვანძო, ასევე საყრდენ ფურცლებთან. საკვანძო ფურცელში ძაბუათა კონცენტრაციის თავიდან აცილებისა და შედუღების ნაკერების მოწყობის მოხერხებულობის მიზნით, მანძილი ქვედა სარტყლის კუთხოვანას თარაზული თაროებიდან საყრდენ ფურცლებამდე აიღება თაროების სიგრძის ტოლი და არანაკლებ 150 მმ-სა.

საყრდენი ფილის საჭირო ფართობი განისაზღვრება საყრდენი მასალის სიმტკიცის პირობით კუმშვაზე

$$A \geq F_R / R_{sup} \quad (8.30)$$

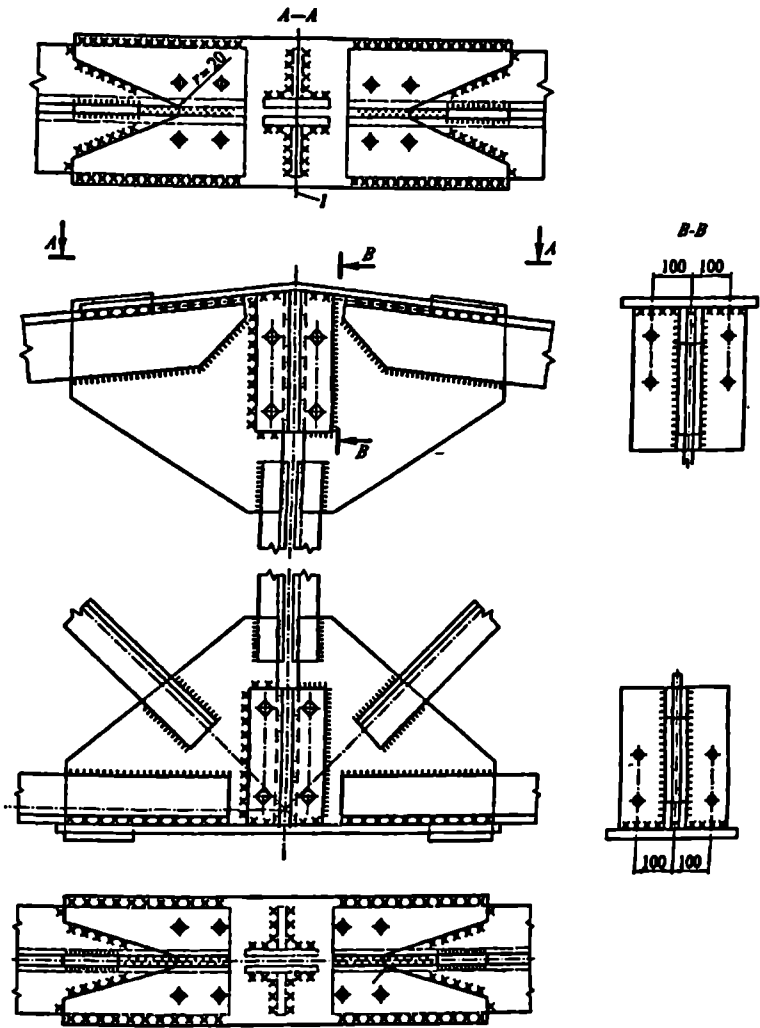
სადაც  $F_R$  არის წამწის საყრდენი რაქცია;

$R_{sup}$ —საყრდენის მასალის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე (მაგალითად, რკინაბეტონის სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში— ბეტონის საანგარიშო წინაღობაა კუმშვაზე. კედლებზე დაყრდნობის შემთხვევაში—კედლის წყობის საანგარიშო წინარობა თელვაზე) საყრდენი ფილის სისქე განისაზღვრება მისი სიმტკიცის პირობით ღუნვაზე.

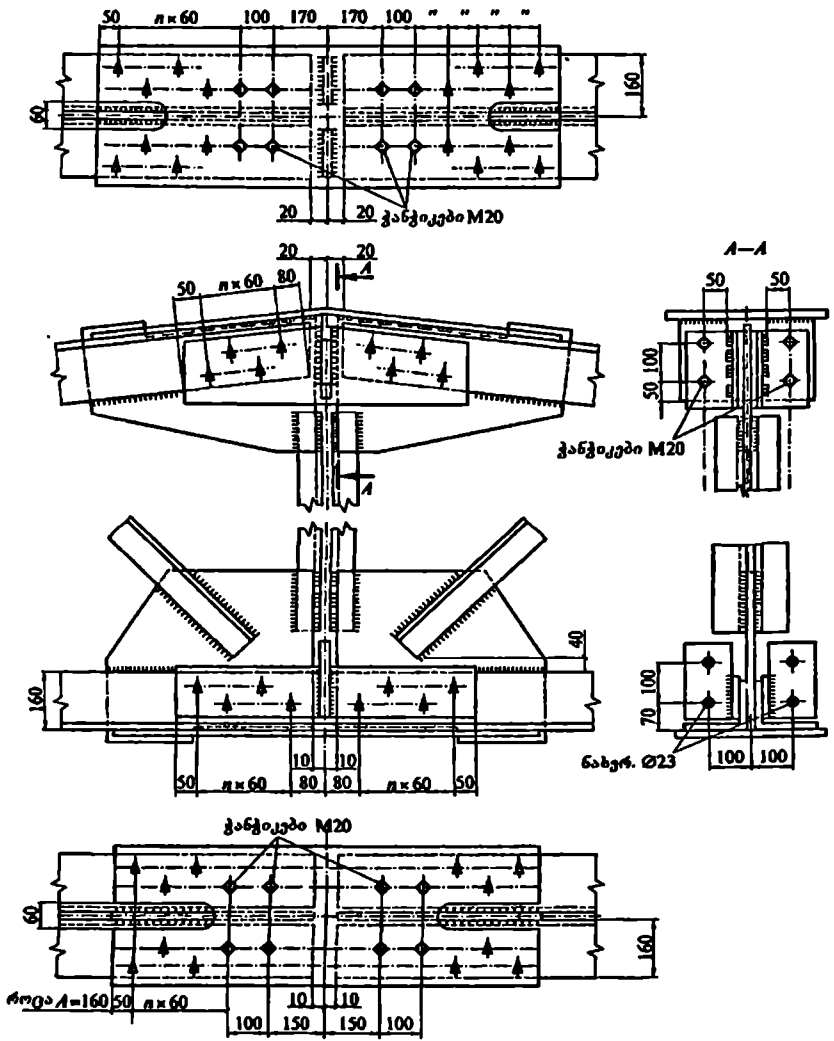
სამკუთხა მოხაზულობის წამწის საყრდენი კვანძის კონსტრუქცია ნაჩვენებია 8.21. ნახაზზე. აქ დაყრდნობა ხდება ზედა სარტყლის დონეზე. ასეთი კვანძის გაანგარიშება წარმოებს ტრაპეციული წამწის საყრდენი კვანძის ანალოგიურად.

ნაკერებს, რომლებიც ადუღებენ საკვანძო ფურცელს და საყრდენ ღვარს ფილასთან, ანგარიშობენ საყრდენი რეაქციის მიხედვით

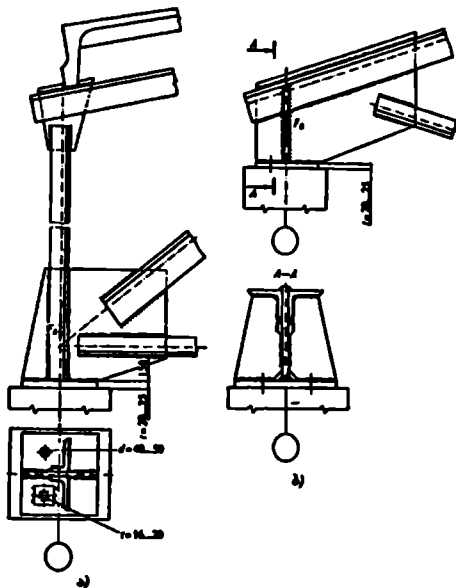
$$F_R / (k_f \sum l_w) \leq (R_w \beta)_{\min} \gamma_c$$



ნახ. 8.19. წვეილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი  
 შედლებული წამწის პირაპირი;  
 1-გადაღუნვის ხაზი.



ნახ. 8.20. წვეილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი პანჯიკებიანი წამწის პირაპირი;



ნახ. 8.21. წამწის საყრდენი კეანძები:  
 ა)-დაყრდნობა ქვედა სარტყლის დონეზე  
 ბ)-დაყრდნობა ზედა სარტყლის დონეზე

ნახერეტების დიამეტრი საყრდენ ფილაში (2-2,5) მმ-ით მეტი უნდა იყოს ჭანჭიკების დიამეტრზე. საყრდენი ფურცლის მაგიდაზე მჭიდროდ დაყრდნობის მიზნით, მისი ქვედა ტორსი დაფრეზულია (დაღარულია) და დაცილებულია სარტყლიდან 150 მმ-ით.

### 8.7. მილოვანი წამწეები

წამწეების ერთ-ერთი რაციონალური სისტემაა მილოვანი წამწეები. სხვა განხილულ წამწეებთან შედარებით, მილოვანი წამწეების დადებითი მხარეებია: ფოლადის ხარჯისა და ღირებულების სიმცირე (10+30%), კოროზიისადმი მაღალი მედეგობა, სამონტაჟო და შედუღებითი სამუშაოების ნაკლები რაოდენობა, შესრულებული სამუშაოების ხარისხის შემოწმების სიადვილე, ღურობების ურთიერთმართობულ სიბრტყეებში თანაბარი მდგრადობა,

გაწმენდისა და შეღებვის სიადვილე, კარგი გარეგანი სახე და სხვა. ამავე დროს, მათ გააჩნია უარყოფითი მხარეებიც: კვანძების კონსტრუქციებისა და მუშაობის სირთულე, ბოლოების დასამუშავებელი სპეციალური ჩარხების საჭიროება.

წამწების ღეროები გეგმარდება უნაკერო (ГОСТ 8732-58) ან შეღებულ მილებისაგან (ГОСТ 10704-53).

მილოვანი წამწების ზედა და ქვედა სარტყლები გეგმარდება ერთნაირი განიკვეთის და სიგრძის. სარტყლების მილის კედლის სისქე რეკომენდებულია მიღებული იქნეს არანაკლები  $1/40 + 1/50$  მილის დიამეტრისა და, როგორც წესი,  $1+2$  მმ-ით მეტი უნდა იყოს მილოვანი გისოსების კედლის მინიმალური სისქეზე. სარტყლის მილების კედლის მინიმალური დასაშვები სისქე 3 მმ-ია, ხოლო გისოსებისა-2,5 მმ. მილოვანი ელემენტების კვანძებში შეუღლების კოროზიისაგან დაცვის მიზნით, უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს წამწის შიგა ზედაპირის სრული ჰერმეტიზაცია. 8.22, 8.23 ნახაზებზე მოყვანილია მილოვანი წამწების კვანძების კონსტრუქციების რამდენიმე ვარიანტი. აქედან ყველაზე რაციონალურია კვანძები გისოსების სარტყლებთან უშუალო მიერთებით (ნახ. 8.22.) ელემენტების დაცენტრება ხდება გეომეტრიული ღერძების მიმართ. სარტყლის ზიდვის უნარის არასრულად გამოყენებისას დასაშვებია კვანძის დაცენტრება სარტყლის დიამეტრის  $1/4$  სიდიდის ექსცენტრისიტეტით. გისოსების კვანძებთან უშუალოდ მიერთებისას, მათი ფიგურული ამოჭრა ხდება სპეციალური მანქანებით, რაც უზრუნველყოფს შეერთების მაღალ ხარისხს. ნაკლებად შრომატევადია და მცირეა მასალის ხარჯიც. ასეთი კვანძური შეუღლების თეორიული გაანგარიშება რთული ამოცანაა; იგი მიეკუთვნება ურთიერთგადაკვეთილი ცილინდრული გარსების გაანგარიშების სფეროს. გაანგარიშება რთულდება იმითაც, რომ მილოვანი წამწების კვანძებში შეღებების ნაკერის სიმძიმის ცენტრი არ ემთხვევა ძალვის მოქმედების წირს; ამიტომ ძალების განაწილება კვანძის შეღებების ნაკერებში არათანაბარია. მათი ზიდვის უნარი მოწმდება ცალკეულ უბნებში. გისოსის მილოვანი ღეროს მისაერთებელი კუთხური შეღებების ნაკერის სიმტკიცე ნაკერში და ნაკერის საზღვარზე მოწმდება ფორმულებით:

$$\frac{N}{\beta_f k_f l_w} \leq R_w \gamma_w \gamma_c \quad \frac{N}{\beta_2 k_f l_w} \leq R_w \gamma_w \gamma_c \quad (8.31)$$

სადაც  $R_w, R_w$  არის კუთხური ნაკერის საანგარიშო წინაღობები;  
 $\gamma_w, \gamma_w$  - ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;  
 $\gamma_c = 0,85$  - კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

$k_f$  და  $l_w$  - ნაკერის სიმაღლე და სიგრძე; უკანასკნელი განისაზღვრება ფორმულით:

$$l_w = \frac{\pi d \xi}{2} \left[ \frac{3}{2} (1 - \operatorname{cosec} \alpha) - \sqrt{\operatorname{cosec} \alpha} \right] \quad (8.32)$$

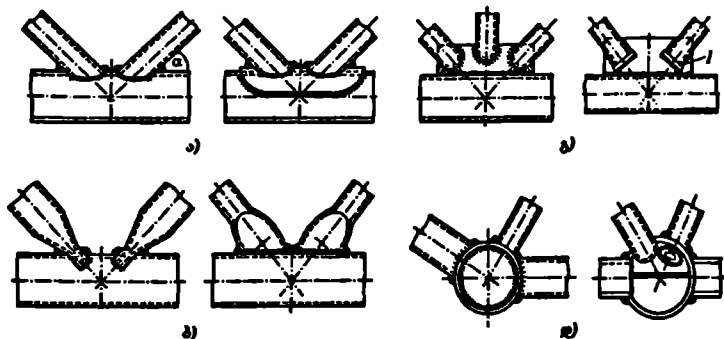
სადაც  $\alpha$  - კუთხეა ირიბანასა და სარტყელს შორის.  $\xi$  - კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ირიბანასა სარტყელის მიღების დიამეტრების ფარდობის მიხედვით აიღება ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი 8.2-დან (ნახ. 8.22, ა).

### ცხრილი 8.2

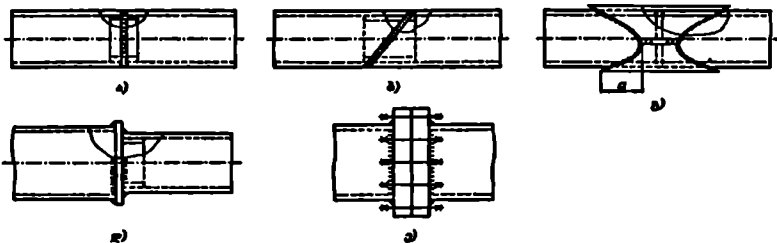
$\xi$  - კოეფიციენტის მნიშვნელობები

$\gamma = d/D$	0,2	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95	1,0
$\xi$	1	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,12	1,22

მილის ბოლოების ფიგურულად დამამუშავებელი ჩარხის უქონლობისას, კვანძებში ღეროების შეერთება შეიძლება გისოსების ბოლოების გაბრტყელებით (შეტყლევით) (ნახ. 8.22, ბ); გამონაკლის შემთხვევაში - საკვანძო ფურცლებით (ნახ. 8.22, გ). ბოლოების გაბრტყელება დასაშვებია მცირენახშირბადიანი ფოლადის მილებისათვის.



ნახ. 8.22. მილოვანი წამწეების კვანძებზე:  
 ა) - უშუალო მიერთებით; ბ) - გისოსების ბოლოების  
 შეტყლევით; გ) - საკვანძო ფურცლით;  
 დ) - ჩასასმელი ელემენტით; l - დამსშობი.



ნახ. 8.23. მილოვანი ღეროების პირაპირები:  
 ა)-სარჩულის საშუალებით; ბ)-ირიბი შედუღების  
 ნაკერი; გ)-წყვილი, რგოლური, ფიგურული  
 ამოჭრით; დ)-მილტუნით-ჭანჭიკებზე.

კვანძებში სადაც ხდება სარტყლის ღერძის გარდატეხა, ასევე მასში თავმოყრილი ღეროების დიდი რაოდენობისას გამოიყენება ცილინდრული ან სფერული კვანძები (ნახ. 8.2,დ).

8.23 ნახაზზე მოყვანილია სარტყლის მიღების პირაპირების კონსტრუქციები. ერთი სიდიდის დიამეტრის მიღების პირაპირული შეერთება სრულდება მილში ჩატოვებული რგოლის-სარჩულის საშუალებით (ნახ. 8.23,ა). ასეთი შეერთების გაჭიმვასა და კუმშვაზე სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{N}{\pi D_{\text{საშ}} t} \leq R_{\gamma} \gamma_c \quad (8.33)$$

სადაც  $D_{\text{საშ}}$  არის შესაერთებელი მიღებიდან უმცირესი სისქის მილის საშუალო დიამეტრი;

$t$  — შესაერთებელი მიღების კედლის უმცირესი სისქე.

პირაპირულ შეერთებაში სარჩულით (ნახ. 8.23,ა) ნაკერი და შესაერთებელი ელემენტები თანაბარი სიმტკიცისაა, თუ შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა არ არის ნაკლები მილის ფოლადის საანგარიშო წინაღობაზე. თუ შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა ნაკლებია მილის ფოლადის საანგარიშო წინაღობაზე, მაშინ შეერთებას რგოლურ სარჩულზე ასრულებენ ირიბი შედუღების ნაკერით (ნახ. 8.23,ბ). როდესაც ირიბი ნაკერის სიმტკიცეც საკმარისი არ არის, შეერთება სრულდება წყვილი ფიგურულად ამოჭრილი რგოლური ზესადებით (ნახ. 8.23,გ). მონტაჟისას ხშირად გამოიყენება შეერთება მილტუნით-ჭანჭიკებზე (ნახ. 8.23,დ).

ფიგურულად ამონაჭერი ზესადებით შეერთებისას, შედუღების ნაკერის მიახლოებითი სიგრძე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

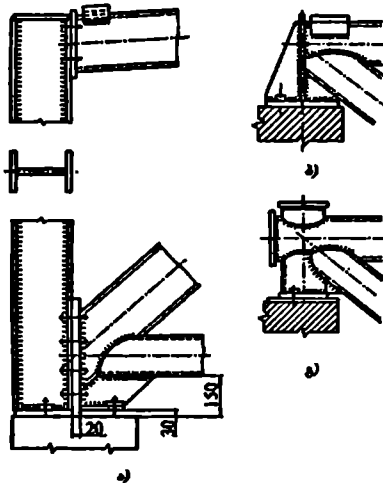


$$l_w \approx 2n \cdot \sqrt{a^2 + \left(\frac{\pi D}{2n}\right)^2} \quad (8.34)$$

სადაც  $a$  — ზესადების ფიგურული ამონაჭრის სიღრმეა მილის ღერძის გასწვრივ;  $n$  — ამონაჭრების რიცხვი.

მილოვანი წამწების საყრდენი კვანძები, ისე როგორც ჩვეულებრივ წამწებებში, აუცილებელია დაგვემარდეს ხისტი საყრდენი დგარებით. ასეთი დგარებით ხდება საყრდენი რეაქციების გადაცემა საყრდენ კონსტრუქციებზე.

საყრდენი დგარი შეიძლება დაგვემარდეს ორტესებრი პროფილის შედგენილი სამი ფურცლისაგან (ნახ. 8.24, ა), ან მილის გადანაჭრისაგან (ნახ. 8.24, გ). საყრდენი დგარი უყრდნობა ფილას. უკანასკნელის დანიშნულებაა წამწის საყრდენი რეაქცია საყრდენ კონსტრუქციას გადასცეს განშლილად (განაწილებულად).



ნახ. 8.24. მილოვანი წამწების საყრდენი კვანძები:

ა) — საყრდენი დგარი ფურცლებისაგან; ბ) — წამწის სახსრულად დაყრდნობა და გ) — საყრდენი დგარი მილის გადანაჭრისაგან.

წამწის შეკუმშული ელემენტების განივეკეთის შერჩევა წარმოებს (2.70) ფორმულით. ამ ფორმულით გაანგარიშების დროს, მოქნილობა  $\lambda$  — განსაზღვრისას, წამწის ელემენტების საანგარიშო სიგრძე  $l_0$  აიღება: 1) წამწის სიბრტყეში სარტყლების, საყრდენი ირიბანებისა და დგარებისათვის  $l_f = l_x = l$  სხვა ელემენტებისათვის გაუბრტყელებელი ბოლოებით —  $l_x = 0,9l$ ; თუ ბოლოები

გაბრტყელებულია- $l_x = 1$ ; 2) წამწის სიბრტყიდან გაანგარიშებისას: სარტყლების, საყრდენი ირიბანებისა და დგარებისათვის  $l_{\sigma} = l_1$ . სხვა ელემენტებისათვის გაუბრტყელებელი ბოლოებით -  $l_{\sigma} = l_y = 0,9l_1$ . როდესაც ბოლოები გაბრტყელებულია  $l_y = l_1$ .

მოყვანილ ტოლობებში  $l$  არის მანძილი მეზობელი კვანძების ცენტრებს შორის წამწის სიბრტყეში (ელემენტის გეომეტრიული სიგრძე);

$l_1$ -მანძილი დამაგრების წერტილებს (კვანძებს) შორის წამწის სიბრტყიდან.

გადახურვის სივრცითი სიხისტის უზრუნველსაყოფად ეწყობა მილოვანი, თარაზული და შეეული კაეშირები. კაეშირების სქემა და განლაგება ანალოგიურია ზემოთ განხილული წამწეების კაეშირებისა. განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ კაეშირის ღეროებს აქვს გაბრტყელებული ბოლოები და ჭანჭიკებით ემაგრება წამწის საკვანძო ფურცელს.

### 8.8. წინასწარ დაძაბული წამწეები.

8.8.1. კონსტრუქციული სქემები. ისე, როგორც ფოლადის წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციების უმეტესობაში, წამწეების წინასწარი დაძაბვა წარმოადგენს ამ სისტემებში ფოლადის დანახარჯის შემცირების ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას.

წამწეებს ან მის ელემენტებს საექსპლუატაციო დატვირთვების გადაცემამდე ძაბვენ ისე, რომ დამატებით გამოწვეულ ძაბვებს ჰქონდეთ საანგარიშო დატვირთვის შესაბამისი ძალების საწინააღმდეგო მიმართულება.

დაძაბვა შეიძლება განხორციელდეს ორი წესით: უჭრ წამწეებში-საყრდენების გადაადგილებით, ჭრილ წამწეებში-საკოჭების მოჭიმვით. აქედან ყველაზე გავრცელებულია დაძაბვა საკოჭებით (ნახ. 8.25). საკოჭებად გამოიყენება მალალი სიმტკიცის მავთულთა კონა ან ბაგირები. დაჭიმულობის ძალის სიდიდის მიხედვით, საკოჭის ბოლოები მაგრდება ჭიქური ან მასრული ტიპის ანკერებში (ნახ. 8.26). საკოჭების მოჭიმვა ხდება ორმაგი მოქმედების პილრაელიკური დომკრატებით. ძაბვენ წამწეების ცალკეულ ელემენტებს. (ნახ. 8.25,ა), ან მთლიანად წამწეებს (ნახ. 8.25,ბ-ვ). დაძაბვის პირველი სახე გამოიყენება იშვიათად, მხოლოდ მძიმე წამწეების შემთხვევაში, მაშინ როდესაც თითოეული ელემენტი მზადდება ლითონის კონსტრუქციების საამქროში და წარმოადგენს სამონტაჟო გადასახიდ ელემენტებს.

8.25 ნახაზზე მოყვანილია მსუბუქი წინასწარ დაძაბული წამწეების სქემები საკოჭებით.

8.25 ნახაზზე საკოჭები განლაგებულია წამწის გაჭიმული სარტყლების მხარეს. ასეთ სისტემებში წინასწარი დაჭიმულობის ძალის გავლენა ვრცელდება მხოლოდ გაჭიმული სარტყლის ელემენტებზე. წამწეები დაძაბული სარტყლებით გეგმარდება მაშინ, როდესაც სარტყლების მასა ბევრად ჭარბობს დანარჩენი ელემენტების მასებს და საჭიროა მათი შემცირება (მაგ. სეგმენტურ წამწებში, ნახ. 8.25,ბ).

დაძაბვის ყველაზე ეფექტური საშუალებაა წამწეების დაძაბვა მის გარეთ გამოტანილი საკოჭებით.

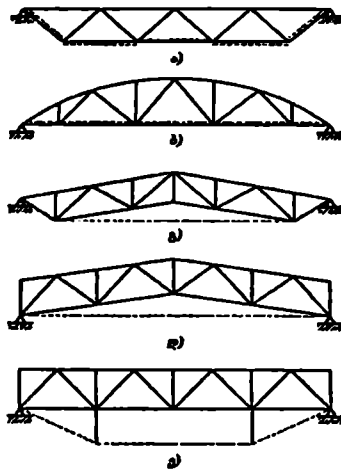
ნახ. 8.25,გ,დ ნახაზზე ნაჩვენებია წინასწარ დაძაბული თაღოვანი წამწეები საკოჭებით. ასეთ წამწეებში, საკოჭების დაჭიმულობის ძალის ზეგავლენით, წამწის როგორც სარტყლების, ისე გისოსების უმეტეს ელემენტებში მოქმედებენ საექსპლუატაციო დატვირთვების შესაბამისი ძალების საწინააღმდეგო ნიშნის ძალები. ამის შედეგად, ფოლადის ხარჯი „თაღოვან-საკოჭებიან“ წამწეებში მცირდება 38-45%-მდე.

შესაძლებელია საკოჭის გარეთ გამოტანა, რითაც მიიღება შპრენგელის ტიპის წინასწარ დაძაბული წამწე. ასეთი კონსტრუქციების უარყოფითი მხარეა დიდი გაბარიტული ზომები.

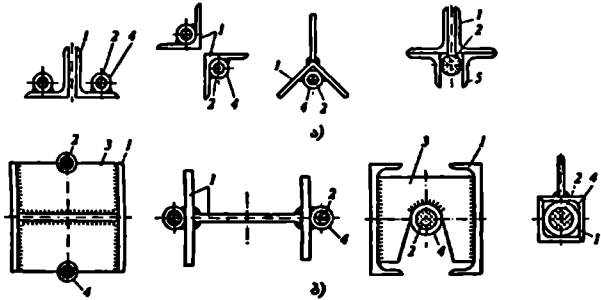
წამწეების წინასწარ დაძაბვა ხორციელდება საკოჭების ერთ-ჯერ ან მრავალჯერ მოჭიმვით.

პირველ შემთხვევაში წამწებს წინასწარ ძაბვენ და შემდეგ გადასცემენ მათ (საექსპლუატაციო მდგომარეობაში) მუდმივ და დროებით დატვირთვებს. დაძაბვის ასეთი წესის დადებითი მხარეა დაძაბვისა და საწარმოო სამუშაოთა სიმარტივე (წინასწარ დაძაბული წამწეები მზა ნაწარმის სახით გადააქვთ ადგილზე და იდგმება საპროექტო მდგომარეობაში), ამავე დროს, ასეთ წამწეებში წინასწარი დაჭიმულობის ძალა იზღუდება შეკუმშული ელემენტის მდგრადობის პირობით, რაც მათი უარყოფითი მხარეა.

მეორე შემთხვევაში წამწეს ჯერ ძაბვენ ისე, რომ შეკუმშულმა ელემენტებმა (სარტყელი, ირიბანა) არ დაკარგოს მდგრადობა და შემდეგ გადასცემენ მას მუდმივი დატვირთვის ნაწილს. ამით წამწის ელემენტებში საკოჭის დაჭიმვით წარმოშობილი მკუმშავი ძაბვები მცირდება. შემდგომ ახდენენ საკოჭის ხელმეორედ დაჭიმვას განსაზღვრულ ძალამდე და ისევ გადასცემენ მას მთლიან მუდმივ დატვირთვას (მკუმშავი ძალების შემცირების მიზნით). ამის შემდეგ აგრძელებენ დაძაბვას საკოჭის წინასწარი დაძაბულობის ოპტიმალურ საკონტროლო ძალამდე. ამით მთავრდება წამწის წინასწარი დაძაბვის პროცესი და სისტემა მზადდა საექსპლუატაციო დატვირთვების მისაღებად.



ნახ. 8.25. საკოჭების განლაგება წინასწარ დაძაბულ წამწევებში: ა)-ცალკეული პანელების წინსწარი დაძაბვა; ბ)-ქვედა სარტყლის მთელ სიგრძეზე; გ)და დ)-"თალი საკოჭით"; ე)-შპრენგელის ტიპის.



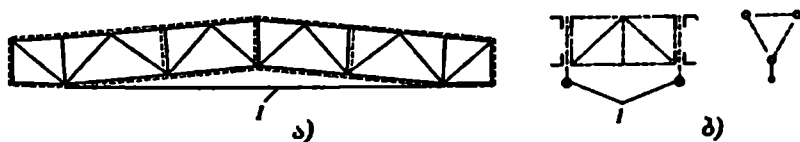
ნახ. 8.26. საკოჭების განლაგება მსუბუქ (ა) და მძიმე (ბ) წამწევების ღეროების განიკვეთებში: 1-ღერო; 2-საკოჭი; 3-დიაფრაგმა; 4-მილის გადანაჭერი; 5-კუთხოვანას გადანაჭერი.

დაძაბვის ასეთი მრავალსაფეხურიანი წესი წარმოადგენს ფოლადის დანახარჯის შემცირების უაღრესად ეფექტურ საშუალებას, მაგრამ დაკავშირებულია საწარმოო სიძნელებებთან. ასე მაგალითად, ასეთი წესით დაძაბვის დროს წამწევების დაძაბვა შესაძლებელია მხოლოდ იმის შემდეგ, როდესაც ისინი დაიდგმება

საპროექტო მდგომარეობაში და შეიკრება კავშირებით ან დაიდგმება მიწაზე წყვილი წამწეებისაგან შემდგარი ბლოკების სახით (ნახ. 8.27).

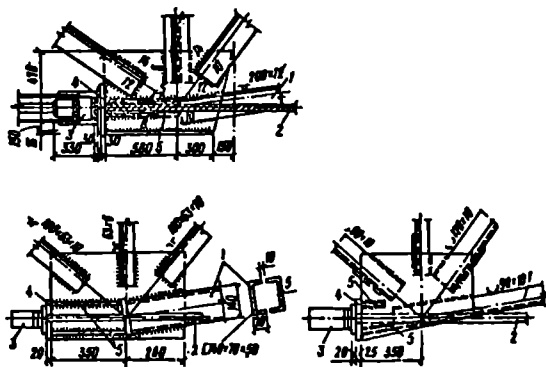
პირველ შემთხვევაში რთულდება დაძაბვის სამუშაო (დაძაბვა წარმოებს ზევით, საპროექტო ნიშნულის ღონეზე). მეორე შემთხვევაში ძნელდება სამონტაჟო სამუშაოები (დიდი მასის სამონტაჟო ბლოკები მოითხოვს დიდი ტვირთამწეობის ამწეებს).

წინასწარ დაძაბულ წამწეებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა დაძაბვის პროცესში მაქსიმალურად შეკუმშული ელემენტების (სარტყლების) მდგომარეობის უზრუნველყოფის ღონისძიებას.



ნახ. 8.27. გარეთ გამოტანილი საკოჭების შემთხვევაში სივრცითი ბლოკის დეტალური დაგეგმარება: ა)-წამწის სქემა; ბ)-განივი კვეთები; 1-საკოჭი.

ამ ელემენტების მდგრადობის გაზრდის მიზნით, როგორც წესი, საკოჭები იყრება მათზე მიდრეკილულ დიაფრაგმებში და განლაგებულია განივიკვეთის შუეული ღერძის სიმეტრიულად (ნახ. 8.26). დიაფრაგმებს შორის მანძილი აიღება (1,2-1,5) მ.



ნახ. 8.28. საკოჭის საანკერო ჩამატება: 1-ღერო; 2-საკოჭი; 3-საანკერო ჭიქა; 4-საყრდენი ფილა; 5-წიბო.

წინასწარ დაძაბული წამწეების ელემენტების განიკვეთის ტიპები და კვანძების კონსტრუქციები თითქმის ანალოგიურია მსუბუქი წამწეების კონსტრუქციებისა. განსხვავება არის მხოლოდ იმ ელემენტებსა და კვანძებში, რომლებიც დაკავშირებულია საკოჭებთან.

ნახაზი 8.26-ზე ნაჩვენებია ღეროების რეკომენდებული ტიპები და საკოჭების განლაგება. 8.28 ნახაზზე-კვანძების კონსტრუქცია, სადაც იდგმება დომკრატები და ხდება დაჭიმვა. წამწეების დაძაბვა ორმაგი მოქმედების ჰიდრაულიკური დომკრატებით ხდება კოჭების ანალოგიურად. დომკრატი ეყრდნობა წამწის კვანძებში მოწყობილ საბჯენ კონსტრუქციას (ნახ. 8.28) და დაჭიმვის შედეგად წარმოშობილი ღრეჩო (ანკერსა და კვანძის საყრდენ ფურცელს შორის) იყვება ჩანგლისებრი საყელურებით ან მჭიდროდ ეჭირება საანკერო ქანჩი.

8.8.2. წინასწარ დაძაბული წამწეების გაანგარიშების ძირითადი საფუძვლები. გაანგარიშება წარმოებს ზღერული მდგომარეობათა მეთოდით. პირველი ჯგუფის ზღერული მდგომარეობით წამწეს ანგარიშობენ საანგარიშო დატვირთვების მიხედვით, მეორე ჯგუფის ზღერული მდგომარეობით—ნორმატიული დატვირთვებით.

წინასწარ დაძაბული წამწეების მუშაობა შეიძლება დაიყოს ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე ჭრილი წამწეები წინასწარ დაჭიმულობის ძალისა და გარე დატვირთვების ზეგავლენით მუშაობენ ისე, როგორც სტატიკურად რკვევადი სისტემები. ძალების მნიშვნელობები მის ელემენტებში განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის გრაფიკული (კრემონის დიაგრამა) ან ანალიზური (სამომენტო წერტილის, კვანძთა ამოკვეთის, დაგეგმარების) ხერხით. მეორე ეტაპზე წამწეები მუშაობენ ისე, როგორც ერთჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემები. დროებითი დატვირთვების ზეგავლენით საკოჭებში ვითარდება თვითდაჭიმულობის ( $X_1$ ) ძალები. ეს ძალები ისაზღვრება ძალთა მეთოდის კანონიკური განტოლების ამოხსნით. როგორც სამშენებლო მექანიკიდან არის ცნობილი, სისტემის ძალთა მეთოდის გაანგარიშებების დროს, საჭიროა ელემენტების სისხისტეების (ან მათი ფარდობის) წინასწარი დანიშვნა.

კვანძები სადაც საკოჭის საანკერო ჩამაგრების მოწყობილობაა განთავსებული განსხვავდება ჩვეულებრივი წამწისაგან. საანკერო ჩამაგრების ტიპს არჩევენ საკოჭის მასალისა და მასში აღძრული ძალების სიდიდის მიხედვით.

წამწე საკოჭით, რომელიც შექმნილია წინასწარი დაძაბვით რამდენიმე ღეროში ერთად, იანგარიშება როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემა. ზედმეტ უცნობად მიიღება ძალეა საკოჭში.

განისაზღვრება ძალები წამწის ღეროებში  $N_p$  დატვირთვისა და  $N_x$  წინასწარი დაძაბვისაგან (წინასწარი დაძაბვის ძალა  $X$  ინიშნება ძირითადი სისტემის ქვედა სარტყელში საანგარიშო დატვირთვისაგან განვითარებული მაქსიმალური ძალების მიხედვით: თაღოვანი ტიპის წამწისათვის  $X = (0,4 \dots 0,5)N_p^{\max}$ ;  $N_p^{\max}$  - წამწის ძირითადი სისტემის ქვედა სარტყელში მოქმედი საანგარიშო დატვირთვებით გამოწვეული უდიდესი ძალა.

მიახლოებით ინიშნება ღეროების კვეთები წინასწარი დაძაბვის ან წინასწარი დაძაბვისა და დატვირთვისაგან განვითარებულ ძალების მიხედვით.

საკოჭის კვეთი შეირჩევა  $1,5X$  ძალების მიხედვით, სადაც  $1,5$  კოეფიციენტი, რომელიც მიახლოებით ითვალისწინებს წამწის დატვირთვით განვითარებული საკოჭის თვითდაძაბვას.

საკოჭისა და წამწის ღეროების კვეთების წინასწარი შერჩევის შემდეგ წამწის გაანგარიშება ხდება დატვირთვების მოქმედებაზე, როგორც სტატიკურად ურკევეი სისტემისა. ერთმალთან წამწეში, ერთ საკოჭში აღძრული თვითდაძაბვის ძალა განისაზღვრება ფორმულით:

$$X_k = \frac{\sum \frac{\bar{N}_{xi} N_{pi} l_i}{A_i E}}{\sum \frac{N_{xi}^2}{EA_i} + \frac{l_{საჯ}}{E_{საჯ} A_{საჯ}}} \quad (8.35)$$

სადაც  $\bar{N}_{xi}$ ;  $N_{pi}$  ძალვაა  $i$ -ღეროში შესაბამისად ერთულოვანი ძალიდან საკოჭში და გარე ძალიდან;  $l_i$  და  $A_i$  ღეროს სიგრძე და განივკვეთის ფართობია;  $l_{საჯ}$ ,  $A_{საჯ}$  - იგივე საკოჭისათვის;  $E$  და  $E_{საჯ}$  - ღეროსა და საკოჭის დრეკადობის მოდულებია.

საკოჭის დაჭიმვის პროცესში შესაძლებელია საკოჭის რელაქსაციის, ანკერების მოთელვის ან სხვა გაუთვალისწინებელი დეფორმაციების შედეგად საკოჭი მოეშვას (დაჭიმვის ძალა  $X$  შემცირდეს), ამიტომ საკოჭის დაჭიმვის საკონტროლო ძალადღებულობენ  $X$  საანგარიშო ძალაზე მეტს

$$X_k = \frac{X}{0,95} + \Delta_a \frac{E_{საჯ} A_{საჯ}}{l_{საჯ}}, \quad (8.36)$$

სადაც  $0,95$  კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საკოჭის რელაქსაციას;  $\Delta_a$  - ანკერების დამყოლობის სიდიდე და მიიღება:

ქანჩიანი და სოლისებრი საყელურის მქონე ანკერებისათვის  $\Delta_a = 0,1$  სმ, ხოლო შუასადებიანი ანკერებისათვის  $\Delta_a = 0,2$  სმ.

საკონტროლო  $X_k$  ძალის მიხედვით მოწმდება წამწის ყველა ელემენტის ზიდვის უნარი მისი დაძაბვის პროცესში. თვიდაჭიმვის  $X_1$  ძალის გამოთვლის შემდეგ წამწის ელემენტების ზიდვის უნარს ამოწმებენ ფორმულებით:

ა) ძირითადი სისტემის იმ ელემენტებში, სადაც საანგარიშო დატვირთვისაგან და წინასწარი დაძაბვის  $X$  ძალისაგან აღძრულ ძალებს აქვთ სხვადასხვა ნიშნები:

შეკუმშულ ღეროებში

$$N_p - (n_2 \cdot X + X_1) \cdot \bar{N}_x \leq \varphi \cdot R_y \cdot A \cdot \gamma_c \quad (8.37)$$

გაჭიმულ ღეროებში

$$N_p - (n_2 \cdot X + X_1) \cdot \bar{N}_x \leq R_y \cdot A_n \cdot \gamma_c$$

თუ  $(n_2 X + X_1) \cdot \bar{N}_x > N_p$ , მაშინ შემოწმება უნდა ვაწარმოოთ დატვირთვების საანგარიშო მნიშვნელობებით.

ბ) ძირითადი სისტემის იმ ელემენტებში, სადაც გარე დატვირთვისაგან და  $X$  ძალისაგან აღძრულ ძალებს აქვთ ერთი და იგივე ნიშნები:

შეკუმშულ ღეროებში

$$N_p + (n_1 \cdot X + X_1) \cdot \bar{N}_x \leq \varphi \cdot R_y \cdot A \cdot \gamma_c \quad (8.38)$$

გაჭიმულ ღეროებში

$$N_p + (n_1 \cdot X + X_1) \cdot \bar{N}_x \leq R_y \cdot A_n \cdot \gamma_c$$

საკოჭის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით:

$$n_1 \cdot X + X_1 \leq R_{\text{საქ}} \cdot A_{\text{საქ}} \quad (8.39)$$

სადაც  $N_p$  არის წამწის ძირითადი სისტემის ელემენტებში მოქმედი ძალვა, რომელიც წარმოიქმნება საანგარიშო დატვირთვისაგან;  $\bar{N}_x$  არის ძალვა ელემენტში, წარმოქმნილი საკოჭში მოქმედი ერთეული ძალებისაგან;  $n_1 = 1,1$  და  $n_2 = 0,9$  - საიმედობის კოეფიციენტებია დატვირთვების მიხედვით;  $\varphi$  - გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი ცენტრალური კუმშვისას.

## 8.9. წამწის სამუშაო ნახაზების შედგენა

წამწის სამუშაო ნახაზები შედგება:

1. გადახურვის სამონტაჟო სქემისაგან;
2. გადასაზიდი სამონტაჟო ერთეულების დეტალური ნახაზებისაგან;



### 3. სპეციფიკაციისაგან.

გადახურვის სამონტაჟო სქემაზე ნაჩვენები უნდა იქნეს წამწეებისა და კავშირების განლაგება. სამონტაჟო სქემები იხაზება 1:200 ან 1:400 მასშტაბში.

გადასაზიდი ერთეული ჩვეულებრივ წარმოადგენს წამწის ნახევარის დეტალურ ნახაზს და გამოიხაზება 1:20 მასშტაბში.

ამ ნახაზებზე მოყვანილ სპეციფიკაციაში მოცემულია წამწის ელემენტების გეომეტრიული ზომები, რაოდენობა და მასა.

გადახურვის სამონტაჟო სქემა, გადასაზიდი ერთეულის დეტალური ნახაზი და მასალის სპეციფიკაცია გამოიხაზება ერთ სტანდარტულ ნახაზე ფორმატზე.

## 8.10. ღეროვან სისტემებში ძაღვების განსაზღვრის გრაფიკული ხერხი მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგებით

8.10.1. გრაფიკული ხერხით ძაღვების განსაზღვრის ზოგადი პრინციპები. როგორც აღრე აღენიშნეთ სტატიკურად რკვევადი ღეროვანი სისტემის ელემენტებში ძაღვების მნიშვნელობების განსაზღვრა შეიძლება სხვადასხვა გზით: გრაფიკულად მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგებით, ანალიზურად-კვანძების ამოკვეთის, ან დაგეგმილების მეთოდით და ცხრილებით-ერთეული კვანძური დატვირთვების მიხედვით დადგენილი კოეფიციენტების საშუალებით, ასევე კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით. დახრილსართყლიან წამწის ელემენტებში უფრო მოსახერხებელია ძაღვების გრაფიკული ხერხით განსაზღვრა, პარალელურსართყლელებიან წამწისათვის კი, კვანძების ამოკვეთის მეთოდით.

გრაფიკული მეთოდი ეფუძნება ისეთ ძალთა მრავალკუთხედის აგებას, სადაც ძაღვების მიმართულებები ცნობილია (ისინი მოქმედებენ ღეროების ღერძების გასწვრივ) და საჭიროა მათი სიდიდეების განსაზღვრა.

დიაგრამის აგება იწყება სისტემის იმ კვანძიდან, სადაც ორი ღერო იყრის თავს (წამწეებში, როგორც წესი, იგი წარმოადგენს საყრდენ კვანძს), შემდეგი კვანძების თანმიმდევრობა კი ისე შეირჩევა, რომ ახალ კვანძში თავს უნდა იყრიდეს არა უმეტეს ორი უცნობისა.

როგორც ვიცით სტატიკურად რკვევად სისტემად ითვლება ისეთი ღეროვანი სისტემა, რომლის კვანძებში სახსრებია მოთავსებული, ხოლო ღეროები სუფთა კუმშვაზე ან გაჭიმვაზე მუშაობენ (მისი ამოხსნისათვის საკმარისია სტატიკის წონასწორობის განტოლებები).

ძაღვების განსაზღვრის გრაფიკული მეთოდის უპირატესობაა მისი სიმარტივე, ღეროვან სისტემაში ძაღვების ცვლის სურათის

თვალსაჩინოება, საკმარისი სიზუსტე და ძალებების განსაზღვრის სიზუსტის ავტომატური კონტროლი (შეცდომით აგებული დიაგრამა არ "იკვრება" ანუ არ ბრუნდება საწყის წერტილში, საიდანაც დაიწყეთ აგება).

დიაგრამის აგებას წინ უსწრებს შემდეგი მოსამზადებელი მოქმედებები:

1. ანალიზური ან გრაფიკული გზით (პირველი უკეთესია) ღეროვანი სისტემის საყრდენი რეაქციების გამოთვლა;

2. ცალკეულ ღეროებსა, სისტემის კონტურსა და ძალებს შორის მოთავსებული ფართობების დანომერა ციფრებით, რის შემდეგაც ნებისმიერი ღერო ან ძალა აღინიშნება ორი ციფრით-მოსაზღვრე ფართობების ნომრებით (ნახ. 2.29);

3. ნულოვანი ღეროების გამოვლენა, რომელთა დატანაც დიაგრამაზე ზედმეტია;

იმ ღეროების გამოვლენა, რომლებშიც ძალებს განსაზღვრავენ ადგილობრივი კვანძური დატვირთვები.

8.10.2. წამწის ელემენტებში ძალებების განსაზღვრის გრაფიკული მეთოდის თეორიული საფუძვლები. გავეცნოთ წამწის ელემენტებში (ღეროებში) ძალების გრაფიკული მეთოდით განსაზღვრის თეორიულ საფუძვლებს. ვთქვათ მოცემული გვაქვს  $A_1, A_2, \dots, A_n$  წამწე (ნახ. 8.29, ა), რომლის კვანძებში მოქმედებს წონასწორობაში მყოფი  $F_1, F_2, \dots, F_n$  ძალთა სისტემა. საჭიროა განესაზღვროთ ძალები ღეროებში.

ღეროები დაენომროთ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. 8.29), ძალები ღეროებში აღვნიშნოთ  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , ხოლო მათი შესაბამისი რეაქციები  $R_1, R_2, \dots, R_n$ .

შევადგინოთ  $F_1, F_2, \dots, F_n$  ძალების ძალთა მრავალგვერდი იმ მიმდევრობით, რომლითაც ისინი გვხვებიან ღეროვან სისტემაზე. ძალების წონასწორობის გამო მივიღებთ შეკრულ მრავალგვერდს 2-1-7-8 (ნახ. 8.29, ბ). ამის შემდეგ გამოვიყენოთ ღეროვან სისტემაში ძალების განსაზღვრის კვანძების ამოკვეთის მეთოდი. ამოკვეთოთ ის კვანძი, რომელშიც თავს იყრის ორი ღერო. ასეთია  $A_1$  კვანძი. ამ კვანძზე მოქმედებს სამი ძალა  $F_1$  და 1-3 და 2-3 ღეროებში აღძრული  $S_1$  და  $S_2$  ძალები და რადგანაც ისინი წონასწორობაში არიან, შეადგენენ სამკუთხედს ( $\Delta$  1-2-3). ავაგოთ ეს სამკუთხედი ძალთა მრავალგვერდთან ისე, რომ მისი ერთი გვერდი დაემთხვას  $F_1$  ძალას (1-2), მაშინ ამ სამკუთხედიდან განესაზღვრავეთ  $S_1$  და  $S_2$  ძალების სიდიდებს 1-3 და 2-3 მონაკვეთები (ნახ. 8.29, ბ). ამავე დროს გამოვარკვევთ, რომ 1-3 ღერო იკუმშება, ხოლო 2-3 იჭიმება.

ღეროში მოქმედი ძალების ნიშნის დადგენა ხდება შემდეგნაირად: მაგალითად, დავადგინოთ  $A_1$  და  $A_2$  ძალებების ნიშნები ("-"იკუმშება; "+"იჭიმება). წამწის ნახაზზე დავდგეთ 1-3 ღეროს ნებისმიერ ბოლოში, ვთქვათ  $A_1$ , წერტილში, მაშინ ამ ღეროს წაეკითხავთ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, როგორც 1-3 (3-1 არ შეიძლება, რადგანაც 3 უბნის შემდეგ მოდის 2 უბანი და შემდეგაა ღეროს აღმნიშვნელი 1 უბანი). დავხედოთ დიაგრამას და შევამჩნევთ, რომ ძალა მიმართულია ზემოდან ქვემოთ (1-3), ე.ი. "შედის"  $A_1$  კვანძში, რაც იმას ნიშნავს, რომ 1-3 ღერო შეკუმშულია, თუ დავდგებოდით  $A_2$  კვანძში, მაშინ ღერო წაიკითხებოდა, როგორც 3-1, დავხედავთ დიაგრამას-ძალა მიმართულია ქვევიდან ზევით, ე.ი. "შედის"  $A_2$  კვანძში და ღერო შეკუმშულია. ანალოგიურად დავადგენთ ძალების ნიშანს 2-3 ღეროსთვისაც.

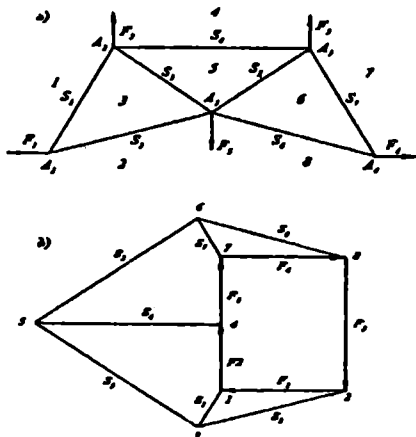
შემდეგ ავაგოთ  $A_1$  კვანძზე მოქმედი ძალების მრავალგვერდი. ამისათვის ჯერ უნდა ავაგოთ 1-3 ღეროს რეაქცია. იგი უკვე აგებული გვექონდა ( $S_1$ ): შემდეგ მას უნდა მივუმატოთ  $F_1$  ძალა: ესეც აგებულია (1-4);  $R_1$  და  $R_2$  რეაქციების ასაგებად  $S_1$  ძალებისა და  $F_1$  ძალის ბოლოებიდან უნდა გავატაროთ 3-5 და 4-5 ღეროების პარალელური წრფეები ურთიერთგადაკვეთამდე (მე-5 წერტილი). მივიღებთ  $A_1$  კვანძზე მოდებული ძალების მრავალგვერდს. ეს პროცესი უნდა განვაგრძოთ ყველა კვანძისათვის და მივიღებთ ნაკვეთს (ნახ. 8.29,ბ), რომელსაც მაქსველ-კრემონას დიაგრამა ეწოდება (მაქსველი (1831-1879 წწ)-იყო ინგლისელი ფიზიკოსი, ხოლო კრემონა (1830-1903 წწ.)-იტალიელი მათემატიკოსი, დიაგრამის აგების წესი მაქსველმა დაადგინა 1864 წ., ხოლო კრემონამ 1872 წ.).

ამ აგების მიხედვით ყოველი მოცემული ძალა და ყოველი ძალვა დიაგრამაზე შეგვხვდება მხოლოდ ერთხელ. ერთ კვანძზე მოდებული ყველა ძალა დიაგრამაზე გვაძლევს შეკრულ მრავალგვერდს. ძალები ღეროებში, რომლებიც წამწეზე სამკუთხედს ქმნიან, დიაგრამაზე ერთ წერტილში იკვეთებიან.

მაქსველ-კრემონას დიაგრამის ასაგებად უნდა დავიცვათ შემდეგი წესი:

1. ყველა გარე ძალა დავხაზოთ წამწეს გარეთ;
2. გარე ძალთა მრავალგვერდი ავაგოთ გარკვეული მიმდევრობით. მაგალითად, თუ წამწეს შემოუვლით საათის ისრის მოძრაობის გზით, მაშინ გარე ძალები შეგვხვდება  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$  მიმდევრობით.

3. ძალთა მრავალგვერდზე მივანიშნოთ თითოეულ კვანძზე მოქმედი ძალების მრავალგვერდი იმავე მიმდევრობით, როგორც ეს გაეაკეთეთ გარე ძალების მრავალგვერდის აგებისას, ე.ი თითოეულ კვანძს შემოუაროთ საათის ისრის მოძრაობის გეზით. მაგ.  $A_1$  კვანძზე მოქმედი ძალების მრავალგვერდის აგებისას გვექნება  $F_1, S_1$  და  $S_2$  მიმდევრობა,  $A_2$  კვანძის აგებისას- $S_1, F_2, S_4, S_3$  და ა.შ.



ნახ. 8.29. მაქსველ-კრემონას დიაგრამა

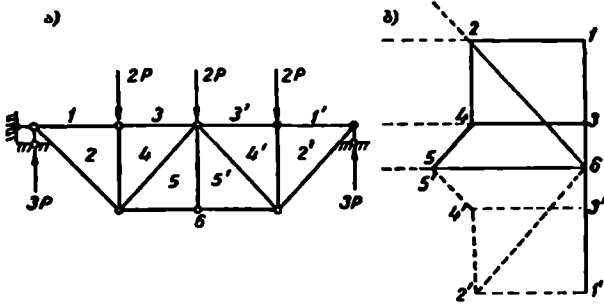
მაქსველ-კრემონას დიაგრამის ასაგებად საჭიროა ჩავატაროთ შემდეგი მოქმედებები: 1) გამოვხაზოთ წამწე სქემატურად; 2) ვაჩვენოთ რომელ კვანძებზეა საყრდენები განლაგებული; 3) მოვდოთ წამწის კვანძებში გარე ძალები; 4) ეიპოვოთ საყრდენთა რეაქციები; 5) შევარჩიოთ ძალის მასშტაბი; 6) გადავწიოთ წამწეზე უბნები; 7) შევადგინოთ გარე ძალების მრავალგვერდი; 8) შევარჩიოთ ისეთი კვანძი, რომელშიც თავს იყრის მხოლოდ ორი უცნობი ღერო; 9) ავაგოთ კრემონას დიაგრამა; 10) გადავზომოთ ღეროებში აღძრული ძალები სიგრძის ერთეულში (მაგ.სმ) და გავამრავლოთ მასშტაბზე, მივიღებთ ძალეას ღეროში; 11) განვსაზღვროთ ძალების ნიშნები.

8.10.3. წამწის ელემენტებში ძალების განსაზღვრის მაგალითი. ავაგოთ ძალების დიაგრამა ნახ. 8.30-ზე წარმოდგენილ წამწისათვის.

1. გამოვხაზოთ წამწე გრძივ მასშტაბში
2. გადავწიოთ რიცხვებით მისი უბნები ზემოთაღნიშნული (პუნქტი 8.10.3) წესის მიხედვით.
3. დატვირთვების მიხედვით ეიპოვოთ საყრდენთა რეაქციები.

4. აქტიური და რეაქტიული ძალების მიხედვით ავაგოთ ძალთა მრავალგვერდი:

4.1. შევარჩიოთ ძალის მასშტაბი



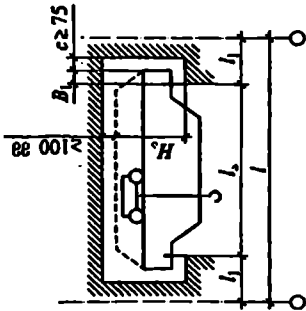
ნახ. 8.30. ა)-წამწის სქემა; ბ)-მაქსველ-კრემონას დიაგრამა.

4.2. წარმოსახვითად დაედგეთ მე 6-ე უბანში და წამწეს შემოუაროთ საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებით. ყოველი ახალი ძალის შეხვედრისას დიაგრამაზე შერჩეული ძალის მასშტაბის მიხედვით დაეიტანოთ დიაგრამაზე გარე ძალები, მაგ: მიმდევრობით-1-3-3'-1'-6. ჩვენ შემთხვევაში დიაგრამის ხაზები, რომლებიც შეესაბამებიან 6-5 და 6-5' ღეროებს, ემთხვევიან ერთმანეთს, რადგან ორივე ღერო პორიზონტალურია და შემოსაზღვრავენ წამწის ერთი და იგივე უბანს (6).

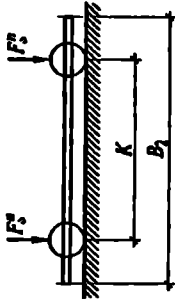
5. შევარჩიოთ წამწეზე ისეთი კვანძი, რომელშიც თავს იყრის მხოლოდ ორი უცნობი ღერო, ჩვენ შემთხვევაში ეს არის საყრდენი კვანძი. გავაელოთ 1-2 და 6-2-ის პარალელური წრფეები. გადაკვეთაში მივიღებთ მე 2-ე უბნის შესაბამის წერტილს 2-ს. ამ წერტილიდან გავაელოთ 2-4 და 3-4-ის პარალელური, გადაკვეთაში მივიღებთ მე 4-ე უბნის შესაბამის წერტილს 4-ს. გავაელოთ მეოთხე უბნიდან 4-5 და 6-5-ის პარალელური წრფეები. გადაკვეთაში მივიღებთ მე 2-ე უბნის შესაბამის წერტილს 5-ს. და ა.შ. 5 და 5' ერთმანეთს ემთხვევა, ეს იმას ნიშნავს, რომ 5-5' წრფე გარდაიქმნება წერტილად. შესაბამისად წამწეში 5-5' ღერო არ მუშაობს. რადგანაც მოცემული წამწე სიმეტრიულია, შეიძლება ავაგოთ დიაგრამის მხოლოდ ნახევარი. ამის გამო ავაგოთ დიაგრამის მხოლოდ ნახევარი ნაჩვენები გვაქვს წყვეტილით.

6. რომელიმე ღეროში ძალეის სიდიდის განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიზომოს ამ ღეროს შესაბამისი წრფე დიაგრამაზე და გამრავლდეს ძალის მასშტაბზე.

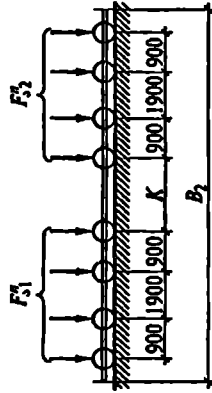
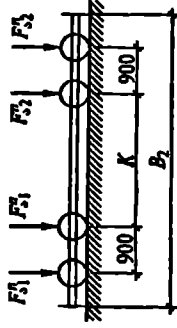
7. ღეროში ძალეის ნიშნის (გაჭიმვა, კუმშვა) დადგენა უნდა მოხდეს 8.10.2 პუნქტში მოყვანილი წესის მიხედვით.



აწვებისათვის  $Q = 32/5$ ; 50/12.5



აწვებისათვის  $Q = 80/20$ ; 100/20; 125/20



Q-აქრის ტორთააქრება:  $F_{1j}^n$ ;  $F_{2j}^n$ : - აქრის ბორბლების მაქსიმალური ვერტიკალური წნევა (ნორმატიული)

Q ბ	მეტრული სიღრმე	მ/მ სიღრმე	ზომები, მმ				ბორბლების მაქსიმალური წნევა, კგ		P ტრეპა ფაქტორი	აქრის წონა ურიკით G, კგ	აქრის რელსის ტიპი	წინააღმდეგობა მგ/კმ	აქრის სიღრმე კოეფიციენტი $h_j$ , კოლონის მაღლის, მ	
			H <sub>k</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	K	F <sub>k1</sub> <sup>n</sup>	F <sub>k2</sub> <sup>n</sup>					6	12
32/5	24	2750	300	5300	5100	260(315)	85	343(510)	KP-70	120	1000	1500		
	30	2750	300	5300	5100	280(345)		402(608)						
	36	2750	300	5300	5100	320(380)		554(715)						
50/12,5	24	3150	300	5860	5600	380(470)	132	475(676)	KP-80	130	1000	1500		
	36	3150	300	5860	5600	415(505)		583(774)						
80/20	24	3700	400	9100	4350	353(387)	323(397)	1029(1137)	KP-100	150	1000	1600		
	30	4000	400	9100	4350	373(418)	402(427)	1176(1284)						
	36	4000	400	9100	4350	392(436)	421(446)	1274(1431)						
100/20	24	3700	400	9150	4600	410(446)	439(456)	1107(1186)	KP-120	170	1000	1600		
	30	4000	400	9150	4600	449(476)	469(485)	1303(1382)						
	36	4000	400	9150	4600	469(495)	489(505)	1401(1431)						
125/20	24	4000	400	9150	4600	436(479)	446(508)	1156(1235)	KP-120	170	1000	1800		
	30	4000	400	9150	4600	466(508)	476(538)	1303(1431)						
	36	4000	400	9150	4600	483(528)	495(567)	1500(1578)						
160/32	24	4800	500	10500	1500	295(310)	304(320)	1284(1617)	KP-120	170	1000	1800		
	30	4800	500	10500	1500	311(330)	32(340)	1676(1813)						
	36	4800	500	10500	1500	331(366)	350(370)	1823(2009)						
200/32	24	4800	500	10800	1500	358	368	1637	KP-120	170	1000	1800		
	30	4800	500	10800	1500	378	387	1833						
	36	5200	500	10800	1500	397	407	2029						

შენიშვნა: ფორსილებში მიტეხული ციფრები მიეკუთვნება განსაკუთრებულ რეჟიმში მომუშავე აქრებს.

დანართი 2

(ცხრილი 2.1)	
მიწის პორიზონტალური ზედაპირის 1 მ <sup>2</sup> -ზე მოსული თოვლის საფარის წონის საანგარიშო მნიშვნელობები	
ქალაქები	თოვლის საფარი P <sub>0</sub> კნ/მ <sup>2</sup>
აბაშა, ანაკლია, ასპინძა, ახალგორი, ახალი აფონი, ახალციხე, ახმეტა, ბათუმი, ბოლნისი, გაგრა, გაღი, გარდაბანი, გორი, გურჯაანი, გუდაუთა, გულრიფში, დმანისი, დუშეთი, ზუგდიდი, კაზრეთი, კასპი, ლანჩხუთი, მარნეული, მარტვილი, ნინოწმინდა, ოზურგეთი, ქარელი, ქობულეთი, ქუთაისი, ყვარელი, ჯგარი.	0,5
ახალქალაქი, ბორჯომი, ზნაური.	0,53
გომბორი	0,62
ზესტაფონი	0,64
ადიგენი	0,66
ამბროლაური	0,75
ყაზბეგი	0,84
ჯაგა	1,01
კეისი	1,03
ბარისახო	1,08
ქედა	1,21
ლენტეხი	1,25
ბაკურიანი რკინიგზის სადგური	1,39
ბაკურიანი აერო	1,41
ბაკურიანი სანერგე	1,43
ბახმარო	5,52
(ცხრილი 2.2)	
ქარის დაწვევის ნორმატიული მნიშვნელობები	
ქალაქები	ქარის დაწვევა q <sub>0</sub> კნ/მ <sup>2</sup>
აბასთუმანი, ამბროლაური, ახალი აფონი, ახალციხე, ბარისახო, ბორჯომი, გაგრა, გაღი, ზნაური, კეისი, ლაგოდეხი, ლენტეხი, მესტია, ონი, სურამი, სოხუმი, ტყვარჩელი, ფასანაური, ქედა, ყაზბეგი, ცაგერი, წალკერი, ხულო, ჯაგა.	0,27
აგარა, ადიგენი, ახალგორი, ახალქალაქი, ბაკურიანი, ბაღდათი, ბახმარო, ბოლნისი, გუდაუთა, გულრიფში, დმანისი, ზუგდიდი, თბილისი ბოტ. ბაღი, თერჯოლა, კაზრეთი, კაჭრეთი, მარნეული, ოზურგეთი, ოჩამჩირე, სამხრეთ ქარელი, ქობულეთი, ყვარელი.	0,35
აბაშა, ასპინძა, ახმეტა, ბათუმი, გარდაბანი, გორი, გურჯაანი, დუშეთი, ვანი, თბილისი, თელავი, თუთრი-წყარო, მანგლისი, მარტვილი, ნინოწმინდა, საგურამო, სოხუმი აეროპორტი, ჩოხატაური ჯგარი, ცხინვალი, წალკა, ხობი, წყალტუბო, ხაშური, კიათურა.	0,45
ანაკლია, გომბორი, ზესტაფონი, თიანეთი, კასპი, ლანჩხუთი, რუსთავი, საგარეჯო, ფოთი, ხარაგაული.	0,55
თბილისი შესასვლელი, მუხრანი, მცხეთა, ნატახტარი, სამტრედია, სენაკი, სიღნაღი, ქუთაისი ქალაქი.	0,7
ტყობული, ხონი.	0,85
სამგორი	1,18
თბილისი აეროპორტი, ქუთაისი აეროპორტი.	1,5



ქარის დაწვევის სიმაღლის მიხედვით შემასწორებელი კოეფიციენტი *k*

დასახელება	მიწის ზედაპირიდან სიმაღლეზე <i>z</i>								
	10	20	30	40	60	100	200	350	≥ 480
ღია ადგილ-მდეობარეობები (ველები, უღაბნოები, ზღვის, ტბის, წყალსაცავების ღია სანაპიროები)	1,0	1,25	1,38	1,5	1,7	2,0	2,45	2,75	2,75
ქალაქის ტერიტორიები, ტყის მასივები, 10 მეტრზე მეტი სიმაღლით თანაბრად დაფარული წინააღმდეგობებით	0,65	0,85	0,98	1,1	1,3	1,6	2,1	2,75	2,75
ქალაქის რაიონები, რომლებიც აშენებულია 25 მეტრზე მეტი სიმაღლის მქონე შენობებით	0,4	0,55	0,68	0,8	1,0	1,25	1,8	2,35	2,75

დანართი 4

ფოლადის მარკები, რომლებიც შეესაბამება ფოლადებს სტანდარტის - ГОСТ 27772 მიხედვით

ფოლადი ГОСТ 27772-88-ის მიხედვით	შემკველელი ფოლადები
C235	BCr3m2
C245	BCr3m6-1
C255	BCr3m5-1
C275	BCr3m6-2
C285	BCr3m5-2
C345	09Г2, 09Г2С, 14Г2, 15ХСНД,
C375	09Г2С-2, 14Г2, 10Г2С1, 15ХСНД
C390	10Г2С1r, 10ХСНД, 14Г2АФ
C440	16Г2АФ
C590	12Г2СМФ

შ ე ნ ი შ ე ნ ა. სხვადასხვა ფოლადების სხვადასხვა სტანდარტების მიხედვით შესამაძისობები შეიძლება იხილოთ სხვადასხვა ნორმებში.

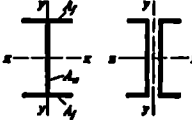

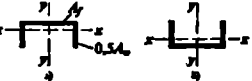
ფოლადის შედელებითი და ტანვიკებით შეერთების, ხაანართოშო წინაღობები  
ГОСТ 27772-88-ის მიხედვით, კნ/სმ<sup>2</sup>

ფოლადი	ნაგლინის ტიპი	ხიხეკა, მმ	$R_{m}/R_{m}$	$R_y$	$R_p$	$R_s$	$R_{mz}$	$R_{bp}$
C235	ფურცელი, ფასონი	2-20	23,5/36	23	35	13,5	16	47,5
		21-40	22,5/36	22	35	12,5	16	47,5
	ფურცელი	41-100	21,5/36	21	35	12	16	47,5
C245	ფურც.ფასონი	2-20	24,5/37	24	36	14	16,5	48,5
	ფასონი	21-30	23,5/37	23	36	13,5	16,5	48,5
C255	ფურცელი	4-10	24,5/38	24	37	14	17	50
	ფასონი	4-10	25,5/38	25	37	14,5	17	50
	ფურცელი	11-20	23,5/37	24	36	14	16,5	48,5
	ფასონი	21-40	23,5/37	23	36	13,5	16,5	48,5
C275	ფურც.ფასონი	2-10	27,5/38	27	37	15,5	17	50
	ფურცელი	11-20	26,5/37	26	36	15	16,5	48,5
	ფასონი	11-20	27,5/38	27	37	15,5	17	50
C285	ფურცელი	4-10	27,5/39	27	38	15,5	17,5	51,5
		11-20	26,5/38	26	37	15	16,5	50
	ფასონი	4-10	28,5/40	28	39	16	18	52,5
		11-20	27,5/39	27	38	15,5	17,5	51,5
C345	ფურცელი, ფასონი	2-10	34,5/49	33,5	48	19,5	22	64,5
		11-20	32,5/47	31,5	46	18	21	62
		21-40	30,5/46	30	45	17,5	20,5	60,5
C375	ფურცელი, ფასონი	2-10	37,5/51	36,5	50	21	23	67
		11-20	35,5/49	34,5	48	20	22	64,5
		21-40	33,5/48	32,5	47	19	21,5	63
C390	ფურცელი	4-50	39/54	38	53	22	24,5	71
C440	ფურცელი	4-30	44/59	43	57,5	25	26,5	77,5
		31-50	41/57	40	55,5	23	25,5	75
C590	ფურცელი	10-36	54/63,5	51,5	60,5	30	28,5	83

- შ ე ნ ი შ ე ნ ა: 1. C345 და C375 ფოლადებისათვის ფურცლოვანი და ფასონური ნაგლინის მახასიათებლები ერთმანეთს ემთხვევა.  
2. C390, C440, C590 ფოლადების ფასონური ნაგლინი არ მზადდება.

დანართი 6

კოეფიციენტები ღლითონის კონსტრუქციების უღებენტების ხიმტიციეზე  
განგარიშებისას პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით

კეუთის ტიპი	კეუთის სქემა	$\frac{A_f}{A_w}$	კოეფიციენტების მნიშვნელო		
			$c(c_x)$	$c_y$	$n$ როცა $M_y = 0$
1		0,25 0,5 1 2	1,19 1,12 1,07 1,04	1,47	1,5
8		-	1,6	1,47	ა) 3 ბ) 1
9		0,5 1 2	1,6	1,07 1,12 1,19	ა) 3 ბ) 1

როცა  $M_y \neq 0$  კოეფიციენტი  $n = 1,5$

დანართი 7

ორტესებრი კოეფიციენტების  $\psi$  კოეფიციენტები, რომლებსაც  
აქვთ ხიმტრისის ორი დერბი

მალში შეკუმშული ხარტკლების ჩამაგრების რიცხვი	მალში დატეირთვის სახე	დატეირთული ხარტკელი	ფორმულები $\psi$ -ს განგარიშებისათვის, როცა $0,1 < \alpha \leq 40$
ჩამაგრების გარეშე	შეარსული	ზელა	$\psi = 1,75 + 0,09\alpha$
		ქველა	$\psi = 5,05 + 0,09\alpha$
	თანაბრად განაწილებული	ზელა	$\psi = 1,6 + 0,08\alpha$
		ქველა	$\psi = 3,8 + 0,08\alpha$
ორი და მეტი, რომლებიც მალს უფუნ თანაბარ ნაწილებად	ნებისმიერი	ნებისმიერი	$\psi = 2,25 + 0,17\alpha$

ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გრძივი ღუნების კოეფიციენტები,  $\mu$

მოქნილობა, $\lambda$	კოეფიციენტები ფოლადის ელემენტებისათვის საანგარიშო წინაღობით $R_f$ , მპა(კნ/სმ <sup>2</sup> )											
	200 (20.5)	240 (24.5)	280 (28.5)	320 (32.5)	360 (36.5)	400 (41.0)	440 (45.0)	480 (49.0)	520 (53.0)	560 (57.0)	600 (61.0)	640 (65.5)
10	988	987	985	984	983	982	981	980	979	978	977	977
20	967	962	959	955	952	949	946	943	941	938	936	934
30	939	931	924	917	911	905	900	895	891	887	883	879
40	906	894	883	873	863	854	846	849	832	825	820	814
50	869	852	836	822	809	796	785	775	764	746	729	712
60	827	805	785	766	749	721	696	672	650	628	608	588
70	782	751	724	687	654	623	595	568	542	518	494	470
80	734	686	641	602	566	532	501	471	442	414	386	359
90	665	612	565	522	483	447	413	380	349	326	305	287
100	599	542	493	448	408	369	335	309	286	267	250	235
110	537	478	427	381	338	306	280	258	239	223	209	197
120	479	419	366	321	287	260	237	219	203	190	178	167
130	425	354	313	276	247	223	204	189	175	163	153	145
140	376	315	272	240	215	195	178	164	153	143	134	126
150	328	276	239	211	189	171	157	145	134	126	118	111
160	290	244	212	187	167	152	139	129	120	112	105	099
170	259	218	189	167	150	136	125	115	107	100	094	089
180	233	196	170	150	135	123	112	104	097	091	085	081
190	210	177	154	136	122	111	102	094	088	082	077	073
200	191	161	140	124	111	10	093	086	080	075	071	067
210	174	147	128	113	102	093	085	079	074	069	065	062
220	160	135	118	104	094	086	077	073	068	064	060	057

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა : ცხრილში  $\mu$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები გადიდებულია 1000-ჯერ

დანართი 9

**ფ<sub>ე</sub> კოეფიციენტების მნიშვნელობები გარეცენტრალურად შეკუმშული, მთლიანკედლიანი ღეროების მდგრადობის შემოწმებისათვის, მომენტის მოქმედების სიბრტყეში, რომელიც ემთხვევა სიმეტრიის სიბრტყეს**

λ	ფ <sub>ე</sub> კოეფიციენტი უარღობით ექსცენტრისიტეტთან - $m_{\phi}$ დამოკიდებულებაში															
	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	17
0,5	967	850	722	620	538	469	417	337	280	237	210	183	150	125	106	090
1	925	778	653	563	484	427	382	307	259	225	196	175	142	121	103	086
1,5	875	716	593	507	439	388	347	283	240	207	182	163	134	114	0,99	082
2	813	653	536	457	397	352	315	260	222	193	170	153	125	107	094	079
2,5	742	587	480	410	357	317	287	238	204	178	158	144	118	101	090	076
3	667	520	425	365	320	287	260	217	187	166	147	135	112	097	086	073
3,5	587	455	375	325	287	260	217	198	172	153	137	125	106	092	082	069
4	505	394	330	289	256	232	212	181	158	140	127	118	098	088	078	066
4,5	418	342	288	257	229	208	192	165	146	130	118	110	093	083	073	064
5	354	295	253	225	205	188	175	150	135	120	111	103	088	079	072	062
5,5	302	256	224	200	184	170	158	138	124	112	104	095	084	075	069	060
6	258	223	198	178	166	153	145	128	115	104	096	089	079	072	066	057

შენიშვნა: 1. ცხრილში  $\phi_e$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები გაზრდილია 1000-ჯერ.

2.  $\phi_e$ -ს მნიშვნელობები მიღებული უნდა იქნას არა უმეტეს  $\phi$ -ს მნიშვნელობებისა.

$\varphi_e$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები გარეცენტრალურად შეკუმშული, გამჭოლკედლიანი ღეროების მდგრადობის შემოწმებისათვის, მოშენების მოქმედების სიბრტყეში, რომელიც ემთხვევა სიმეტრიის სიბრტყეს

$\lambda$	$\varphi_e$ კოეფიციენტი უარდობით ექსცენტრისიტეტთან $m_{ef}$ დამოკიდებულებაში															
	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	17
0,5	908	666	500	400	333	286	250	200	157	143	125	111	091	077	067	058
1	872	640	483	387	328	280	243	197	165	142	121	109	090	077	066	055
1,5	830	600	454	367	311	271	240	190	163	137	119	108	088	077	065	053
2	774	556	423	346	293	255	228	183	156	132	117	106	086	076	064	052
2,5	708	507	391	322	274	238	215	175	148	127	113	103	083	074	062	051
3	637	455	356	296	255	222	201	165	138	121	110	100	081	071	061	051
3,5	562	402	320	270	235	206	187	155	130	115	106	096	078	069	059	050
4	484	357	288	246	215	191	173	145	124	110	100	093	076	067	057	049
4,5	415	315	258	223	196	176	160	136	116	105	096	089	073	065	055	048
5	350	277	230	201	178	161	149	127	108	100	092	086	071	062	054	047
5,5	300	245	203	182	163	147	137	118	102	095	087	081	068	059	052	046
6	255	216	183	165	149	135	126	109	097	090	083	077	065	056	051	045

შენიშვნა: 1. ცხრილში  $\varphi_e$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები გაზრდილია 1000-ჯერ.

2.  $\varphi_e$ -ს მნიშვნელობები მიღებული უნდა იქნას არა უმეტეს  $\varphi$ -ს მნიშვნელობებისა.

პედიონ ფრამის ტიპების კოეფიციენტები

შევილი შპ	კედლის სიმაღლე და კონსტრუქციული სურათები	$A_f/A_w$	$\eta$ -ის მნიშვნელობა, როცა			
			$0 \leq \lambda \leq 5$		$\lambda > 5$	
			$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$	$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$
1		-	1	1	1	1
2		0,25 0,5 $\geq 1$	$(1,45 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\lambda$ $(1,75 - 0,1m) - 0,02(5 - m)\lambda$ $(1,9 - 0,1m) - 0,02(6 - m)\lambda$	1,2 1,25 1,4 - 0,02 $\lambda$	1,2 1,25 1,3	
3		-	$\eta_1[1 - 0,3(5 - m)a_1/h]$		$\eta_2$	
4		-	$\eta_2[1 - 0,8a_1/h]$		$\eta_2[1 - 0,8a_1/h]$	
5		0,5 1 1,5 2	$1,45 + 0,04m$ $1,8 + 0,12m$ $2 + 0,25m + 0,1\lambda$ $3 + 0,25m + 0,1\lambda$	1,65 2,4 - -	$1,45 + 0,04m$ $1,8 + 0,12m$ - -	1,65 2,4 - -

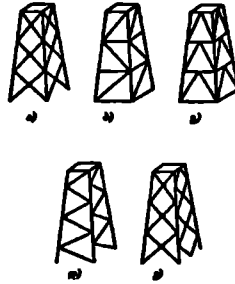
შ 0 5 2 3 6 ა 1 2 4 კედლის კონსტრუქციის  $A_f/A_w$  მნიშვნელობის განსაზღვრებისათვის უნდა გამოიყენოს კონსტრუქციის მნიშვნელობის მნიშვნელობის მიხედვით ნიშნის სიდიდის მიხედვით განსაზღვრული მნიშვნელობები.  $\eta_1$  მნიშვნელობის მნიშვნელობა ნიშნის სიდიდის მიხედვით განსაზღვრული მნიშვნელობების მიხედვით განსაზღვრულია.  $\eta_2$  მნიშვნელობის მნიშვნელობა ნიშნის სიდიდის მიხედვით განსაზღვრულია.  $A_f/A_w$  მნიშვნელობის მნიშვნელობის მიხედვით განსაზღვრულია.

კოეფიციენტები  $\alpha$  და  $\beta$

შეკრულების ტიპი	საფუძვლის ხეობა და მასშტაბირების ტიპი	$\alpha$		$\beta$	
		$m_x \leq 1$	$1 < m_x \leq 5$	$\lambda_y \leq \lambda_c$	$\lambda_y > \lambda_c$
1					
2		0.7	$0.65 + 0.05 m_x$	1	$\sqrt{\varphi_c / \varphi_y}$
3					
4		$1 - 0.3 \frac{I_2}{I_1}$	$1 - (0.35 - 0.05 m_x) \frac{I_2}{I_1}$	1	$1 - \left( 1 - \sqrt{\frac{\varphi_x}{\varphi_y}} \right) \left( \frac{2I_2}{I_1} - 1 \right)$ $\beta = 1$ როცა $I_2 / I_1 < 0.5$







კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი,  $\gamma_c$

№	კონსტრუქციის ელემენტები	მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_c$
1	მთლიანკედლიანი კოჭები და გადახურვის წამწების შეკუმშული ელემენტები, გამოყენებულ თვატრების, კინოთვატრებისა და კაბების დარბაზების ქვეშ, ტრიბუნების ქვეშ, ასევე მაღაზიების, წიგნთსაცავებისა და არქივების სათავსების ქვეშ, იმ შემთხვევაში, როდესაც გადახურვის მასა მცტია ან ტოლია დროებით დატვირთვებზე.	0,9
2	საზოგადოებრივი შენობების ხეივანი და წყალსაწნვე კოშკის საყრდენები.	0,95
3	დახურვისა და გადახურვის შედუღებული წამწების, კუთხოვანებისაგან შედგენილი ტესებრი განიკეთის გისოსის ძირითადი შეკუმშული ელემენტები (გარდა ხაფრდანი ელემენტებისა, მაგ. ნინიური და მისი ანალოგიური წამწები) $h \geq 60$ მოჭილობის შემთხვევაში.	0,8
4	მთლიანკედლიანი კოჭების საერთო მდგრადობაზე განგარიშების შემთხვევაში, როცა $\rho < 1,0$ .	0,95
5	გაგლინული ფოლადისაგან დამზადებული შემკერებელი, საწვეები, საკოჭები და საკიდრები	0,9
6	დახურვისა და გადახურვის ღეროვანი კონსტრუქციების ელემენტები:	0,95
	ა) შეკუმშული (შეკრული, მილიხებრი, განიკეთების გარდა) მდგრადობაზე განგარიშებისას.	
	ბ) გაჭიმული, შედუღებული კონსტრუქციები.	
გ) სტატიკურ დატვირთვებზე მომუშავე, გაჭიმული, შეკუმშული და აგრეთვე პირაპირა ზესადებები, ტანტიკურ კონსტრუქციებში (მაღალი სიმტკიცის ტანტიკების საშვადებით შესრულებული კონსტრუქციების გარდა) დამზადებული ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 440 მგკ-მდე (4500 კგ/სმ <sup>2</sup> ), სიმტკიცეზე განგარიშების შემთხვევაში.	1,05	

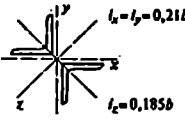
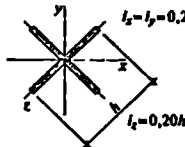
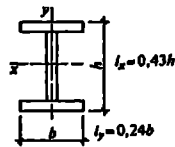
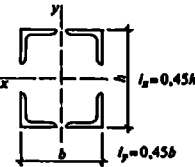
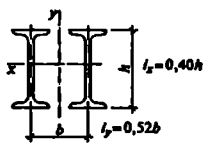
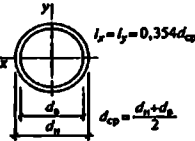
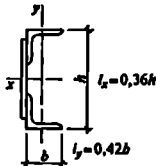
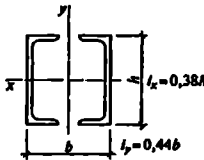
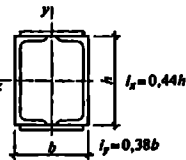
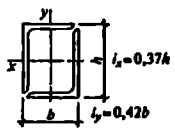
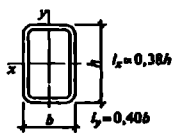
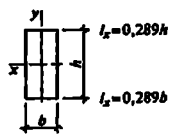
7	სტატიკურ დატვირთვებზე მომუშავე და ტანტიკური შეერთებით შესრულებული (მაღალი სიმტკიცის ტანტიკებით შესრულებული შეერთების გარდა) შედგენილი, მთლიანკედლიანი კოჭები, სვეტები და აგრეთვე პირაპირა ზესადებები, დამზადებული ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 440მგა-მდე (4500 კგ/სმ <sup>2</sup> ), სიმტკიცეზე გაანგარიშების შემთხვევაში.	1,1
8	სტატიკურ დატვირთვებზე მომუშავე ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 440 მგა-მდე (4500 კგ/სმ <sup>2</sup> ), დამზადებული გაგდინილი და შედუღებული ელემენტების, ასევე ზესადებების (მაღალი სიმტკიცის ტანტიკებით პირაპირების გარდა) განიკვეთვები, სიმტკიცეზე გაანგარიშების შემთხვევაში: ა) მთლიანკედლიანი კოჭები და სვეტები. ბ) დახურვისა და გადახურვის ღეროვანი კონსტრუქციები	1,1 1,05
9	სივრცული, გისოსური კონსტრუქციების გისოსის შეკუმშული ელემენტები, ერთმაგი თანაბართაროიანი ან არათანაბართაროიანი (ღიფი თართოი მიმაგრების შემთხვევაში) კუთხოვანებისაგან შედგენილი: ა) სარტყელზე ცალი თართოი, შედუღების ნაკერით ან კიდვე კუთხოვანის გასწვრივ განლაგებული ორი ან მეტი ტანტიკებით მიმაგრებული: ორიბნები ა) სქემის მიხედვით განმჯეენები ბ) და ე) სქემების მიხედვით ორიბნები გ), დ) და ე) სქემების მიხედვით ბ) სარტყელზე ცალი თართოი, ერთი ტანტიკის საშუალებით (მოცემული ცხრილის მე-9 პოზიციაში მითითებულის გარდა) და აგრეთვე შეერთების სახის მიუხედავად ფასონურას საშუალებით მიმაგრებული ელემენტები. გ) რთული ჯვარედინა გისოსის შემთხვევაში. როდესაც შეერთებები განხორციელებულია თითო-თითო ტანტიკებით. (ნახ. გ)-ს მიხედვით)	0,9 0,9 0,8 0,75  0,7
10.	ცალი თართოი მიმაგრებული, ერთმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილი შეკუმშული ელემენტები (არათანაბართაროიანი კუთხოვანებისათვის მცირე თაროს შემთხვევაში), მოცემული ცხრილის მე-9 პოზიციაში აღნიშნული კონსტრუქციის ელემენტებისა და ერთმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილი ბრტყელი წამწეების გარდა ნახ. ბ).	0,75

**შენიშვნებ:**

- 1) როცა  $\gamma_c < 1$ , მუშაობის პირობების კოეფიციენტების ერთდროული გათვალისწინება გაანგარიშებისას საჭირო არ არის.
- 2) 1 და 6 გ; 1 და 7; 1 და 8; 2 და 7; 2 და 8, ა; 3 და 6; გ; 6, ბ და 8, ე პოზიციებში მოყვანილი მუშაობის პირობების კოეფიციენტები გაანგარიშებისას საჭიროა გაითვალისწინოთ ერთდროულად.
- 3) 3 და 4; 6, ა, ბ და 7; 8; 9 და 10, ასევე 5 და 6, ბ პოზიციებში (პირაპირული შედუღებით) შეერთების გარდა) მოყვანილი მუშაობის პირობების კოეფიციენტების გათვალისწინება განხილული ელემენტების შეერთების გაანგარიშებისას საჭირო არ არის.
- 4) მოცემულ თავში არსებული შემთხვევებისას ფორმულაში შეიძლება მივიღოთ  $\gamma_c = 1$

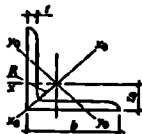
ზოგიერთი ტიპის კვეთების ინერციის რადიუსების

ზიახლოებითი მნიშვნელობები  $i = \sqrt{I/A}$

 <p><math>i_x = i_y = 0,21b</math> <math>i_z = 0,185b</math></p>	 <p><math>i_x = i_y = 0,20h</math> <math>i_z = 0,20h</math></p>	 <p><math>i_x = 0,43h</math> <math>i_y = 0,24b</math></p>
 <p><math>i_x = 0,45h</math> <math>i_y = 0,45b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,40h</math> <math>i_y = 0,52b</math></p>	 <p><math>i_x = i_y = 0,354d_{cp}</math> <math>d_{cp} = \frac{d_n + d_n}{2}</math></p>
 <p><math>i_x = 0,36h</math> <math>i_y = 0,42b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,38h</math> <math>i_y = 0,44b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,44h</math> <math>i_y = 0,38b</math></p>
 <p><math>i_x = 0,37h</math> <math>i_y = 0,42b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,38h</math> <math>i_y = 0,40b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,289h</math> <math>i_y = 0,289b</math></p>

სორტამენტები

თანაბართაროვანი კუთხოვანები (ГОСТ 8509-93)



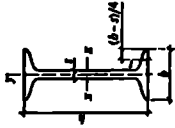
ზომები, მმ					მანუკების უარობი სტ	ცნობები						ჩაყვანილობა				მე
d	f	R	r	d <sub>კ</sub>		პ-პ		პ-პ		პ-პ		ჩაყვანილობა				
						l <sub>კ</sub> მმ	l <sub>მ</sub> მმ	l <sub>კ</sub> მმ	l <sub>მ</sub> მმ	l <sub>კ</sub> მმ	l <sub>მ</sub> მმ	10	12	14	16	
50	5	5,5	1,8	14,2	4,88	11,2	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	2,45	2,53	2,61	2,69	3,77
63	5	7	2,3	17,4	6,13	23,2	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	2,96	3,01	3,11	3,19	4,81
70	5	8	2,7	19	6,86	31,9	2,36	50,7	2,72	13,2	1,39	3,22	3,30	3,38	3,46	5,38
75	6	9	3	20,5	8,78	46,6	2,3	73,9	2,9	19,3	1,48	3,44	3,72	3,99	3,67	6,89
80	6	9	3	21,9	9,38	57	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	3,65	4,11	3,8	3,88	7,36
90	6	10	3,3	24,3	10,6	82,1	2,78	130	3,5	34	1,79	4,03	4,13	4,18	4,25	8,33
90	7	10	3,3	24,7	12,3	94,3	2,77	150	3,49	38,9	1,78	4,06	4,52	4,21	4,29	9,64
100	7	12	4	27,1	13,8	131	3,08	207	3,88	54,2	1,98	4,44	4,54	4,99	4,67	10,8
100	8	12	4	27,5	15,6	147	3,07	233	3,87	60,9	1,98	4,47	4,94	4,61	4,68	12,2
110	8	12	4	30	17,2	198	3,39	315	4,28	81,8	2,19	4,87	5,53	5,01	5,08	13,5
125	8	14	4,6	33,6	19,7	294	3,87	467	4,87	122	2,49	5,46	5,55	5,6	5,67	15,5
125	9	14	4,6	34	22	327	3,86	520	4,86	135	2,48	5,48	6,16	5,63	5,71	17,3
140	9	14	4,6	37,8	24,7	466	4,34	739	5,47	192	2,79	6,09	6,18	6,23	6,3	19,4
140	10	14	4,6	38,2	27,3	512	4,33	814	5,46	211	2,78	6,11	6,98	6,25	6,32	21,5
160	10	16	5,3	43	31,4	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	6,91	7	7,04	7,11	24,7
160	11	16	5,3	43,5	34,4	844	4,95	1340	6,24	348	3,18	6,93	7,1	7,07	7,14	27
160	16	16	5,3	45,5	49,1	1175	4,89	1866	6,17	495	3,34	7,03	7,81	7,17	7,24	38,5
180	11	16	5,3	48,5	38,8	1216	5,6	1933	7,06	500	3,99	7,74	7,83	7,88	7,97	30,5
180	12	16	5,3	48,9	42,2	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	7,76	8,62	7,9	7,98	33,1
200	12	18	6	53,7	47,1	1823	6,22	2896	7,84	749	3,99	8,55	8,67	8,69	8,76	37
200	14	18	6	54,6	54,6	2097	6,2	3333	7,81	861	3,97	8,6	8,71	8,74	8,81	42,8
200	16	18	6	55,4	62	2363	6,17	3755	7,78	970	3,96	8,64	9,49	8,77	8,87	48,7
220	16	21	7	60,2	68,6	3175	6,81	5045	8,58	1306	4,36	9,42	10,7	9,56	9,63	53,8
250	16	24	8	67,3	78,4	4717	7,76	7492	9,78	1942	4,98	10,6	10,8	10,8	10,9	61,5
250	20	24	8	69	97	5765	7,71	9160	9,72	2370	4,94	10,7	10,8	10,8	10,9	76,1

არათანაბრებადი კუბოვანები (ГОСТ 8510-86)



ზომები, მმ				საქონლბარი ხიდოვანები დვინებისათვის										შუღბანული კუბოების ინჟურსონი რადიუსები										მნიშვნელობები საქონლბარის დვინებისათვის																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
B	b	f	R	r	x <sub>0</sub>	y <sub>0</sub>	ფ		ფ <sub>1</sub>		ფ <sub>2</sub>		ფ <sub>3</sub>		ფ <sub>4</sub>		ფ <sub>5</sub>		ფ <sub>6</sub>		i <sub>1</sub>	i <sub>2</sub>	i <sub>3</sub>	i <sub>4</sub>	i <sub>5</sub>	i <sub>6</sub>	i <sub>7</sub>	i <sub>8</sub>	i <sub>9</sub>	i <sub>10</sub>	i <sub>11</sub>	i <sub>12</sub>	i <sub>13</sub>	i <sub>14</sub>	i <sub>15</sub>	i <sub>16</sub>	i <sub>17</sub>	i <sub>18</sub>	i <sub>19</sub>	i <sub>20</sub>	i <sub>21</sub>	i <sub>22</sub>	i <sub>23</sub>	i <sub>24</sub>	i <sub>25</sub>	i <sub>26</sub>	i <sub>27</sub>	i <sub>28</sub>	i <sub>29</sub>	i <sub>30</sub>	i <sub>31</sub>	i <sub>32</sub>	i <sub>33</sub>	i <sub>34</sub>	i <sub>35</sub>	i <sub>36</sub>	i <sub>37</sub>	i <sub>38</sub>	i <sub>39</sub>	i <sub>40</sub>	i <sub>41</sub>	i <sub>42</sub>	i <sub>43</sub>	i <sub>44</sub>	i <sub>45</sub>	i <sub>46</sub>	i <sub>47</sub>	i <sub>48</sub>	i <sub>49</sub>	i <sub>50</sub>	i <sub>51</sub>	i <sub>52</sub>	i <sub>53</sub>	i <sub>54</sub>	i <sub>55</sub>	i <sub>56</sub>	i <sub>57</sub>	i <sub>58</sub>	i <sub>59</sub>	i <sub>60</sub>	i <sub>61</sub>	i <sub>62</sub>	i <sub>63</sub>	i <sub>64</sub>	i <sub>65</sub>	i <sub>66</sub>	i <sub>67</sub>	i <sub>68</sub>	i <sub>69</sub>	i <sub>70</sub>	i <sub>71</sub>	i <sub>72</sub>	i <sub>73</sub>	i <sub>74</sub>	i <sub>75</sub>	i <sub>76</sub>	i <sub>77</sub>	i <sub>78</sub>	i <sub>79</sub>	i <sub>80</sub>	i <sub>81</sub>	i <sub>82</sub>	i <sub>83</sub>	i <sub>84</sub>	i <sub>85</sub>	i <sub>86</sub>	i <sub>87</sub>	i <sub>88</sub>	i <sub>89</sub>	i <sub>90</sub>	i <sub>91</sub>	i <sub>92</sub>	i <sub>93</sub>	i <sub>94</sub>	i <sub>95</sub>	i <sub>96</sub>	i <sub>97</sub>	i <sub>98</sub>	i <sub>99</sub>	i <sub>100</sub>	i <sub>101</sub>	i <sub>102</sub>	i <sub>103</sub>	i <sub>104</sub>	i <sub>105</sub>	i <sub>106</sub>	i <sub>107</sub>	i <sub>108</sub>	i <sub>109</sub>	i <sub>110</sub>	i <sub>111</sub>	i <sub>112</sub>	i <sub>113</sub>	i <sub>114</sub>	i <sub>115</sub>	i <sub>116</sub>	i <sub>117</sub>	i <sub>118</sub>	i <sub>119</sub>	i <sub>120</sub>	i <sub>121</sub>	i <sub>122</sub>	i <sub>123</sub>	i <sub>124</sub>	i <sub>125</sub>	i <sub>126</sub>	i <sub>127</sub>	i <sub>128</sub>	i <sub>129</sub>	i <sub>130</sub>	i <sub>131</sub>	i <sub>132</sub>	i <sub>133</sub>	i <sub>134</sub>	i <sub>135</sub>	i <sub>136</sub>	i <sub>137</sub>	i <sub>138</sub>	i <sub>139</sub>	i <sub>140</sub>	i <sub>141</sub>	i <sub>142</sub>	i <sub>143</sub>	i <sub>144</sub>	i <sub>145</sub>	i <sub>146</sub>	i <sub>147</sub>	i <sub>148</sub>	i <sub>149</sub>	i <sub>150</sub>	i <sub>151</sub>	i <sub>152</sub>	i <sub>153</sub>	i <sub>154</sub>	i <sub>155</sub>	i <sub>156</sub>	i <sub>157</sub>	i <sub>158</sub>	i <sub>159</sub>	i <sub>160</sub>	i <sub>161</sub>	i <sub>162</sub>	i <sub>163</sub>	i <sub>164</sub>	i <sub>165</sub>	i <sub>166</sub>	i <sub>167</sub>	i <sub>168</sub>	i <sub>169</sub>	i <sub>170</sub>	i <sub>171</sub>	i <sub>172</sub>	i <sub>173</sub>	i <sub>174</sub>	i <sub>175</sub>	i <sub>176</sub>	i <sub>177</sub>	i <sub>178</sub>	i <sub>179</sub>	i <sub>180</sub>	i <sub>181</sub>	i <sub>182</sub>	i <sub>183</sub>	i <sub>184</sub>	i <sub>185</sub>	i <sub>186</sub>	i <sub>187</sub>	i <sub>188</sub>	i <sub>189</sub>	i <sub>190</sub>	i <sub>191</sub>	i <sub>192</sub>	i <sub>193</sub>	i <sub>194</sub>	i <sub>195</sub>	i <sub>196</sub>	i <sub>197</sub>	i <sub>198</sub>	i <sub>199</sub>	i <sub>200</sub>	i <sub>201</sub>	i <sub>202</sub>	i <sub>203</sub>	i <sub>204</sub>	i <sub>205</sub>	i <sub>206</sub>	i <sub>207</sub>	i <sub>208</sub>	i <sub>209</sub>	i <sub>210</sub>	i <sub>211</sub>	i <sub>212</sub>	i <sub>213</sub>	i <sub>214</sub>	i <sub>215</sub>	i <sub>216</sub>	i <sub>217</sub>	i <sub>218</sub>	i <sub>219</sub>	i <sub>220</sub>	i <sub>221</sub>	i <sub>222</sub>	i <sub>223</sub>	i <sub>224</sub>	i <sub>225</sub>	i <sub>226</sub>	i <sub>227</sub>	i <sub>228</sub>	i <sub>229</sub>	i <sub>230</sub>	i <sub>231</sub>	i <sub>232</sub>	i <sub>233</sub>	i <sub>234</sub>	i <sub>235</sub>	i <sub>236</sub>	i <sub>237</sub>	i <sub>238</sub>	i <sub>239</sub>	i <sub>240</sub>	i <sub>241</sub>	i <sub>242</sub>	i <sub>243</sub>	i <sub>244</sub>	i <sub>245</sub>	i <sub>246</sub>	i <sub>247</sub>	i <sub>248</sub>	i <sub>249</sub>	i <sub>250</sub>	i <sub>251</sub>	i <sub>252</sub>	i <sub>253</sub>	i <sub>254</sub>	i <sub>255</sub>	i <sub>256</sub>	i <sub>257</sub>	i <sub>258</sub>	i <sub>259</sub>	i <sub>260</sub>	i <sub>261</sub>	i <sub>262</sub>	i <sub>263</sub>	i <sub>264</sub>	i <sub>265</sub>	i <sub>266</sub>	i <sub>267</sub>	i <sub>268</sub>	i <sub>269</sub>	i <sub>270</sub>	i <sub>271</sub>	i <sub>272</sub>	i <sub>273</sub>	i <sub>274</sub>	i <sub>275</sub>	i <sub>276</sub>	i <sub>277</sub>	i <sub>278</sub>	i <sub>279</sub>	i <sub>280</sub>	i <sub>281</sub>	i <sub>282</sub>	i <sub>283</sub>	i <sub>284</sub>	i <sub>285</sub>	i <sub>286</sub>	i <sub>287</sub>	i <sub>288</sub>	i <sub>289</sub>	i <sub>290</sub>	i <sub>291</sub>	i <sub>292</sub>	i <sub>293</sub>	i <sub>294</sub>	i <sub>295</sub>	i <sub>296</sub>	i <sub>297</sub>	i <sub>298</sub>	i <sub>299</sub>	i <sub>300</sub>	i <sub>301</sub>	i <sub>302</sub>	i <sub>303</sub>	i <sub>304</sub>	i <sub>305</sub>	i <sub>306</sub>	i <sub>307</sub>	i <sub>308</sub>	i <sub>309</sub>	i <sub>310</sub>	i <sub>311</sub>	i <sub>312</sub>	i <sub>313</sub>	i <sub>314</sub>	i <sub>315</sub>	i <sub>316</sub>	i <sub>317</sub>	i <sub>318</sub>	i <sub>319</sub>	i <sub>320</sub>	i <sub>321</sub>	i <sub>322</sub>	i <sub>323</sub>	i <sub>324</sub>	i <sub>325</sub>	i <sub>326</sub>	i <sub>327</sub>	i <sub>328</sub>	i <sub>329</sub>	i <sub>330</sub>	i <sub>331</sub>	i <sub>332</sub>	i <sub>333</sub>	i <sub>334</sub>	i <sub>335</sub>	i <sub>336</sub>	i <sub>337</sub>	i <sub>338</sub>	i <sub>339</sub>	i <sub>340</sub>	i <sub>341</sub>	i <sub>342</sub>	i <sub>343</sub>	i <sub>344</sub>	i <sub>345</sub>	i <sub>346</sub>	i <sub>347</sub>	i <sub>348</sub>	i <sub>349</sub>	i <sub>350</sub>	i <sub>351</sub>	i <sub>352</sub>	i <sub>353</sub>	i <sub>354</sub>	i <sub>355</sub>	i <sub>356</sub>	i <sub>357</sub>	i <sub>358</sub>	i <sub>359</sub>	i <sub>360</sub>	i <sub>361</sub>	i <sub>362</sub>	i <sub>363</sub>	i <sub>364</sub>	i <sub>365</sub>	i <sub>366</sub>	i <sub>367</sub>	i <sub>368</sub>	i <sub>369</sub>	i <sub>370</sub>	i <sub>371</sub>	i <sub>372</sub>	i <sub>373</sub>	i <sub>374</sub>	i <sub>375</sub>	i <sub>376</sub>	i <sub>377</sub>	i <sub>378</sub>	i <sub>379</sub>	i <sub>380</sub>	i <sub>381</sub>	i <sub>382</sub>	i <sub>383</sub>	i <sub>384</sub>	i <sub>385</sub>	i <sub>386</sub>	i <sub>387</sub>	i <sub>388</sub>	i <sub>389</sub>	i <sub>390</sub>	i <sub>391</sub>	i <sub>392</sub>	i <sub>393</sub>	i <sub>394</sub>	i <sub>395</sub>	i <sub>396</sub>	i <sub>397</sub>	i <sub>398</sub>	i <sub>399</sub>	i <sub>400</sub>	i <sub>401</sub>	i <sub>402</sub>	i <sub>403</sub>	i <sub>404</sub>	i <sub>405</sub>	i <sub>406</sub>	i <sub>407</sub>	i <sub>408</sub>	i <sub>409</sub>	i <sub>410</sub>	i <sub>411</sub>	i <sub>412</sub>	i <sub>413</sub>	i <sub>414</sub>	i <sub>415</sub>	i <sub>416</sub>	i <sub>417</sub>	i <sub>418</sub>	i <sub>419</sub>	i <sub>420</sub>	i <sub>421</sub>	i <sub>422</sub>	i <sub>423</sub>	i <sub>424</sub>	i <sub>425</sub>	i <sub>426</sub>	i <sub>427</sub>	i <sub>428</sub>	i <sub>429</sub>	i <sub>430</sub>	i <sub>431</sub>	i <sub>432</sub>	i <sub>433</sub>	i <sub>434</sub>	i <sub>435</sub>	i <sub>436</sub>	i <sub>437</sub>	i <sub>438</sub>	i <sub>439</sub>	i <sub>440</sub>	i <sub>441</sub>	i <sub>442</sub>	i <sub>443</sub>	i <sub>444</sub>	i <sub>445</sub>	i <sub>446</sub>	i <sub>447</sub>	i <sub>448</sub>	i <sub>449</sub>	i <sub>450</sub>	i <sub>451</sub>	i <sub>452</sub>	i <sub>453</sub>	i <sub>454</sub>	i <sub>455</sub>	i <sub>456</sub>	i <sub>457</sub>	i <sub>458</sub>	i <sub>459</sub>	i <sub>460</sub>	i <sub>461</sub>	i <sub>462</sub>	i <sub>463</sub>	i <sub>464</sub>	i <sub>465</sub>	i <sub>466</sub>	i <sub>467</sub>	i <sub>468</sub>	i <sub>469</sub>	i <sub>470</sub>	i <sub>471</sub>	i <sub>472</sub>	i <sub>473</sub>	i <sub>474</sub>	i <sub>475</sub>	i <sub>476</sub>	i <sub>477</sub>	i <sub>478</sub>	i <sub>479</sub>	i <sub>480</sub>	i <sub>481</sub>	i <sub>482</sub>	i <sub>483</sub>	i <sub>484</sub>	i <sub>485</sub>	i <sub>486</sub>	i <sub>487</sub>	i <sub>488</sub>	i <sub>489</sub>	i <sub>490</sub>	i <sub>491</sub>	i <sub>492</sub>	i <sub>493</sub>	i <sub>494</sub>	i <sub>495</sub>	i <sub>496</sub>	i <sub>497</sub>	i <sub>498</sub>	i <sub>499</sub>	i <sub>500</sub>	i <sub>501</sub>	i <sub>502</sub>	i <sub>503</sub>	i <sub>504</sub>	i <sub>505</sub>	i <sub>506</sub>	i <sub>507</sub>	i <sub>508</sub>	i <sub>509</sub>	i <sub>510</sub>	i <sub>511</sub>	i <sub>512</sub>	i <sub>513</sub>	i <sub>514</sub>	i <sub>515</sub>	i <sub>516</sub>	i <sub>517</sub>	i <sub>518</sub>	i <sub>519</sub>	i <sub>520</sub>	i <sub>521</sub>	i <sub>522</sub>	i <sub>523</sub>	i <sub>524</sub>	i <sub>525</sub>	i <sub>526</sub>	i <sub>527</sub>	i <sub>528</sub>	i <sub>529</sub>	i <sub>530</sub>	i <sub>531</sub>	i <sub>532</sub>	i <sub>533</sub>	i <sub>534</sub>	i <sub>535</sub>	i <sub>536</sub>	i <sub>537</sub>	i <sub>538</sub>	i <sub>539</sub>	i <sub>540</sub>	i <sub>541</sub>	i <sub>542</sub>	i <sub>543</sub>	i <sub>544</sub>	i <sub>545</sub>	i <sub>546</sub>	i <sub>547</sub>	i <sub>548</sub>	i <sub>549</sub>	i <sub>550</sub>	i <sub>551</sub>	i <sub>552</sub>	i <sub>553</sub>	i <sub>554</sub>	i <sub>555</sub>	i <sub>556</sub>	i <sub>557</sub>	i <sub>558</sub>	i <sub>559</sub>	i <sub>560</sub>	i <sub>561</sub>	i <sub>562</sub>	i <sub>563</sub>	i <sub>564</sub>	i <sub>565</sub>	i <sub>566</sub>	i <sub>567</sub>	i <sub>568</sub>	i <sub>569</sub>	i <sub>570</sub>	i <sub>571</sub>	i <sub>572</sub>	i <sub>573</sub>	i <sub>574</sub>	i <sub>575</sub>	i <sub>576</sub>	i <sub>577</sub>	i <sub>578</sub>	i <sub>579</sub>	i <sub>580</sub>	i <sub>581</sub>	i <sub>582</sub>	i <sub>583</sub>	i <sub>584</sub>	i <sub>585</sub>	i <sub>586</sub>	i <sub>587</sub>	i <sub>588</sub>	i <sub>589</sub>	i <sub>590</sub>	i <sub>591</sub>	i <sub>592</sub>	i <sub>593</sub>	i <sub>594</sub>	i <sub>595</sub>	i <sub>596</sub>	i <sub>597</sub>	i <sub>598</sub>	i <sub>599</sub>	i <sub>600</sub>	i <sub>601</sub>	i <sub>602</sub>	i <sub>603</sub>	i <sub>604</sub>	i <sub>605</sub>	i <sub>606</sub>	i <sub>607</sub>	i <sub>608</sub>	i <sub>609</sub>	i <sub>610</sub>	i <sub>611</sub>	i <sub>612</sub>	i <sub>613</sub>	i <sub>614</sub>	i <sub>615</sub>	i <sub>616</sub>	i <sub>617</sub>	i <sub>618</sub>	i <sub>619</sub>	i <sub>620</sub>	i <sub>621</sub>	i <sub>622</sub>	i <sub>623</sub>	i <sub>624</sub>	i <sub>625</sub>	i <sub>626</sub>	i <sub>627</sub>	i <sub>628</sub>	i <sub>629</sub>	i <sub>630</sub>	i <sub>631</sub>	i <sub>632</sub>	i <sub>633</sub>	i <sub>634</sub>	i <sub>635</sub>	i <sub>636</sub>	i <sub>637</sub>	i <sub>638</sub>	i <sub>639</sub>	i <sub>640</sub>	i <sub>641</sub>	i <sub>642</sub>	i <sub>6</sub>

ცხრილში წოდებული ფორმის ორტკეპი კოეფიციენტი (ГОСТ 8239-89)



პროექტის №	ზომები, მმ					განკვეთის ფორმის სტ.	დერის ზ-ზ				დერის ჰ-ჰ			მასა მრ.მბ	
	h	b	δ	f	I <sub>x</sub> , სმ <sup>4</sup>		W <sub>x</sub> , სმ <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , სმ <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , სმ <sup>3</sup>	S <sub>x</sub> , სმ <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , სმ <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , სმ <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , სმ		i <sub>x</sub> , სმ
10	100	55	4,5	7,2	12	39,7	198	18	23	18	6,5	1,22	9,5		
12	120	64	4,8	7,3	14,7	58,4	350	28	33,7	28	8,7	1,38	11,5		
14	140	73	4,9	7,5	17,4	81,7	572	42	46,8	42	11,5	1,55	13,7		
16	160	81	5	7,8	20,2	109	873	59	62,3	59	14,5	1,7	15,9		
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	83	81,4	83	18,4	1,88	18,4		
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	104	104	115	23,1	2,07	21		
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	131	131	157	28,6	2,27	24		
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	163	163	198	34,5	2,37	27,3		
27	270	125	6	9,8	40,2	5010	371	210	210	260	41,5	2,54	31,5		
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	268	268	337	49,9	2,69	36,5		
33	330	140	7	11,2	53,8	9840	597	339	339	419	59,9	2,79	42,2		
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	423	423	516	71,1	2,89	48,6		
40	400	155	8,3	13	72,6	19062	953	545	545	667	86,1	3,03	57		
45	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	708	708	808	101	3,09	66,5		
50	500	170	10	15,2	100	39727	1589	919	919	1043	123	3,23	78,5		
55	550	180	11	16,5	118	55962	2035	1181	1181	1356	151	3,39	92,6		
60	600	190	12	17,8	138	76806	2560	1491	1491	182	182	3,54	108		



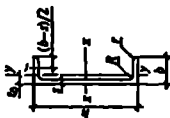


4082	396	69.72	54.7	185300	935.7	529.7	16.3	865	3.52	165	7.5	11.5	1160	5.78	4.49	20572
4581	443	76.23	59.8	249440	1125.8	690.5	18.09	1073.7	3.75	180	7.8	11	1660	6.63	5.25	22.5871
4582	447	85.96	67.5	28870	1291.9	735.9	18.32	1268	3.84	180	8.4	13	1860	6.59	5.18	22.5872
5081	492	92.98	73	37160	1511	860.4	19.99	1606	4.16	200	8.8	12	2350	7.44	5.97	25871
5082	496	102.8	80.7	42390	1709	970.2	20.3	1873	4.27	200	9.2	14	2780	7.37	5.82	25872
5581	543	113.37	89	55680	2051	1165	22.16	2404	4.61	220	9.5	13.5	3750	8.17	6.48	27.5871
5582	547	124.75	97.9	62790	2296	1302	22.43	2760	4.7	220	10	15.5	4060	8.11	6.37	27.5872
6081	593	135.26	106.2	78760	2656	1512	24.13	3154	4.83	230	10.5	15.5	5190	8.95	7.17	30871
6082	597	147.3	115.6	87640	2936	1669	24.39	3561	4.92	230	11	17.5	5810	8.9	7.07	30872
7081	661	164.7	129.3	125930	3645	2095	27.65	4556	5.26	260	12	15.5	9420	10.7	8.99	36871
7082	667	183.6	144.2	145912	4187	2393	28.19	5437	5.44	260	12.5	18.5	10310	10.6	8.87	36872
8081	791	203.2	159.5	199500	5044	2917	31.33	6244	5.54	280	13.5	17	15800	12.4	10.7	40871
8082	898	247.1	184	304400	6817	3664	35.09	8365	5.82	300	15	18.5	24520	14.1	12.4	45872
10081	990	293.82	230.6	446000	9014	5234	38.96	11520	6.26	320	16	21	38300	15.6	13.7	50871
10082	998	328.9	258.2	516400	10350	5960	39.62	13710	6.46	320	17	25	39760	15.6	13.4	50872
10083	1006	364	285.7	587700	11680	6736	40.18	15900	6.61	320	18	29	43670	15.5	13.2	50873
10084	1013	400.6	314.5	655400	12940	7470	40.45	17830	6.67	320	19.5	32.5	48190	15.5	13.2	50874
Таблица 2. Средние значения показателей (III) по субъектам (ИТ)***																
2011I	193	38.95	30.6	2600	276	153	8.26	507	3.61	150	6	9	110	2.93	1.65	10111
2311I	226	46.08	36.2	4260	377	210	9.62	622	3.67	155	6.5	10	192	2.9	2.06	11.5111
2611I	251	54.37	42.7	6225	496	276	10.7	974	4.23	180	7	10	288	3.27	2.3	2613111
26112	255	62.73	49.2	7429	583	325	10.88	1168	4.31	180	7.5	12	324	3.23	2.31	33112
3011I	291	68.31	53.6	10400	715	398	12.34	1470	4.64	200	8	11	312	3.89	2.79	15111
30112	295	77.65	61	12200	827	462	12.53	1737	4.73	200	8.5	13	369	3.84	2.77	15112

პროექტის ნომერი	მონაცემები ორტყევისხაზების										მონაცემები ორტყევისხა- ზების და ტიპებისათვის						მონაცემები ტიპებისათვის			
	h, მმ	A, სმ	m, კმ/მ	I <sub>x</sub> , სმ	W <sub>x</sub> , სმ <sup>3</sup>	S <sub>x</sub> , სმ <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> , სმ <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> , სმ	b, მმ	s, მმ	f, მმ	I <sub>x</sub> , სმ <sup>4</sup>	I <sub>x</sub> , სმ	i <sub>21</sub> , სმ	Z <sub>0</sub> , სმ	პროექტის ნომერი				
30III3	299	87	68,3	14040	939	526	12,7	2004	4,8	200	9	15	627	3,81	2,78	15მმ3				
35III1	338	93,67	75,1	19790	1171	651	14,38	3260	5,84	250	9,5	12,5	971	4,52	3,2	17,5მმ1				
35III2	341	104,74	82,2	22870	1295	721	14,52	3650	5,9	250	10	14	1050	4,49	3,19	17,5მმ2				
35III3	345	116,3	91,3	25140	1458	813	14,7	4170	5,99	250	10,5	16	1140	4,45	3,19	17,5მმ3				
40III1	388	122,4	96,1	34360	1771	976	16,76	6306	7,18	300	9,5	14	1530	5,02	3,37	20III1				
40III2	392	141,6	111,1	39700	2025	1125	16,75	7209	7,14	300	11,5	16	1860	5,15	3,61	20III2				
40III3	396	157,2	123,4	44740	2260	1259	16,87	8111	7,18	300	12,5	18	2070	5,15	3,68	20III3				
50III1	484	145,7	114,4	60930	2518	1403	20,43	6762	6,81	300	11	15	3320	6,76	4,85	25III1				
50III2	489	176,6	138,7	72330	2967	1676	20,26	7900	6,69	300	14,5	17,5	4300	7	5,37	25III2				
50III3	495	199,2	156,4	84200	3402	1923	20,56	9250	6,81	300	15,5	20,5	4780	6,95	5,34	25III3				
50III4	501	221,7	174,1	96150	3838	2173	20,82	10600	6,92	300	16,5	23,5	5280	6,92	5,35	25III4				
60III1	580	181,1	142,1	107300	3701	2668	24,35	9302	7,17	320	12	17	6180	8,28	6,05	30III1				
60III2	587	225,3	176,9	131800	4490	2544	24,19	11230	7,06	320	16	20,5	8160	6,53	6,65	30III2				
60III3	595	261,8	205,5	156900	5273	2997	24,48	13420	7,16	320	18	24,5	9500	8,54	6,75	30III3				
60III4	603	298,34	234,2	182500	6055	3455	24,73	15620	7,23	320	20	28,5	10900	8,56	6,88	30III4				
70III1	683	216,4	169,9	172000	5036	2843	28,19	10400	6,93	320	13,5	19	10980	10,1	7,76	35III1				
70III2	691	251,7	197,6	205800	5949	3360	28,58	12590	7,07	320	15	23	12660	10,1	7,74	35III2				
70III3	700	299,8	235,4	247100	7059	4017	28,72	15070	7,09	320	18	27,5	15440	10,2	8,09	35III3				
70III4	708	341,6	268,1	284400	8032	4598	28,85	17270	7,11	320	20,5	31,5	17890	10,3	8,37	35III4				
70III5	718	389,7	305,9	330600	9210	5298	29,13	20020	7,17	320	23	36,5	20660	10,3	8,6	35III5				

სკიპების ორბეტები (K) და მანძილი (KT) <sup>მ</sup>																
20 K1	195	52,82	41,5	3820	392	216	8,5	1334	5,03	200	6,5	10	129	2,22	1,5	1071
20 K2	198	59,7	46,9	4422	447	247	8,61	1534	5,07	200	7	11,5	144	2,2	1,54	1072
23 K1	227	66,51	52,2	6989	580	318	9,95	2421	6,03	240	7	10,5	225	2,61	1,71	11,5 K71
23 K2	230	75,77	59,5	7601	661	365	10,02	2766	6,04	240	8	12	263	2,65	1,81	11,5 K72
26 K1	255	83,08	65,2	10300	808	445	11,14	3517	6,51	260	8	12	365	2,98	1,97	13 K71
26 K2	258	93,19	73,2	11700	907	501	11,21	3957	6,52	260	9	13,5	419	3,01	2,07	13 K72
26 K3	262	105,9	83,1	13560	1035	576	11,32	4544	6,55	260	10	15,5	481	3,03	2,16	13 K73
30 K1	296	108	84,8	18110	1223	672	12,95	6079	7,5	300	9	13,5	652	3,49	2,29	15 K71
30 K2	300	122,7	96,3	20390	1395	771	13,06	6980	7,54	300	10	15,5	745	3,5	2,38	15 K72
30 K3	304	138,72	108,9	23910	1573	874	13,12	7881	7,54	300	11,5	17,5	875	3,56	2,52	15 K73
35 K1	343	139,7	109,7	31610	1843	1010	15,04	10720	8,76	350	10	15	1190	4,06	2,63	17,5 K71
35 K2	348	160,4	125,9	37090	2132	1173	15,21	12510	8,83	350	11	17,5	1300	4,04	2,7	17,5 K72
40 K1	393	175,8	138	52400	2664	1457	17,26	17610	10	400	11	16,5	1920	4,68	3	20 K71
40 K2	400	210,96	165,6	64140	3207	1767	17,44	21560	10,06	400	13	20	2340	4,73	3,18	20 K72
40 K3	409	257,8	202,3	80040	3914	2180	17,62	26150	10,07	400	16	24,5	3000	4,83	3,46	20 K73
40 K4	419	308,6	242,2	98340	4694	2642	17,85	31500	10,01	400	19	29,5	3720	4,93	3,75	20 K74
40 K5	431	371	291,2	121570	5642	3217	18,1	37910	10,11	400	23	35,5	4780	5,07	4,13	20 K75

- ნორმალური ორბეტები (მ ტიპის) ივლინება შემდეგი ფოლადის მარკებისაგან: 23B1-50B2 23B1-90B1 10B1-50B2 23B1-90B1 14B1-100B4 23B1-45B1 C245 C255 C345-3 C345-4 C375-3 C375-4
- ფართოთარღობანი ორბეტები (III ტიპის) ივლინება შემდეგი ფოლადის მარკებისაგან: 30M1-40M3 20M1-70M5 20M1-30M1 C245,C255,C375-3 C345-1 C345-3 C345-4
- სვეტი ორბეტები (K ტიპის) ივლინება შემდეგი ფოლადის მარკებისაგან: C245 და C345-3



ფუნქციონირების ტიპი	ზომები, მმ						შეღებები თარების შუა წიბოების დახრით	მგ	საცნობარო მონაცემები ღებებისათვის						z <sub>0</sub> , სმ
	h	b	s	t	R	r			x - x			y - y			
									I <sub>x</sub> , სმ <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , სმ <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , სმ	S <sub>x</sub> , სმ <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , სმ <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , სმ <sup>3</sup>	
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7	3	10,9	8,59	174	34,8	3,99	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3	13,3	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8	3	15,6	12,3	491	70,2	5,6	40,8	45,4	1,7	1,67
16	160	64	5	8,4	8,5	3,5	18,1	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	1,87	1,8
18	180	70	5,1	8,7	9	3,5	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04
20	200	76	5,2	9	9,5	4	23,4	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2
22	220	82	5,4	9,5	10	4	26,7	21	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37
24	240	90	5,6	10	10,5	4	30,6	24	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6
27	270	95	6	10,5	11	4,5	35,2	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73
30	300	100	6,5	11	12	5	40,5	31,8	5810	387	12	224	327	43,6	2,84
40	400	115	8	13,5	15	6	61,5	48,3	15200	761	15,7	444	642	73,4	3,23

შედეგები თარეების პარალელური წიბოებით																
8-II	80	40	4,5	7,4	6,5	3,5	8,98	7,05	89,8	22,4	3,16	13,3	13,9	5,31	1,24	1,38
10-II	100	46	4,5	7,6	7	4	10,9	8,59	175	34,9	3,99	20,5	22,6	7,37	1,44	1,53
12-II	120	52	4,8	7,8	7,5	4,5	13,3	10,4	305	50,8	4,79	29,7	34,9	9,84	1,62	1,66
14-II	140	58	4,9	8,1	8	4,5	15,6	12,3	493	70,4	5,61	40,9	51,5	12,9	1,81	1,82
16-II	160	64	5	8,4	8,5	5	18,1	14,2	750	93,8	6,44	54,3	72,8	16,4	2	1,97
18-II	180	70	5,1	8,7	9	5	20,7	16,3	1090	121	7,26	70	100	20,6	2,2	2,14
20-II	200	76	5,2	9	9,5	5,5	23,4	18,4	1530	153	8,08	88	134	25,2	2,39	2,3
22-II	220	82	5,4	9,5	10	6	26,7	21	2120	193	8,9	111	178	31	2,58	2,47
24-II	240	90	5,6	10	10,5	6	30,6	24	2910	243	9,75	139	248	39,5	2,85	2,72

შ 6 5 0 შ 6 ა შედეგები იტლინება შემდეგი ფორმის მარკებისაგან:

პროფლის ნომრები.....

8-40

12-40

14-40

ფორმის მარკები.....

8II-24II

12II-24II

14II-24II

ფორმის მარკები.....

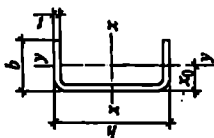
C245

C255

C345-3

და C345-4

ნაღუნი თანამართარობიანი შეჯღერებები (ГОСТ 8278-83)



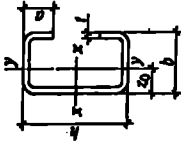
ზომები, მმ		საცნობარო მონაცემები ღერძებისათვის										x <sub>0</sub> სმ	მასა მკგ
h	b	სმ <sup>2</sup>	x-x					y-y					
			I <sub>x</sub> · სმ <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> · სმ <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> · სმ	S <sub>x</sub> · სმ <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> · სმ <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> · სმ <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> · სმ				
60	32	3,4	18,31	6,1	2,32	3,62	3,38	1,52	1	0,97	2,67		
80	50	6,6	65,98	16,5	3,16	9,65	16,6	4,48	1,58	1,6	5,18		
100	50	3	87,88	15,57	3,93	10,24	14,05	3,9	1,57	1,39	4,47		
120	60	4	198,65	33,11	4,7	19,37	31,91	7,42	1,88	1,7	7,07		
140*	60	5	239,63	39,94	4,67	23,6	38,73	9,1	1,87	1,74	8,71		
160	80	4	278,47	39,78	5,37	23,59	33,2	7,54	1,85	1,6	7,59		
160	80	4	489,16	61,14	6,33	35,42	78,01	13,44	2,53	2,2	9,58		
180	50	5	595,66	74,46	6,28	43,45	95,4	16,57	2,51	2,24	11,85		
180	50	4	457,43	50,82	6,57	31,16	21,53	5,48	1,42	1,07	8,32		
180	80	5	784,86	87,21	6,98	51,24	99,15	16,86	2,48	2,12	12,68		
200	80	4	823,48	82,35	7,72	48,43	83,67	13,86	2,46	1,96	10,83		

	5	17,09	1006,3	100,63	7,67	59,54	102,45	17,1	2,45	2,01	13,42
200*	100	22,4	1374,3	137,43	7,83	80,33	222,2	30,99	3,15	2,83	17,59
250	125	28,66	2811,7	224,94	9,9	130,14	448,01	49,33	3,95	3,42	22,5
300*	100	37,62	4694,8	312,98	11,17	189,27	327,88	42,94	2,95	2,37	29,53

\* გარსკვლავეთი აღნიშნული პროფილები (60X23X3 და 300X100X8) შზადდება მხოლოდ C235 და C245 მარკის ფოლადებისაგან.

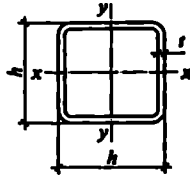
\*\* ორი გარსკვლავეთი აღნიშნული პროფილები (140X60X4 და 200X100X6) შზადდება მხოლოდ C255 და C345 მარკის ფოლადებისაგან.

ნაღწენი თანამართარებთან C-ის მგვარი პროფილები (ГОСТ 8220-89)



h	b	a	t	ზომები, მმ		საცენტრითი მონაცემები ღერძებისათვის						შპა 18, მმ			
				განვიცულის ფართობი სმ²		x - x		y - y		I <sub>x</sub> · სმ⁴	I <sub>y</sub> · სმ⁴		I <sub>x</sub> · სმ	I <sub>y</sub> · სმ	z <sub>0</sub> · სმ
				24,01	32,27	W <sub>x</sub> · სმ³	W <sub>y</sub> · სმ³	W <sub>x</sub> · სმ²	W <sub>y</sub> · სმ²						
400	160	50	3	24,01	32,27	6073,7	303,68	15,91	884,54	80,83	6,07	5,06	18,85		
400	160	60	4	32,27		8028,2	401,41	15,77	1219,7	113,92	6,15	5,29	25,33		

ნაღნიშნული კუთხის შეღებული ნაკები  
პროფილი (ТУ 36-2287-80)

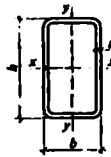


ზომები, მმ		განუცხვის ფართობი, სმ <sup>2</sup>	საცნობარო მოცულობები წახნაგებისთვის $x-x$ და $y-y$			წონა 1მ, კგ	ფოლადის მარკები ГОСТ 27772-88		
$h$	$t$		$I_x = I_y$ , სმ <sup>4</sup>	$i_x = i_y$ , სმ <sup>2</sup>	$i_x = i_y$ , სმ		C255	C345	C345-3
80	3	9,24	91,4	22,8	3,14	7,26	+	+	
100	3	11,64	182,7	36,5	3,96	9,13	+	+	
	4	15,36	236,3	47,2	3,92	12,05	+	+	
120	3	14,04	320,5	53,4	4,77	11,02	+	+	
	4	18,56	416,7	69,4	4,74	14,57	+		
	5	23	507,9	84,6	4,69	18,06	+	+	
140	4	21,76	671,3	95,9	5,55	17,08	+	+	
	5	27	821,2	117,3	5,51	21,19	+	+	
	6	32,16	964,3	137,7	5,48	25,24	+	+	
	7	37,24	1100,9	157,2	5,44	29,23	+	+	
160	4	24,96	1013	126,6	6,37	19,6	+	+	
	5	31	1242,5	155,3	6,33	24,33	+	+	
	6	36,96	1463,1	182,8	6,29	29,01	+	+	
	7	42,84	1674,9	209,8	6,25	33,63	+	+	
	8	48,64	1878,1	234,7	6,21	38,18	+	+	
180	5	35	1787,9	198,6	7,15	27,47	+	+	
	6	41,76	2109,7	234,4	7,11	32,78	+	+	
	7	48,44	2420,2	268,9	7,07	38,02	+	+	
	8	55,04	2719,7	302,1	7,03	43,21	+	+	



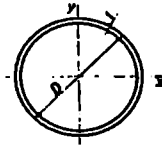
ცხრილი 16.9

ნაღვნი მართკუთხა კვეთის შედუღებული ჩაკეტილი პროფილი (ТУ 36-2287-80)



ზომები, მმ			განვიკვეთის ფარდობა	ცნობარი სიდიდეები ღერძებისათვის						18 პროფილის წონა კგ	ფოლადის მარკა		
h	b	t		x-x			y-y				C255	C345	C345-3
				$I_x$ , სმ <sup>4</sup>	$W_x$ , სმ <sup>3</sup>	$i_x$ , სმ	$I_y$ , სმ <sup>4</sup>	$W_y$ , სმ <sup>3</sup>	$i_y$ , სმ				
120	80	3	11,64	238,4	39,7	4,53	127	31,7	3,3	9,14	+		
		4	15,36	309	51,5	4,48	164	41	3,27	12,06	+	+	
140	100	4	18,56	523,4	74,8	5,31	310,1	62	4,09	14,57	+	+	+
		5	23	638,9	91,3	5,27	376,9	75,4	4,05	18,06	+		+
160	120	5	27	1002,2	125,2	6,09	640,2	106,7	4,87	21,19	+	+	+
		6	32,16	1178,3	147,2	6,05	750,4	125,1	4,83	25,24	+		+
180	140	5	31	1481,5	164,6	6,91	1003,6	143,4	5,69	24,3	+		+
		6	36,96	1746,2	194	6,87	1180	168,6	5,65	29,01	+		+
		7	42,84	2001	222,3	6,83	1348,8	192,7	5,61	33,63	+		+
200	160	5	35	2092,9	209,3	7,73	1482,9	185,4	6,51	27,47	+		+
		6	41,76	2471,5	247,1	7,69	1747,8	218,5	6,47	32,78	+		+
		7	48,44	2837,5	283,7	7,65	2002,8	250,4	6,43	38	+		+
		8	55,04	3191,2	319,1	7,61	2248,1	281	6,39	43,2	+		+

მილები შედუღებული, სწორნაკერიანი (ГОСТ 10704-91)



ზომები, მმ		განიშკაპ- თის ფართობი, სმ <sup>2</sup>	ინერციის რადიუსი $I_x$ , სმ	მასა მ, კგ	ფოლადის მარკები ГОСТ 27772-88			
$D_H$	$t$				С235	С245	С343-3	С440
83	3	7,54	2,84	5,92	+			
89	3	8,1	3,04	6,36	+			
102	2,5	7,81	3,52	6,13	+			
	3	9,32	3,5	7,32	+			
114	4,5	13,8	3,46	10,82		+		
	3	10,5	3,93	8,21	+			
	3,5	12,2	3,91	9,54		+		
127	4,5	15,5	3,88	12,15		+		
	5	17,1	3,86	13,44		+		
	3	11,7	4,39	9,17	+			
140	3,5	13,6	4,37	10,66		+	+	
	4	15,5	4,35	12,13		+		
	4,5	17,3	4,34	13,59		+		
	5,5	21	4,3	16,48		+	+	
	3,5	15	4,83	11,78	+		+	
152	4,5	19,2	4,8	15,04		+		
	5	21,2	4,78	16,65		+		
	4	18,6	5,24	14,6		+		
152	4,5	20,8	5,22	16,37		+	+	
	5,5	25,3	5,19	19,87		+		

ცხრილი 16.10 (დასასრული)

ზომები, მმ		განიკევის ფართობი, სმ <sup>2</sup>	ინერციის რადიუსი $I_x$ , სმ	მასა, მ C235	ფოლადის მარკები ГОСТ 27772-88			
$D_H$	$t$				C235	C245	C343-3	C440
159	3,5	17,1	5,5	13,42	+			
	4	19,5	5,48	15,29	+			
	5	24,8	5,45	18,99			+	
	7	33,4	5,38	26,24		+		
168	4	20,6	5,8	16,18	+			
	4,5	23,1	5,78	18,4		+	+	
	5	25,6	5,77	20,1	+			
	8	40,2	5,66	31,57		+		
203	4	25	7,04	19,63		+		
	6	37,1	6,97	29,14		+	+	
219	4	27	7,6	21,21	+	+		
	4,5	30,3	7,59	23,8		+		
	5	33,6	7,57	26,39		+	+	
	5,5	36,9	7,55	28,96	+		+	
	6	40,2	7,54	31,52		+		+
	7	46,6	7,51	36,6			+	+
	8	53	7,47	41,63		+	+	+
273	4,5	38	9,5	29,8	+			
	5,5	46,2	9,46	36,28	+			
	6	50,3	9,45	39,51		+	+	+
	7	58,5	9,42	45,92				+
	8	66,6	9,38	52,82		+	+	+
325	5	50,3	11,3	39,46	+			
	7	69,9	11,2	54,89				+
	8	79,6	11,2	62,54				+
426	7	92,1	14,8	72,33				+
	8	105	14,8	82,46				+
	9	118	14,8	92,56				+

შ ე ნ ი შ ე ნ ა :

მიღებს ამზადებენ შემდეგი მარკის ფოლადებისაგან: Cr3mn2 ГОСТ 535-88 (C235)-ით; Cr3mn4 ГОСТ 535-88 (C245) -ით; 14 Г2-14 ГОСТ 19281-89 (C345-3)-ით; 16Г 2АФ ГОСТ 19281-89 (C440) -ით.

ცხრილი 16.11

ფურცლოვანი ფოლადი ცხლად გლინული (ГОСТ 19903-74\*)

ფურცლების სისქე, მმ	ფურცლების სიგანე, მმ (სორტანტის მიხედვით)
3, 4, 5	600...1800
6	700...2000
8, 10	700...2500
12	1000...2500
14, 16, 18, 20, 22, 25	1000...2800
28, 30, 32, 36, 40	1250...3600
42, 45, 50, 60, 80, 100	1250...3600
120, 140, 160	

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: სორტანტის მიხედვით ფურცლების სიგანის გრადაცია არის: 500, 510, 600, 650, 670, 700, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2800, 2900, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800.

ცხრილი 16.12

ფურცლოვანი ნაგლინი, დამზადებული რულონებად

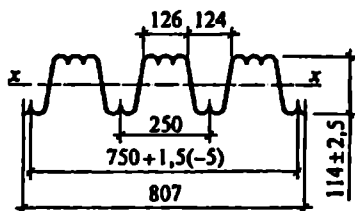
ფურცლების სისქე, მმ	ფურცლების სიგანე, მმ
3, 4, 5, 6, 8	500, 530, 550, 600, 630, 650
10, 12	670, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1100, 1250, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800
6, 8, 10	1900, 2000
8, 10	2100, 2200
12	1600, 1700, 1800

ცხრილი 16.13

ფოლადი უნივერსალური ცხლად გლინული (ГОСТ 82-70\*)

ფურცლების სისქე, მმ	ფურცლების სიგანე, მმ
6, 7, 8, 9, 10, 11	200, 210, 220, 240, 250, 260, 280
12, 14, 16, 18, 20	300, 320, 240, 360, 380, 400, 420,
22, 25, 28, 30	450, 460, 480, 500, 520, 550, 560
32, 36, 40, 45	600, 630, 650, 670, 700, 750, 800
50, 55, 60	850, 900, 950, 1000, 1050

H ტიპის პროფილირებული ფენილის სორტამენტი,  
 სიმაღლით 114 მმ, სიგანით 600 და 750 მმ. (ГОСТ 24045-94)



პროფილირებული ფურცლის აღნიშვნა	t, მმ	განმეკვლევის ფართობი, სმ <sup>2</sup>	1 მ სიგრძის მასა, კგ	საცნობარო სიდიდეები 1 მ სიგანეზე შეკუმშული თაროებისას						1 მ სიგრძის მასა, კგ	ნამზადის სიგანე, მმ
				ეწირო			განიერი				
				I <sub>2</sub> , სმ <sup>4</sup>	W <sub>21</sub> , სმ <sup>3</sup>	W <sub>22</sub> , სმ <sup>3</sup>	I <sub>2</sub> , სმ <sup>4</sup>	W <sub>11</sub> , სმ <sup>3</sup>	W <sub>22</sub> , სმ <sup>3</sup>		
H114-600-0,8	0,8	10	8,4	320,9	53,3	59,7	320,9	52,4	55,8	14	
H114-600-0,9	0,9	11,3	9,3	361	60	67,2	361	59,6	65,9	15,6	1250
H114-600-1	1	12,5	10,3	405,4	67,6	75	405,4	67,6	75	17,2	
H114-750-0,8	0,8	11,2	9,4	307,9	51,2	57,1	307,9	51,2	57,1	12,5	
H114-750-0,9	0,9	12,6	10,5	345,2	57,4	64	345,2	57,4	64	14	1400
H114-750-1	1	14	11,7	383,6	63,8	71,1	383,6	63,8	71,1	15,4	

$\gamma_m$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები

ფოლადის სახელმწიფო სტანდარტი ან ტექნიკური პირობა	საიმედობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით $\gamma_m$
ГОСТ 23570-79, ТУ14-1-302380	1,025
ГОСТ 380-71 ,ГОСТ 10705-80, ГОСТ 10706-76, ГОСТ 14637-79, ГОСТ 19281-73 და ГОСТ 19282-73 [დენადობის ზღვრით 380 მპ (39 კგ/მმ <sup>2</sup> )-მდე] ТУ14-3-500-76, ТУ14-389-72, ТУ14-1-1217-76,	1,05
ГОСТ 19281-73 და ГОСТ 19281-73 [დენადობის ზღვრით 380 მპ (39 კგ/მმ <sup>2</sup> ) და მეტი] ГОСТ 8731-74, ТУ14-3-829-79, ТУ14-3-567-76	1,1
ТУ14-1-1308-75, ТУ14-1-1772-76 14Г2АФ მარკის ფოლადისთვის $\gamma_m = 1,05$	1,15

ნაგლინის საანგარიშო წინაღობები ტორსული ზედაპირის თელვაზე ადგილობრივ თელვაზე ცილინდრულ სახსრებში; საგორაის დიამეტრულ კუმშვაზე

მასალის დროებითი წინაღობა მპა, (კგ/მმ²)	საანგარიშო წინაღობები მპა (კგ/სმ²)		
	თელვაზე		საგორაის დიამეტრულ კუმშვაზე
	ტორსული ზედაპირის (მორგების შემთხვევაში)	ადგილობრივ ცილინდრულ სახსრებში (პოტოტიკებში) მკიდროლ შეხებისას	
345 (35)	314 (3180)	157 (1590)	8 (80)
355 (36)	323 (3270)	162 (1640)	8 (80)
365 (37)	332 (3360)	166 (1680)	8 (80)
370 (38)	336 (3460)	168 (1730)	8 (80)
380 (39)	346 (3550)	173 (1780)	9 (90)
390 (40)	355 (3640)	178 (1820)	9 (90)
430 (44)	391 (4000)	196 (2000)	10 (100)
440 (45)	400 (4090)	200 (2050)	10 (100)
450 (46)	409 (4180)	205 (2090)	10 (100)
460 (47)	418 (4270)	209 (2140)	10 (100)
470 (48)	427 (4360)	214 (2180)	11 (110)
480 (49)	436 (4450)	218 (2230)	11 (110)
490 (50)	445 (4550)	223 (2280)	11 (110)
500 (51)	455 (4640)	228 (2320)	11 (110)
510 (52)	464 (4730)	232 (2370)	12 (120)
520 (53)	473 (4820)	237 (2410)	12 (120)
530 (54)	473 (4820)	237 (2410)	12 (120)
540 (55)	482 (4910)	241 (2460)	12 (120)
570 (58)	504 (5130)	252 (2570)	13 (130)
590 (60)	522 (5310)	261 (2660)	13 (130)
685 (70)	596 (6090)	298 (3050)	15 (150)

შენიშვნა: საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები მიღებულია  $\gamma_m = 1$  მნიშვნელობებისათვის.

ტანტიკების კვეთების ფართობები, თანახმად CT C3B-180-75, CT C3B-181-75 და CT C3B-182-75

d, მმ	16	18*	20	22*	24	27*	30	36	42	48
A <sub>ბ</sub> , სმ	2,01	2,54	3,14	3,8	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A <sub>ბი</sub> , სმ	1,57	1,32	2,45	3,03	3,52	4,59	5,6	8,26	11,2	14,72

\* აღნიშნული დიამეტრების ტანტიკების გამოყენება არ არის რეკომენდებული.

**γ<sub>6</sub> კოეფიციენტის მნიშვნელობები**

№	შეერთების დახასიათება	შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\gamma_b$
1	<p>მრავალჭანჭიანი ჭრასა და თელვაზე გაანგარიშებისას, ჭანჭიკების შემთხვევაში:</p> <p><i>ამაღლებული სიზუსტის უხეში და ნორმალური სიზუსტის</i></p>	<p>1,0 0,9</p>
2	<p>ერთჭანჭიანი და მრავალჭანჭიანი თელვაზე გაანგარიშებისას, მანძილების შემთხვევაში: ერთჭანჭიანი შეერთების დროს, როცა <math>a=1,5</math>, მრავალჭანჭიანისას <math>a=1,1d</math> და <math>b=2d</math>. კონსტრუქციის ელემენტებში ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით.</p> <p><i>285 მპა-მდე (2900)</i> <i>285 (2900)-დან 380 (3900)-მდე</i></p> <p><i>a</i> – მანძილი ბაღვის გასწვრივ ელემენტის კიდიდან უახლოესი ხერეტის ცენტრამდე; <i>b</i> – იგივე ხერეტების ცენტრებს შორის. <i>d</i> – ჭანჭიკისათვის საჭირო ხერეტის დიამეტრი.</p>	<p>0,8 0,75</p>

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: 1. კოეფიციენტები, რომლებიც დადგენილია 1 და 2 პოზიციებში, საჭიროა გათვალისწინებული იქნას ერთდროულად.  
2. თუ *a* და *b* დაშორებების მნიშვნელობები მე 2-ე პოზიციაშია ცხრილში მითითებულ მნიშვნელობებს შორის, მაშინ  $\gamma_b$  საჭიროა განესაზღვროთ წრფივი ინტერპოლაციით.



ჰანჭიკის საანგარიშო წინაღობა ჭრასა და გაჯიმვაზე

დაბადული მდგომარეობა	პირობითი აღნიშვნა	საანგარიშო წინაღობა მია, (კგ/სმ <sup>2</sup> ) ჰანჭიკებისა, ფოლადის სიმტკიცის კლასით					
		4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	8,8
ჭრა	$R_{bx}$	150(1500)	160(1600)	190(1900)	200(2000)	230(2300)	320(3200)
გაჯიმვა	$R_{bz}$	175(1750)	160(1600)	210(2100)	200(2000)	250(2500)	400(4000)

შ ე ნ ი შ ე ნ ა : ცხრილში ნაჩვენებია ერთჰანჭიკიანი შეერთებების საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები დამრეგულებულია 5 მია (50 კგ/სმ<sup>2</sup>)-მდე.

ჰანჭიკებით შეერთებული ელემენტების საანგარიშო წინაღობები თელვაზე

შესაერთებელი ელემენტების ფოლადის დროებითი წინაღობა, მია (კგ/სმ <sup>2</sup> )	ჰანჭიკებით შეერთებული ელემენტების საანგარიშო წინაღობები თელვაზე მია (კგ/სმ <sup>2</sup> )	
	ამაღლებული სიზუსტის	ნორმალური და უხეში სიზუსტის
345 (35)	365 (3700)	335 (3400)
355 (36)	385 (3900)	350 (3550)
365 (37)	400 (4050)	365 (3700)
370 (38)	410 (4250)	370 (3850)
380 (39)	430 (4400)	385 (4000)
390 (40)	445 (4600)	400 (4150)
400 (41)	465 (4750)	415 (4300)
410 (42)	485 (4950)	435 (4450)
420 (43)	500 (5150)	450 (4600)
430 (44)	520 (5350)	465 (4800)
440 (45)	540 (5550)	485 (4950)
450 (46)	560 (5750)	500 (5100)
460 (47)	580 (5950)	520 (5300)
470 (48)	600 (6150)	535 (5450)
480 (49)	620 (6350)	555 (5650)
490 (50)	640 (6550)	570 (5850)
500 (51)	665 (6750)	590 (6000)
510 (52)	685 (7000)	610 (6200)
520 (53)	705 (7200)	630 (6400)
530 (54)	730 (7400)	645 (6600)
540 (55)	750 (7650)	665 (6800)
550 (56)	775 (7800)	685 (7000)
560 (57)	800 (8100)	705 (7200)
570 (58)	820 (8350)	725 (7400)
580 (59)	845 (8600)	745 (7600)
590 (60)	870 (8850)	-

ხახუნის  $\mu$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები

შესაერთებელი ზედაპირების დაშუაების (გახსუთაშუაების) ხერხები	სტატისტიკური ფუნქციის ფორმულა	სტატისტიკური ფუნქციის ფორმულა	სტატისტიკური ფუნქციის ფორმულა	სტატისტიკური ფუნქციის ფორმულა	კოეფიციენტი დატვირთვისას და ხერხებისა და კანკიკების ნომინალურ დიაგრამებს შორის სხვაობის	
					დინამიური და როცა $\sigma = 3 - \sigma$ ; სტატისტიკური და როცა $\sigma = 5 - \sigma$	დინამიური და როცა $\sigma = 1$ ; სტატისტიკური $\sigma = 1 - 4$
1. სილსარეორცი, საფანტკავლური ან საფანტსატკორცილი ორი ზედაპირისათვის კვარციის ქვიშით ან საფანტით კონსერვაციის გარეშე.	$\mu$	0,58	1,35	1,12		
	$\sigma$	0,58	1,20	1,02		
2. იგივე, კონსერვაციით მოლითიებით, თუთიის ან ალუმინის დახერხებით	$\mu$	0,5	1,35	1,12		
	$\sigma$	0,5	1,20	1,02		
3. კვარცის ქვიშით ან საფანტით ერთი ზედაპირის კონსერვაციით, პოლემერული წებოთი და მოყრილი კარბონუნდის ფხვნილით, მორე ზედაპირის კონსერვაციის გარეშე, ფოლადის ჯაგრილით	$\mu$	0,5	1,35	1,12		
	$\sigma$	0,5	1,20	1,02		
4. გაზალური, ორი ზედაპირისათვის კონსერვაციის გარეშე	$\mu$	0,42	1,35	1,12		
	$\sigma$	0,42	1,20	1,02		
5. ფოლადის ჯაგრისებით ორი ზედაპირისათვის, კონსერვაციის გარეშე	$\mu$	0,35	1,35	1,17		
	$\sigma$	0,35	1,25	1,06		
6. დამუშავების გარეშე.	$\mu$	0,25	1,70	1,50		
	$\sigma$	0,25	1,50	1,20		

შ ე ი თ ე ე ა კანკიკების დატვირთვის რეგულირების ხერხი  $\mu$  -ით ნიშნავს რეგულირებას დატვირთვის მომენტის მიხედვით, ხოლო  
 $\sigma$  -ს დროს-ქანწის მობრუნების კუთხის მიხედვით.

მაღალი სიმტკიცის ტანჯიკების მექანიკური თვისებები (ГОСТ 22356-77)

ტრილის ნომინალური დიამეტრი <i>d</i> მმ	ფოლადის მარკა ГОСТ 4543-71*	უმცირესი საანგარიშო წინაღობა $R_{\text{тн}}$ ნ/მმ <sup>2</sup> (კგ/მმ <sup>2</sup> )
16-დან 27-მდე	40X „სელექტი“	1100(110)
	38XC „სელექტი“, 40XΦA „სელექტი“	1350(135)
	30X3MΦ	1550(155)
	30X2HMΦA	1550(155)
30	40X „სელექტი“	950(95)
	30X3MΦ, 35X2AΦ	1200(120)
36	40X „სელექტი“	750(75)
	30X3MΦ	1100(110)
42	40X „სელექტი“	650(65)
	30X3MΦ	1000(100)
48	40X „სელექტი“	600(60)
	30X3MΦ	900(90)

**ჭანჭიკების და მოჭლონების განაწილება**

მანძილების დახასიათება	მანძილები ჭანჭიკების განლაგების დროს
<p>1. ჭანჭიკების ცენტრებს შორის მანძილი ნებისმიერი მიმართულებით:</p> <p>ა) მინიმალური</p> <p>ბ) მაქსიმალური კუთხოვანებით შემოუფარგლავ განაპირა რიგებში; გაჭიმვისა და კუშშევისას</p> <p>გ) მაქსიმალური შუალედურ რიგებში და აგრეთვე კუთხოვანებით შემოუფარგლულ განაპირა რიგებში: გაჭიმვისას კუშშევისას</p>	<p>2,5d<sup>0</sup></p> <p>8d ან 12f</p> <p>16d ან 24f</p> <p>12d ან 18f</p>
<p>2. მანძილი ჭანჭიკის ცენტრიდან ელემენტის კიდემდე:</p> <p>ა) მინიმალური, ძალის გასწვრივ</p> <p>ბ) იგივე, ძალის მართობულად ჩამოჭრილი ნაპირის შემთხვევაში</p> <p>გ) გლლინული</p> <p>გ) მაქსიმალური</p> <p>დ) მინიმალური, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისათვის, ნებისმიერი სახის, კიდისა და ძალის ნებისმიერი მიმართულების შემთხვევაში</p>	<p>2d</p> <p>1,5d</p> <p>1,2d</p> <p>4d ან 8f</p> <p>1,3d</p>

\* შესაერთებელ ელემენტებში ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 380 მპა-ზე მეტი (3800 კგ/სმ<sup>2</sup>).

ჭანჭიკებს შორის მინიმალური მანძილი საჭიროა ავილოთ 2d -ს ტოლი ცხრილში მიღებული აღნიშვნები:

d — ჭანჭიკისათვის სერეტის დიამეტრი.

f — განაპირა ფურცელი უმცირესი ხისქით.

შ ე ნ ი შ ე ა: შესაერთებელ ელემენტებში (ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 380 მპა-ზე, 3900 კგ/სმ<sup>2</sup>) ჭანჭიკის ღერძიდან ელემენტის კიდემდე და აგრეთვე მინიმალური მანძილის ჭანჭიკის ცენტრებს შორის მოქმედი ძალის გასტყვრეგ შემცირება დასაშვებია იმ შემთხვევაში, როდესაც გაანგარიშებას ვაწარმოებთ შეერთებების მუშაობის პირობების კოეფიციენტების გათვალისწინებით.

1. Беленя Е. И. «Металлические конструкции», Москва. Стройиздат, 1985. -550с.
2. Беленя Е. И. «Предварительно напряженные несущие металлические конструкции», Москва. Стройиздат, 1975.
3. Ведеников В. С. «Металлические конструкции», Москва. Стройиздат, 1998. -758с.
4. Вольмир А. С. «Устойчивость деформированных систем», Москва. Наука, 1967 – 984 с.
5. Горев В.В. «Металлические конструкций». Т.1. Элементы конструкций. Высшая школа. Москва. 2002.
6. Кудишин Ю. И. «Металлические конструкции», Москва. изд. «Академия», 2007-682с.
7. Лагранж Ж. Л. Аналитическая механика. Москва. 1950. -594 с.
8. Санжаровский Р. С. «Теория расчета строительных конструкции на устойчивость и современные нормы», Санкт-Петербург, Москва. 2002-128с.
9. Сетков В. И. Сербин Е. П. «Строительные конструкции» Москва. 2008-448с.
10. Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела, том III, Москва, «Наука», 1981.
11. Buick Davison & Graham W. Owens. "Steel Designers' Manual". Steel Construction Institute. Blackwell Publishing. 2003-1370p.
12. Merritt Frederic S. & Riccets Jonathan T. "Building Design and Construction Handboock. McGRAW-HILL. New York. 2000-1722p.
13. Ezek K. Die Testigkeit von Driskstaben aus Stahl. Wien. 1937.
14. მიქელაძე გ. სამშენებლო მექანიკის მოკლე კურსი. თბილისი 1977.
15. მსხილაძე გ. ფაღავა ო. ლითონის კონსტრუქციები. თბილისი 1986-573 გვ.
16. ფარცხალაძე გ. მშენიერაძე ი. "ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული წამწის თეორიული და ექპერიმენტული კვლევა"-დისერტაცია. თბილისი 1998-198 გვ.
17. СНиП 2.01.07-85°. Нагрузки и воздействия - Москва. 2003.
18. СНиП II-23-81° Стальные конструкции - Москва. 2006.
19. СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции. - Москва. 2005.

	შესავალი	5
შ.1.	ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში	5
შ.2.	ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი მხარეები	6
შ.3.	ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში	8
შ.4.	ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი მხარეები	9
თავი 1.	სამშენებლო ლითონის კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალები	15
1.1.	ფოლადი	15
1.2.	ფოლადის მუშაობა ერთჯერადი გაჭიმვის დროს	19
1.3.	ფოლადის მუშაობა მრავალჯერადი დატვირთვისას	26
1.4.	დარტყმითი სიბლანტე	28
1.5.	ალუმინის შენადნობები	30
1.6.	ტემპერატურის გაყვანა ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მუშაობაზე	32
1.7.	ლითონის კონსტრუქციები და კოროზია	33
თავი 2.	ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები	36
2.1.	ძირითადი განამარტებები	36
2.2.	ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ძირითადი დებულებები	37
2.2.1.	გაანგარიშების ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი	37
2.3.	ნორმატიული და საანგარიშო წინააღობები	41
2.3.1.	ნორმატიული წინააღობები	41
2.3.2.	საანგარიშო წინააღობები	42
2.3.3.	მუშაობის პირობებისა და საიმედოობის კოეფიციენტები	43
2.4.	დატვირთვები და ზემოქმედებები	44
2.4.1.	დატვირთვებისა და ზემოქმედებების კლასიფიკაცია და დახასიათება	44
2.4.2.	ნორმატიული დატვირთვები	45
2.4.3.	საანგარიშო დატვირთვები	46
2.4.4.	დატვირთვების შეთანწყობა	46
2.5.	დატვირთვის ქვეშ მუშაობა და კონსტრუქციის ელემენტების გაანგარიშება	47
2.5.1.	ფოლადის მუშაობის პლასტიკურობის პირობა	47
2.5.2.	ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება	49
2.5.3.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება	50
2.5.3-1.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება მასალის მუშაობის დრეკად საზღვრებში	50
2.5.3-2.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით	56
2.5.3-3.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების შეზღუდულად განვითარებისას	62
2.5.3-4.	ღუნვადი ელემენტების საერთო მდგრადობის შემოწმება	64

2.5.3-5.	კოჯის დრეკადი დეფორმაციების შემოწმება, რომლის დროსაც დარღვეულია ნორმალური საექსპლუატაციო პირობები	66
2.6.	ზღვრული მდგომარეობები და ღერძული ძალით შეკუმშული ღეროების გაანგარიშება	66
2.6.1.	ღეროს მოქნილობა და მისი ფიზიკური არსი	66
2.6.2.	ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება	68
2.6.3.	ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება მდგრადობაზე	68
2.6.3.1.	ზოგადი ცნებები მდგრადობაზე	68
2.6.3.2.	ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად არეში	69
2.6.3.3.	ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად-პლასტიკურ არეში.	75
2.6.4.	ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადობის შემოწმება.	83
2.7.	ზღვრული მდგომარეობები_ და გარეცენტრალურად გაჭიმული და გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება	83
2.7.1.	გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება	83
2.7.2.	გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობაზე გაანგარიშება	85
2.7.3.	გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობის შემოწმება	93
2.8.	იდეალიზებული დრეკად-პლასტიკური მასალისგან შედგენილი ღეროების მდგრადობა	94
2.9.	კონსტრუქციის ელემენტების გრეხაზე მუშაობა	104
თავი 3.	სორტამენტი	108
3.1.	ფურცლოვანი ფოლადები	108
3.2.	კუთხოვანები	109
3.4.	ორტესებრი კოჭები	109
3.5.	ფართოთარობიანი ორტესებრი კოჭები	110
3.6.	დატეიფრული ფოლადები	110
3.7.	ბილები	111
3.8.	ალუმინის შენადნობის პროფილები	111
თავი 4.	შედუღება და შედუღებითი შეერთება	112
4.1.	შედუღება	112
4.1.1.	ხელით შედუღება	112
4.1.2.	ავტომატური შედუღება	114
4.1.3.	ნახევრად ავტომატური შედუღება	115
4.1.4.	შედუღების ნაკერის კონტროლი	116
4.2.	შედუღებითი შეერთება	119
4.2.1.	პირაპირული შეერთება	119
4.2.2.	კუთხური შედუღების ნაკერები	112

თავი 5.	ჭანჭიკებით შეერთება	129
5.1.	სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოყენებული ჭანჭიკების ტიპები	129
5.2.	ჭანჭიკებით შეერთების გაანგარიშება	130
5.3.	მოქლონებით შეერთება	135
თავი 6.	კოჭები და კოჭოვანი კონსტრუქციები	138
6.1.	კოჭოვანი კონსტრუქციების საერთო დახასიათება	138
6.1.1.	კოჭებისა და მისი კეეთების ტიპები	138
6.1.2.	კოჭოვანი გადახურვის სქემები	139
6.1.3.	კოჭოვანი ჯრღლების ფენილები	142
6.2.	გაგლინული კოჭები	147
6.2.1.	გაგლინული კოჭების კეეთის შერჩევა	147
6.2.2.	კოჭების სიხისტეზე შემოწმება	151
6.3.	შედგენილი კოჭები. შედგენილი კოჭების განიკეეთის შერჩევა	152
6.3.1.	კოჭების სიმალლე	152
6.3.2.	კედლის სისქე	156
6.3.3.	სარტყლების პორიზონტალური ფურცლები	158
6.3.4.	კოჭის კეეთის შერჩევა	160
6.3.5.	შედგენილი კოჭის განიკეეთის ცვლილება სიგრძეზე	160
6.4.	შედგენილი კოჭების სიმტკიცის, ჩალუნეების და მდგრადობის შემოწმება	163
6.4.1.	კოჭების სიმტკიცისა და ჩალუნეების შემოწმება	163
6.4.2.	კოჭის საერთო მდგრადობის შემოწმება	164
6.4.3.	კოჭის ელემენტების ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება	165
6.5.	შედგენილი კოჭების კონსტრუქციის დაპროექტება	179
6.5.1.	შედგენილი კოჭის სარტყლის კედელთან შეერთების გაანგარიშება	179
6.5.2.	შედუღებული კოჭების პირაპირები	181
6.5.4.	კოჭების ურთიერთშეუღლების კონსტრუქცია და გაანგარიშება	184
6.5.5.	საყრდენი სიხისტის წიბოები	187
6.6.	წინასწარ დაძაბული კოჭები	189
თავი 7.	ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები და ღეროები	193
7.1.	საერთო დახასიათება	193
7.2.	მთლიანკედლიანი სვეტები	194
7.3.	გამჭოლკედლიანი სვეტები	197
7.3.1.	გამჭოლკედლიანი სვეტის ტიპები	197
7.3.2.	გისოსების გაელენა გამჭოლკედლიანი სვეტის ღეროს მდგრადობაზე	199
7.3.3.	სვეტები უირიბნო გისოსით	201
7.3.4.	სვეტები სამკუთხა გისოსებითა და დამატებითი განმბჯენებით	203
7.3.5.	განივი ძალა გრძივი ღუნვის შემთხვევაში	205
7.4.	საანგარიშო სქემისა და სვეტის ტიპის შერჩევა	206
7.4.1.	საანგარიშო სქემის შერჩევა	206



7.4.2.	კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევა	207
7.5.	სვეტის ღეროს კვეთის შერჩევა და კონსტრუქციული გაფორმება	208
7.5.1.	მთლიანკედლიანი სვეტები	208
7.5.2.	გამჭოლკედლიანი სვეტები	213
7.6.	სვეტის ბაზები	216
7.7.	სვეტის სათავეის კონსტრუქცია	223
თავე 8.	წამწეები	226
8.1.	წამწეების კლასიფიკაცია და მისი გამოყენების არე	226
8.2.	წამწეების კონსტრუქციის დეტალური დაგეგმარება	231
8.2.1.	წამწის სტატიკური სქემისა და მოხაზულობის შერჩევა	231
8.2.2.	წამწეების გენერალური ზომების დადგენა	232
8.2.3.	წამწეების გისოსების სისტემა და მათი მახასიათებლები	235
8.2.4.	წამწეების მდგრადობის უზრუნველყოფა	236
8.3.	წამწის ღეროების განიკვეთის ტიპები	238
8.3.1.	მსუბუქი წამწის ღეროები	238
8.4.	წამწეების გაანგარიშება	241
8.4.1.	დატვირთვები	241
8.4.2.	ძაღვების განსაზღვრა წამწის ღეროებში	243
8.4.3.	ღეროების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრა	244
8.4.4.	ღეროების ზღერული მოქნილობები	246
8.5.	წამწის ღეროების განიკვეთის შერჩევა	247
8.5.1.	წამწის შეკუმშული ღეროების განიკვეთის შერჩევა	248
8.5.2.	წამწის გაჭიმული ელემენტების კვეთის შერჩევა	249
8.6.	მსუბუქი წამწეების კონსტრუქციები	250
8.6.1.	ზოგადი მითითებები	250
8.6.2.	წამწეები ცალმაგი კუთხოვანებისაგან	251
8.6.3.	წყვილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი წამწეები, მათი შუალედური კვანძების კონსტრუქცია და გაანგარიშება	252
8.6.4.	სამონტაჟო შეპირაპირების კვანძი	256
8.6.5.	საჯრდენი კვანძები	258
8.7.	ბილოვანი წამწეები	261
8.8.	წინასწარ დაძაბული წამწეები	266
8.8.1.	კონსტრუქციული სქემები	266
8.8.2.	წინასწარ დაძაბული წამწეების გაანგარიშება	270
8.9.	წამწის სამუშაო ნახაზების შედგენა	272
8.10.	ღეროვან სისტემებში ძაღვების განსაზღვრის გრაფიკული ხერხი მაქსიმალურ-კრემონას დიაგრამის აგებით	273
8.10.1.	გრაფიკული ხერხით ძაღვების განსაზღვრის ზოგადი პრინციპები	273
8.10.2.	წამწის ელემენტებში ძაღვების განსაზღვრის გრაფიკული მეთოდის თეორიული საფუძვლები	274
8.10.3.	წამწის ელემენტებში ძაღვების განსაზღვრის მაგალითი დანართები	276
	ლიტერატურა	317

**გამომცემლობის დირექტორი – ნანა ხახუტაიშვილი**  
**გამომცემლობის რედაქტორი – ლალი კონცელიძე**  
**ტექნიკური რედაქტორი – ედუარდ ანანიძე**

**ხელმოწერილია დასაბუჭდად 30.07.2009**  
**ქაღალდის ზომა 60X84 1/16**  
**ფიზიკური თაბახი 20.1**  
**ტირაჟი 100**

**შასი სახელშეკრულებო**

**დაიბეჭდა უნივერსიტეტის სტამბაში**  

---

**ქ. ბათუმი, ნინოშვილის 35**