

## ქანების ნიმუშების დინამიკური რღვევა და სამთო დარტყმა

ირაკლი გუჯაბიძე<sup>1</sup>, გელა მაჩაიძე<sup>2</sup>, ანზორ ტაველიშვილი<sup>3</sup>

<sup>1</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. პროფესორი; <sup>2</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. პროფესორი; <sup>3</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დოქტორანტი

### ანოტაცია

სამთო საწარმოებში სამთო დარტყმის ფორმირებისა და რეალიზაციის პროცესების შესწავლის მიზნით განხილულია ლაბორატორიულ პირობებში ქანების ნიმუშის ერთდერმა კუმშვის დროს დინამიკური რღვევის პროცესები და ქანის ცალკეული უმცირესი ნაწილაკები „გასროლის“ ეფექტი, როგორც „მიკრო სამთო დარტყმა“. ახსნილია მისი გამოწვევი ენერგეტიკული მექანიზმი. მიღებულია რღვევის ენერგეტიკული განტოლება და შემოთავაზებულია კრიტერიუმი, რომლის დაკმაყოფილების შემთხვევაშიც, ლაბორატორიულ პირობებში, ქანის ნიმუშის ცალკეული ფრაგმენტების გამოსროლას (დინამიკურ რღვევას) ადგილი არ ექნება. ნაჩვენებია, რომ ლაბორატორიული და თეორიული კვლევების შედეგები კარგ თანხვედრაშია, რაც თეორიული კვლევების შედეგების მაღალ საიმედოობაზე მიუთითებს. ნაშრომში მოცემულია რეკომენდაციები მიღებული შედეგების სამთო დარტყმებზე განზოგადოების შესახებ.

**საკვანძო სიტყვები:** ქანის ნიმუში, დინამიკური რღვევა, სამთო დარტყმა, ერთდერმა კუმშვა.

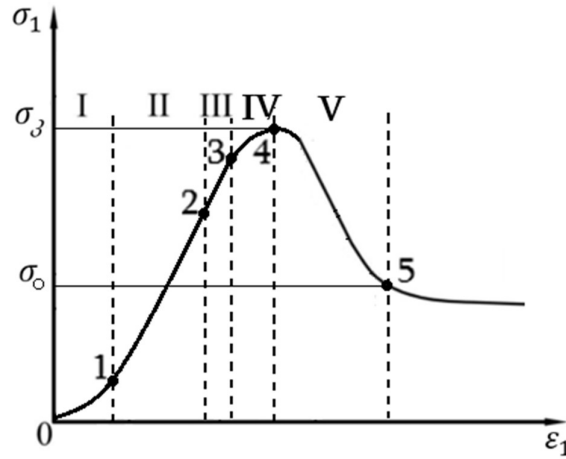
### შესავალი

სამთო საწარმოებში სამთო დარტყმების რეალიზაციის პრცესი ძალიან წააგავს ქანების ნიმუშების დინამიკური რღვევის პროცესს ლაბორატორიულ პირობებში. ამ ფაქტზე არაერთმა მეცნიერმა გაამახვილა ყურადღება და გაავლო პარალელები მიმდინარე პროცესებს შორის. ამიტომ, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია დეტალურად შევისწავლოთ ქანის ნიმუშის დეფორმირების სრული სურათი ლაბორატორიულ პირობებში და დავადგინოთ დინამიკური პროცესების რეალიზაციის თავისებურებანი; გამომწვევი მიზეზები და შევიმუშაოთ მათი შესაძლო პრევენციის მეთოდოლოგია.

### ძირითადი ნაწილი

ქანის ნიმუშის ერთდერმა კუმშვაზე გამოცდის დროს, დატვირთვების ნულიდან სიმტკიცის ზღვრამდე გაზრდის და შემდეგ რღვევის კვალდაკვალ, თანმიმდევრულად იცვლება მისი

დაბაზულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ხასიათი. მაქსიმალურ მთავარ ძაბვასა ( $\sigma_1$ ) და დეფორმაციას ( $\epsilon_1$ ) შორის დამოკიდებულება  $\sigma_1 = f(\epsilon_1)$  რთულია (ნახ.1.). ქანის ნიმუშის დეფორმირების დიაგრამას ნოლოვანი დატვირთვიდან, მის მაქსიმალურ წინააღდეგობამდე და შემდეგ სრულ რღვევამდე, ქანის რეფორმირების „სრულ დიაგრამას“ უწოდებენ. კლდოვანი ქანებისათვის სრული დიაგრამა შეიძლება დავყოთ ხუთ ძირითად უბნად[1,2]:



ნახ.1.ქანის ნიმუშის დეფორმირების სრული დიაგრამა.

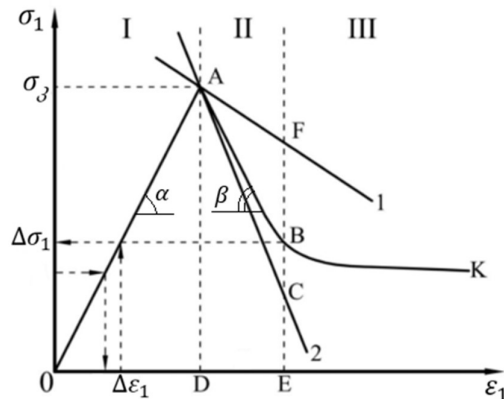
I უბანზე დეფორმაციები არადრეკადია. ძაბვები იზრდება არა წრფივად. ნიმუშში ძალის მოქმედების მართობულ მიმართულებაზე, არსებული მიკრო ბზარები და ფორები იხურება.  $\sigma_1=f(\epsilon_1)$  დამოკიდებულების მრუდი ხასიათდება მზარდი კუთხური კოეფიციენტით, დეფორმაციის მოდული და გრძივი დეფორმაციები მზარდია. ნიმუშის მოცულობა იკლებს. წერტილ 1-ის შესაბამისი დატვირთვების დროს ნიმუშში იწყება დრეკადი დეფორმაციები.

II უბანზე დამოკიდებულება  $\sigma_1=f(\epsilon_1)$  წრფივია. რეალიზდება დრეკადი დეფორმაციები. პუასონის კოეფიციენტი ( $\mu$ ) და დრეკადობის მოდული ( $E_{\text{დრ}}$ ) მუდმივი სიდიდეებია. ნიმუშში ვითარდება გრძივი და განივი დეფორმაციები. ნიმუშის მოცულობა იკლებს. მე-2-ე წერტილის შესაბამის დატვირთვას ( $\sigma_2$ ) დრეკადობის ზღვარი ეწოდება, რადგან აქ მთავრდება დრეკადობის პროცესი.

III უბანზე დამოკიდებულება  $\sigma_1=f(\epsilon_1)$  რჩება წრფივი.  $\sigma_1$  პროპორციულია  $\epsilon_1$  -ის. დეფორმაციები არადრეკადია, რის გამოც იზრდება განივი დეფორმაციების კოეფიციენტი. მე-3 წერტილის შესაბამის დატვირთვას ( $\sigma_3$ ) პროპორციულობის ზღვარი ეწოდება. დეზინტეგრაციულ ზონებში მოქმედი ლოკალური ძაბვების კონცენტრაციის გამო, ისინი აჭარბებენ ქანის სიმტკიცის ზღვარს და იწყება მცირე ზომის "ქერცლების" ან ნაწილაკების დინამიკური გამოტყორცნა ქანის ნიმუშიდან.

IV უბანზე დამოკიდებულება  $\sigma_1=f(\epsilon_1)$  არაწრფივი ხდება, ფუნქციის ზრდის ტემპი იკლებს. ნიმუშში მიმდინარეობს ბზარწარმოქმნის პროცესის ინიცირება, არსებული მიკრობზარებიდან და დეფექტებიდან. მიკრობზარებიდან. განივი დეფორმაციები იზრდება. ნიმუშის მოცულობა იწყებს ზრდას და უახლოვდება მის საწყის მნიშვნელობას. უბნის ბოლოს ნიმუშის წინააღმდეგობა დატვირთვაზე აღწევს მაქსიმუმს. მე-4-ე წერტილის შესაბამის დატვირთვას  $\sigma_3$  სიმტკიცის ზღვარი ეწოდება. ამ უბანზე გრძელდება მცირე ზომის "ქერცლების" და ნაწილაკების დინამიკური გამოტყორცნა ქანის ნიმუშიდან.

V უბანზე ვითარდება რღვევის პროცესი. ნიმუშის დეფორმირებასთან ერთად მიმდინარეობს მის მთელ მოცულობაში ბზარების გავრცელება. თანდათან ირღვევა ქანის შინაგანი კავშირები და ნიმუშში ჩნდება ლოკალური რღვევის უბნები. მაგრამ, მათი გაჩენა არ იწვევს მთელი ნიმუშის მზიდუნარიანობის სრულ დაკარგვას, რადგან ნიმუშის ცალკეულ ნაწილებს შორის ჯერ კიდევ მოქმედებს შეჭიდულობის ძალები. ნიმუში ირღვევა  $0,01 \div 0,05$  მ-ის ზომების მქონე ნაწილებად. გარკვეულ პირობებში ისინი გამოიტყორცნებიან ნიმუშიდან საშუალოდ  $4 \div 10$  მ/წმ სიჩქარით,  $2 \div 5$  მ მანძილზე. წერტილ 5-ში ქანი მთლიანად დარღვეულია, რადგან ბზარები კვეთენ ერთმანეთს და გამოდიან ნიმუშის ზედაპირზე. ნიმუში იშლება ცალკეულ ფრაქციებად, მაგრამ მას მაინც გააჩნია გარკვეული წინააღმდეგობის უნარი -  $\sigma_0$ , მას ნარჩენ სიმტკიცეს უწოდებენ და ძირითადად დაშლილი ქანის ცალკეულ ფრაქციებს შორის ხახუნის ძალებითაა განპირობებული. კლდოვან ქანებში დრეკადი დეფორმაციების (წრფივი) უბანი საკმაოდ დიდია, ამიტომ თეორიულ განგარიშებებში, საკითხის გამარტივების მიზნით 0-დან სიმტკიცის ზღვრამდე (წრტილი 5) დატვირთვის I უბანის აპროქსიმაციას ახდენენ წრფივი დამოკიდებულებით. ასევე ახლოსაა წრფივთან ქანის ნიმუშის რღვევის პროცესის ამსახველი V უბანიც. ამიტომ ქანის დეფორმირების სრულ დიაგრამაზე აღნიშნულ უბნსაც წრფივი დამოკიდებულებებით ცვლიან და ნახ.1-ზე ნაჩვენები დიაგრამის ნაცვლად განგარიშებებში ნახ.2-ზე ნაჩვენებ დიაგრამას (OA და AB წრფივი უბნებითა და სამი დამახასიათებელი ზონით) ეყრდნობიან. OA უბანზე ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის კავშირს გვიჩვენებს დეფორმაციის მოდული -  $E = \tan \alpha$ , ხოლო AB უბანზე რღვევის მოდული -  $M = \tan \beta$ .



ნახ.2. ქანის ნიმუშის დეფორმირების სრული დიაგრამის აპროქსიმაცია.

ლაბორატორიული გამოცდების დროს ქანის ნიმუშის დეფორმირების სრული დიაგრამა ყოველთვის არ მიიღება. ჩვეულებრივ პრესზე გამოცდის დროს, როგორც წესი, დატვირთვის ზღვრულ ( $\sigma_j$ ) მნიშვნელობამდე მიღწევის შემდეგ, მის დეფორმირებაზე გავლენას ახდენენ პრესის ფილებში დაგროვილი დრეკადი ენერგია, რომელიც რღვევის პროცესის დაწყებისთანავე გამონთავისუფლდება, მყისიერად გადაეცემა საცდელ ნიმუშს და იწვევს მის სრულ დინამიკურ რღვევას. აღნიშნულის გამო დიაგრამაზე AB (ნახ.2) უბანი ვერ ფიქსირდება, რადგან ქანის ნიმუში ირღვევა სტიქიურად და მისი ფრაქციები გამოიტყორცნება გარკვეულ მანძილზე, რასაც „მიკრო სამთო დარტყმა“ შეიძლება ვუწოდოთ.

ქანის ნიმუშის სრული დიაგრამის მისაღებად საჭიროა გარკვეული პირობების დაკმაყოფილება. ამისათვის განვიხილოთ ქანის ნიმუშის დეფორმირების პროცესი უფრო დეტალურად.

ქანის სიმტკიცის ზღვრის მიღწევა შესაძლებელია ორი გზით: წინასწარ განსაზღვრული დატვირთვის რეჟიმში და წინასწარ განსაზღვრული დეფორმაციის რეჟიმში. პირველ შემთხვევაში, დატვირთვები  $\Delta\sigma_1$  ინტერვალებით თანმიმდევრულად შეჰყავთ პრესის მართვის პანელზე და შესაბამისი დეფორმაციის ნამატები  $\Delta\varepsilon_1$  ჩაიწერება ავტომატურ რეჟიმში. როდესაც ზღვრული დატვირთვა -  $\sigma_3$  მიღწეულია, ნიმუშში პირველი სტრუქტურული ბმები იწყებენ დაშლას და სატესტო მანქანაში დაგროვილი პოტენციური ენერგია სწრაფად გამონთავისუფლდება, რაც იწვევს ქანის ნიმუშში დარჩენილი ბმების ზვავის მაგვარ განადგურებას. ამას მივყავართ ნიმუშის მყისიერ რღვევასთან, რის გამოც დიაგრამის AB (ნახ.2) უბანი დაფიქსირებას ვერ ასწრებს. ამ დროს ქანის ნიმუშში, ლაბორატორიული გამოცდის, ხშირად ფიქსირდება მისი ცალკეული ფრაგმენტების ნიმუშიდან გამოტყორცნა, რასაც „გასროლის ეფექტს“ უწოდებენ.

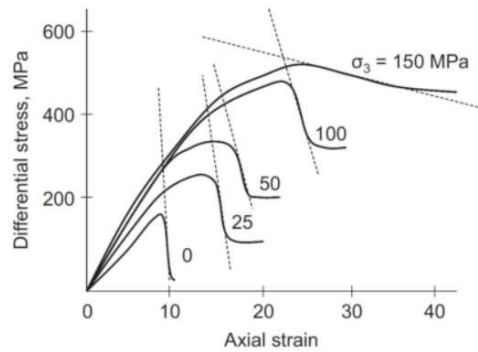
განსხვავებული სურათია ნიმუშის მოცემულ დეფორმაციებზე გამოცდის შემთხვევაში. ამ დროს სატესტო მანქანა ისეა კონსტრუირებული, რომ შესაძლებელია დეფორმაციის ბიჯის -  $\Delta\varepsilon_1$ -ის მკაცრად ფიქსირებულად მიწოდება და მათი შესაბამისი დატვირთვების  $\Delta\sigma_1$ -ის გაზომვა. ამ შემთხვევაში სატესტო მანქანაში დაგროვილი პოტენციური ენერგიის ნიმუშზე გადაცემა, ნიმუში სიმტკიცის ზღვრის ( $\sigma_3$ ) მიღწევის შემდეგ, ხდება უწყვეტად. ნიმუში თანდათან ირღვევა და B (ნახ.2) წერტილში ფხვიერ მასად გადაიქცევა (B წერტილის შემდგომ ის დატვირთვებს წინააღმდეგობას უწევს მხოლოდ ცალკეულ ნაწილებს შორის არსებული ხახუნის ძალებით). ასეთ რეჟიმში მიიღება ე.წ. „დეფორმირების სრული დიაგრამა“. ე.ი. პროცესი დამოკიდებულია პრესისა და ნიმუშის სიხისტეებზე.

დადგენილია, რომ თუ პრესის სიხისტე (უბანი AC, ნახ.2) ნიმუშის სიხისტეზე (უბანი AB) მეტია მისი რღვევის პროცესი მიმდინარეობს კონტროლირებად რეჟიმში, ხოლო თუ პრესის სიხისტე (უბანი AF, ნახ.2) ნიმუშის სიხისტეზე (უბანი AB) ნაკლებია რღვევის პროცესი არაკონტროლირებადია და დიაგრამაზე AB უბანი ვერ ფიქსირდება. რღვევის პროცესი ვითარდება სტიქიურად და ცდა წყდება A წერტილშივე.

ამრიგად, სრული დიაგრამის მისაღებად აუცილებელია გამოსაცდელ ქანზე უფრო ხისტი მახასიათებლების მქონე პრესის გამოყენება.

ქანების მოცულობითი კუმშვის შემთხვევაში „დეფორმირების სრულ დიაგრამას“ აქვს ნახ.3-ზე ნაჩვენები სახე. ზოგიერთი ქანისათვის რღვევის მოდული მოცულობითი კუმშვის დროს იცვლება. მისი ფრაქციები გამოიტყორცნებას ანუ „მიკრო სამთო დარტყმას“ არა აქვს ადგილი. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ რღვევის მოდული ქვიშაქვისათვის მინიმალური მთავირი ძაბვის  $\sigma_3$  - ის ფუნქციაა:  $M=f(\sigma_3)$  [3]. ამ შემთხვევაში M-ის მნიშვნელობა  $\sigma_3$  - ის ზრდის კვალდაკვალ მცირდება. ასეთ შემთხვევებში მისი მნიშვნელობები შესაძლებელია გამოვთვალოთ ემპირიული ფორმულით:

$$M(\sigma_3) = M \cdot \left(1 - \frac{\sigma_2}{\sigma_3}\right)^k. (1)$$



ნახ.3. ქვიშაქვების ნიმუშების დეფორმირების სრული დიაგრამა მოცულობითი კუმშვის დროს.

სამთო დარტყმის მექანიზმის თეორიული აღწერისა და მისი პროგნოზირების მეთოდის შემუშავების მიზნით, ლაბორატორიულ პირობებში ქანის ნიმუშის გამოცდის პროცესში, დეტალურად შევისწავლოთ ენერგიის მიმოცვლის საკითხი.

განვიხილოთ ნიმუშის დეფორმირების „სრული დიაგრამა“ (ნახ.2). ქანი სიმტკიცის ზღვრის მიღწევის შემდეგ რღვევის პროცესში, ქანის ნიმუშის რღვევის პროცესზე პასუხისმგებელია პრესის ფილებსა  $W_{ფ}$  და თვით ნიმუშში  $W_{ქ}$  დაგროვილი დრეკადი ენერგია. როცა ამ ენერგიების ჯამი გადააჭარბებს ნიმუშის სრული დარღვევისათვის საჭირო ენერგიას -  $W_{რღ}$ -ს მოხდება ნიმუშის ნატეხების გასროლა („მიკრო სამთო დარტყმა“):

$$W_{ქ} + W_{ფ} > W_{რღ}. (2)$$

დავადგინოთ მათი მნიშვნელობები. დრეკადობის უბანზე:

$$\sigma_{დრ} = E \cdot \varepsilon,$$

ამიტომ:

$$W_{ფ} = \int_0^{\varepsilon_{ფ.ზ}} E_{ფ} \varepsilon d\varepsilon = \frac{E_{ფ} \varepsilon_{ფ.ზ}^2}{2} = \frac{(\sigma_{ქ} - \sigma_0)^2}{2E_{ფ}}; W_{ქ} = \int_0^{\varepsilon_{ქ.ზ}} E_{ქ} \varepsilon d\varepsilon = \frac{E_{ქ} \varepsilon_{ქ.ზ}^2}{2} = \frac{(\sigma_{ქ} - \sigma_0)^2}{2E_{ქ}};$$

რღვევის პროცესში:

$$\sigma_{რღ} = \varepsilon_{რღ} M,$$

ხოლო რღვევის ენერგია ტოლია:

$$W_{რღ} = \int_0^{\varepsilon_0} \varepsilon_{რღ} M d\varepsilon_{რღ} = \frac{M \varepsilon_0^2}{2} = \frac{(\sigma_{ქ} - \sigma_0)^2}{2M}; (3)$$

სადაც  $\varepsilon_{ფ.ზ}$  და  $\varepsilon_{ქ.ზ}$  - პრესის ფილისა და ქანის ნიმუშის ზღვრული დეფორმაციებია შესაბამისად;  $E_{ფ}$  და  $E_{ქ}$  - პრესის ფილისა და ქანის ნიმუშის დეფორმაციის მოდულებია შესაბამისად;  $\varepsilon_{რღ}$  - ნიმუშის რღვევის დეფორმაციაა, ხოლო  $\sigma_{რღ}$  - ნაწილობრივად დარღვეული ქანის ნიმუშის მზიდუნარიანობაა რღვევის  $\varepsilon_{რღ}$  დეფორმაციის დროს;  $\varepsilon_0$  - ნიმუშის ნარჩენი მზიდუნარიანობის -  $\sigma_0$ -ის შესაბამისი დეფორმაციაა.

მაშინ (2)-დან:

$$\frac{(\sigma_j - \sigma_0)^2}{2E_j} + \frac{(\sigma_j - \sigma_0)^2}{2E_g} > \frac{(\sigma_j - \sigma_0)^2}{2M}. \quad (4)$$

ანუ:

$$\frac{1}{E_j} + \frac{1}{E_g} > \frac{1}{M}. \quad (5)$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\frac{M_j(E_g + E_j)}{E_j E_g} > 1. \quad (6)$$

ამრიგად, ქანის ნიმუშის ლაბორატორიულ პირობებში კუმშვაზე გამოცდის დროს, „გასროლის“ ეფექტს („მიკრო სამთო დარტყმას“) ადგილი ექნება, თუ დაკმაყოფილდება პირობა (6). ამ შემთხვევაში სიმტკიცის ზღვრის მიღწევისთანავე ქანის ნიმუში უეცრად დაირღვევა და მისი გარკვეული ფრაგმენტები “გაისროლება”. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ქანის რღვევის პროცესი იქნება კონტროლირებადი და მივიღებთ მისი დეფორმირების  $(\sigma_1 - \varepsilon_1)$  სრულ დიაგრამას. ამრიგად, პროცესი არ არის დამოკიდებული დატვირთვაზე. ის დამოკიდებულია ქანისა და პრესის ფილების მექანიკურ მახასიათებლებზე (იხ. ფორმულა 6).

აქ უნდა აღვნიშნოთ, რომ ანალოგიური მიდგომა ერთდერმა კუმშვის პირობებისათვის, რღვევის კრიტერიუმის დასადგენად, გამოყენებულია ნაშრომში [4], თუმცა დრეკადი და რღვევის ენერგიების შედარებისას, სრული დრეკადი ენერგია შედარებულია არასრულ რღვევის ენერგიასთან (რღვევის უბანზე (3) -ის ანალოგიური ინტეგრალის ალების დროს  $\varepsilon$  დეფორმაციის ზღვრულ მნიშვნელობებზე აღებული  $\varepsilon_j$  და  $\varepsilon$ , რაც ყოველად დაუშვებელია. გარდა აღნიშნულისა ერთდერმა კუმშვის კრიტერიუმის გამოყენება ქანთა მასივის მოცულობითი დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის რღვევის კრიტერიუმად ასევე დაუშვებელია).

რიგ ნაშრომში მიჩნეულია [5], რომ რღვევას იწვევს მხოლოდ ქანში დაგროვილი დრეკადი ენერგია, ხოლო პრესის ფილებიდან გადმოცემული ენერგია 0-ის ტოლია, მათ მიერ მიღებული შედეგი მთლიანად ემთხვევა ჩვენს მიერ მიღებულ (6) პირობას, როგორც კერძო შემთხვევა, როცა  $E_g = 0$ . ანალოგიური მიდგომები მოცემულია ნაშრომში [6]. ასეთი მიდგომები სამთო დარტყმის მექანიზმის ასახსნელად მიუღებელია, მით უმეტეს, თუ ისინი ქანების ერთდერმა კუმშვის თავისებურებებზეა აგებული.

ანალოგიურ პროცესებს ადგილი აქვს ქანთა მასივებშიც, გვირაბების მშენებლობისა და სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვების პროცესში წარმოქმნილი სიცარიელების გარემოცველ ქანებში გროვდება და გარკვეულ პირობებში, აფეთქების მსგავსად, უეცრად გამოიყოფა პოტენციური ენერგიის დიდი რაოდენობა. მაგრამ ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს ქანთა მასივის მოცულობით დამაბულ მდგომარეობას, რაც მნიშვნელოვნად ართულებს ამოცანას. ამ მოვლენას სამთო საქმეში სამთო დარტყმას უწოდებენ.

ჩავატარეთ თეორიული ექსპერიმენტი. განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი. ვთქვათ ლაბორატორიულ პირობებში უნდა გამოვცადოთ არგელიტის ნიმუში. წნეხისა და არგელიტის ნიმუშის მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილ 1-ში.

ცხრილი 1.

№	პარამეტრი	აღნიშვნა	მნიშვნელობა,	განზომილება
1.	არგელიტის დეფორმაციის მოდული	$E_j$	$15 \times 10^9$	პა
2.	წნეხის ფილების დრეკადობის მოდული	$E_{ფ}$	$200 \times 10^9$	პა
3.	არგელიტის რღვევის მოდული	M	$12 \times 10^9$	პა
4.	არგელიტის სიმკვრივე	$\rho$	2500	კგ/მ <sup>3</sup>
5.	არგელიტის სიმტკიცე	$\sigma_j$	$40 \times 10^6$	პა

ვნახოთ, როგორია ენერგეტიკული ბალანსი რღვევის პრცესში (ზონა II, ნახ.2). შესაბამისი მონაცემების, პირობა (6)-ში შეტანით მივიღებთ:

$$\frac{M_j(E_{ფ} + E_j)}{E_j E_{ფ}} = 0,92 < 1. \quad (7)$$

ე.ი. პირობა (6) არ კმაყოფილდება და „მინი სამთო დარტყმას“ ადგილი არ ექნება, ანუ ნიმუშის ფრაგმენტების „გასროლას“ ლაბორატორიაში გამოცდის დროს ადგილი არ ექნება. პროცესი იქნება სტაბილური.

ეხლა ავიღოთ უფრო მყიფე არგელიტი, რომლისთვისაც  $M=18 \times 10^9$  პა, მაშინ მივიღებთ:

$$\frac{M_j(E_{ფ} + E_j)}{E_j E_{ფ}} = 1,29 > 1. \quad (8)$$

ე.ი. სრულდება პირობა (6) და ცდის მსვლელობის დროს ადგილი ექნება „მიკრო სამთო დარტყმას“ და ნიმუშის ფრაგმენტების „გასროლას“ ლაბორატორიაში.

ეხლა ვნახოთ, როგორ თანხვედრაშია ჩვენი თეორიული კვლევის შედეგები, ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებთან. ამისათვის ერთმანეთს შევადაროთ დინამიკური რღვევის პრცესის შემდეგი მაჩვენებლები: ფრაგმენტების ზომები, ფრაგმენტების გაფრენის სიჩქარე და ფრაგმენტების ფრენის მანძილი.

ფრაგმენტების ზომები. გამოტყორცნილი ფრაგმენტების ზომები მერყეობენ 0,01÷0,05მ-ის ფარგლებში.

ფრაგმენტების გაფრენის სიჩქარე. სიჩქარე გამოითვლება დეფორმირებით დაგროვილი ენერგიის მიხედვით და შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$\vartheta = \sigma_j \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot E_j}} = 40 \times 10^6 \cdot \sqrt{\frac{1}{2500 \cdot 15 \times 10^9}} = 6,5 \text{ მ/წმ.}$$

ფრაგმენტების ფრენის მანძილი. ჩავთვალოთ, რომ ნიმუში პრესში დევს  $h=1\text{მ}$  სიმაღლეზე და “გმოსროლა” ხდება ჰორიზონტალურად. მაშინ, ფრაგმენტის ვარდნის დრო ტოლი იქნება:

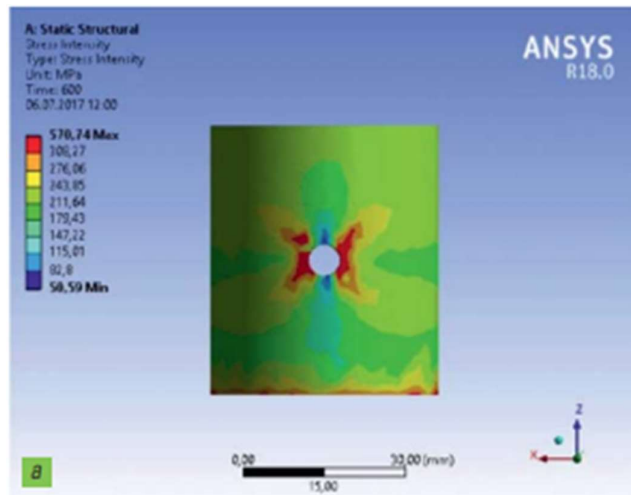
$$T = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{9,8}} = 0,45 \text{ წმ.}$$

ფრენის მანძილი იქნება:  $L = \vartheta \cdot t = 0,65 \cdot 0,45 = 2,9 \text{ მ.}$

ვნახოთ, რა გავლენას ახდენენ ნიმუშის რღვევის პროცესზე მისი აგებულების არარეთგვაროვნება. ამ შემთხვევაში მთავარი ფაქტორებია:

1. ფორების ეფექტი: მარცვლებს შორის არსებული ფორები მოქმედებენ, როგორც "მაბვების კონცენტრატორები".
2. ზედაპირული ეფექტი: ნიმუშის კიდეებზე ქანი ნაკლებად არის შეზღუდული (არა აქვს გვერდითი დატვირთვა), ამიტომ დეფორმაციით დაგროვილი ენერგია ყველაზე ადვილად აქ თავისუფლდება.
3. მარცვლების ორიენტაცია: ზოგიერთი მარცვალი შეიძლება იყოს ისეთი კუთხოვანი, რომ მასზე მოქმედი ძეხები მაბვები მაქსიმალური აღმოჩნდეს.

თეორიული კვლევა გვიჩვენებს, რომ საშუალოდ ნმმ-მდე დიამეტრის [7] მქონე დეზინტეგრაციული ზონების ირგვლივ მაბვათა კონცენტრაციის კოეფიციენტის -  $k$ -ს მნიშვნელობა საშუალოდ  $2 \div 5$ -ის ტოლია, ხოლო ნიმუშზე მოსული დატვირთვა  $0,5 \div 0,8 \sigma_j$ -ს შეადგენს (ნახ.4). შესაბამისად, ამ ზონებში აქერცილი ნაწილაკების “გასროლის” ეფექტს შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს მაშინაც კი, როცა  $k=2$  და ნიმუშის დატვირთვა  $0,5 \sigma_j$  – ს შეადგენს.



ნახ.4.ქანის ნიმუშში მკუმშავი მაბვების კონცენტრაციის ზონა[7].

ამრიგად, ნიმუშის  $0,5\sigma_3$  დატვირთვის დროს 6 მმ-მდე დიამეტრის მქონე დეზინტეგრაციულ (შესუსტებულ) ზონაში ენერგეტიკული ბალანსი ისეთივეა, როგორც მთელი ნიმუშისა სიმტკიცის ზღვარზე. თუ პირველ შემთხვევაში ადგილი ექნება  $2\div 6$ მმ-იანი (საშუალოდ 4მმ) დიამეტრის მქონე ფრაგმენტების “გასროლას” და თუ ნიმუშის ზომა 60მმ-ია, მაშინ შეგვიძლია დავადგინოთ, რამდენჯერ ნაკლები დიამეტი ექნება მეორე შემთხვევაში (II უბანზე იხ.ნახ.2.) გამოტყორცნილი ნაწილაკებს:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\gamma \cdot V_1}{\gamma \cdot V_2} = \frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{30^3}{2^3} = 3\ 375.$$

სადაც  $P_1$  და  $P_2$  - გამოსროლილი ნაწილაკების წონებია პირველ და მეორე შემთხვევაში;

$V_1$  და  $V_2$  - აღნიშნული ნაწილაკების მოცულობებია შესაბამისად;

$\gamma$  - ქანის მოცულობითი წონაა და ორთავე შემთხვევაში ერთნაირია;

$R_1$  და  $R_2$  - გამოსროლილი ნაწილაკების (ბურთულაკების) რადიუსებია პირველ და მეორე შემთხვევაში.

ე.ი. მეორე შემთხვევაში ნაწილაკის ზომა 3375-ჯერ ნაკლები, ანუ  $R=0,02\text{მ}/3375=5,9\text{მკმ}$ -ია.

ლაბორატორიული და თეორიული კვლევებით მიღებული ქანის ნიმუშის რღვევის ძირითადი მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 2-ში.

ცხრილი.2

დატვირთვები ნიმუშიდან აქერცვლისა და მოწყვეტის დასაწყისში (უბანი III და IV, ნახ.3).	აქერცილი და ნიმუშიდან მოწყვეტილი მინერალური ნაწილაკების ზომები (უბანი III და IV, ნახ.3), მკ.მ.	ნიმუშიდან „გასროლილ“ ნიმუშის ნატეხების ზომები (უბანი V), მ.	ნიმუშიდან „გასროლილი“ ნიმუშის ნატეხების სიჩქარე (უბანი V), მ/წმ.	ნიმუშის ნატეხების “გასროლის” მანძილი (უბანი V), მ.
ლაბორატორიული ცდების შედეგად მიღებული შედეგები (იხ.თავი 1.1.2)				
$0,5\div 0,8 \sigma_3$	$0,5\div 5,0$	$0,01\div 0,05$	$4\div 10$	$2\div 5$
თეორიული კვლევის შედეგად მიღებული შედეგები				
$0,5\div 0,8 \sigma_3$	5,9	0,03	6,5	2,9

ლაბორატორიული და თეორიული კვლევების შედეგების შედარებით, დავრწმუნდებით ამ უკანასკნელის მაღალ საიმედოობაში.

სამთო საწარმოებში (შახტებში და მაღაროებში) სამთო დარტყმების ანალოგიური თეორიული კვლევის ჩსატარებლად, აუცილებელია რღვევის პროცესის ჩაწერა ქანთა მასივის მოცულობითი დამაბული მდგომარეობის საფუძველზე, ხოლო მასში შემავალი რღვევის მოდულის მნიშვნელობის დასადგენად გამოვიყენოთ გამოსახულება (2).

## დასკვნები

ერთდერმა კუმშვაზე ქანების ნიმუშების ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე დადგენილია მათი დინამიკური რღვევის ენერგეტიკული ბალანსის პირობა და მიღებულია სამთო დარტყმის კრიტერიუმი ერთდერმა კუმშვის დროს.

დადგენილია პრესის ფილების მექანიკური მახასიათებლები, რომლებიც გამორიცხავენ პროცესების დინამიკურად განვითარებას ექსპერიმენტის დროს და ნიმუშის დეფორმირების სრული დიაგრამის მიღებას. შემუშავებულია რეკომენდაციები გამოსაცდელი ხელსაწყოთა სწორი პროექტირებისათვის.

შესწავლილი ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები და ჩვენს მიერ შემუშავებული თეორიული კვლევის შედეგები კარგ თანხვედრაშია, რაც ამ უკანსკნელის მაღალ საიმედოობაზე მეტყველებს.

შემუშავებულია რეკომენდაციები სამთო საწარმოებში (შახტებში და მადაროებში) სამთო დარტყმების პროგნოზირების თეორიული ენერგეტიკული მოდელის შექმნისა და მისი პრევენციის ღონისძიებების შემუშავებისათვის.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. И.К.Гуджабидзе. Вопросы механики подземных сооружений неглубокого залегания. Тбилисский университет, 1991 г. 186с.
2. ზ.გუდავაძე. ქანების ფიზიკა. სტუ „საგამომცემლო სახლი“. 2025. 312გვ.
3. Tarasov, B. G. Superbrittleness of rocks and earthquake activity /B. G. Tarasov, M. F. Randolph // International Journal of Rock Mechanics & Mining Science. – 2011. – Vol. 48. – Iss. 6. – Pp. 888–898.
4. Гоголин.В.А. Деформационные и прочностные характеристики горных пород при сжатий. ВестникКГТУ,2016.№3.стр.3-8.
5. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ РАЗРУШЕНИЙ В МАССИВАХ СКАЛЬНЫХ ПОРОД Э.В. Каспарьян<sup>1</sup>, Н.Н. Кузнецов<sup>1</sup>, А.Н. Шоков, А.К. Пак. Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия, ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /2020;(4):69-84. <https://giab-online.ru/files/Data/2020/4/69-84.pdf>.
6. Rockburst in underground excavations: A review of mechanism, classification, and prediction methods. Mahdi Askaripour, Ali Saeidi, Alain Rouleau, Patrick Mercier-Langevin. Underground Space. Volume 7, Issue 4, August 2022, Pages 577-607. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967422000022>.
7. С. Д. ВИКТОРОВ и др. Комплексное моделирование зон концентраций напряжений для оценки состояния геоматериаллов. [https://rudmet.net/media/articles/Article MJ 11 17 pp.41-45 2.pdf](https://rudmet.net/media/articles/Article_MJ_11_17_pp.41-45_2.pdf).

# Dynamic Fracture of Rock Samples and Rock Burst

Georgian Technical University. Professors: Irakli Gujabidze, Gela Machaidze, PhD candidate Anzor Tavelishvili.

## Abstract

To study the formation and occurrence of rock bursts in mining enterprises, the dynamic fracture of rock samples under uniaxial compression in laboratory conditions is examined, along with the “ejection” of the smallest rock particles, considered a “micro rock burst.” The energy mechanism underlying this phenomenon is explained. An energy equation for fracture is derived, and a criterion is proposed such that, under laboratory conditions, the ejection (dynamic fracture) of individual rock sample fragments will not occur if the criterion is satisfied. The laboratory and theoretical studies show good agreement, indicating the high reliability of the theoretical results. The paper also provides recommendations for generalizing the obtained results to actual rock bursts in mining practice.

Keywords: rock sample, dynamic fracture, rock burst, uniaxial compression.