

წრთობის გავლენა პოლიკრისტალური ვანადიუმის დინამიურ მექანიკურ თვისებებზე

ირაკლი ტაბატაძე¹, ია ყურაშვილი¹, ინგა ჯანელიძე², გიორგი დარსაველიძე¹

¹სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

შესწავლილია მაღალ ტემპერატურებზე წრთობის გავლენა პოლიკრისტალური ვანადიუმის გრებიტი რხევების მიღევის ლოგარითმული დეკრემენტის და ძვრის დინამიური მოდულის ცვლილებათა კანონზომიერებები ამპლიტუდური დეფორმაციის 10^{-5} - 10^{-3} ინტერვალში. განსაზღვრულია ამპლიტუდური დეფორმაციის კრიტიკული მნიშვნელობები, რომლებზედაც იწყება დისლოკაციების სეგმენტების მოწყვეტა დამაგრების სუსტი და ძლიერი ცენტრებიდან. ფიქსირებულ 700 და 900°C ტემპერატურებზე ხანმოკლე (20წთ) მოწვისა და შემდგომი წრთობით ოთახის ტემპერატურაზე მოსალოდნელია მინარევების კონცენტრაციის შემცირება დისლოკაციების გარემომცველ კოტრელის ატმოსფეროში. აღნიშნულ ცვლილებებს შეუძლიათ განაპირობონ დისლოკაციების ბლოკირების კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაციისა და ძვრის დინამიური მოდულის შესამჩნევი შემცირება და რხევების ენერჯის შთანთქმის ინტენსივობის ძლიერი ზრდა რხევის ამპლიტუდების ფართო დიაპაზონში. ვანადიუმის სტრუქტურაში არსებული დისლოკაციების გარემომცველი კოტრელის ატმოსფეროს შედგენილობის კონცენტრაციულმა ცვლილებებმა განაპირობეს დრეკადობის ზღვრის სიმრავლეთა წარმოქმნა. მიღებული შედეგები ცხადყოფს მაღალი ტემპერატურებიდან წრთობით ვანადიუმის დისლოკაციური სტრუქტურის ძვრადობის ცვლილების შესაძლებლობებს, რაც წარმოადგენს მექანიკური თვისებების მართვის საფუძველს.

საკვანძო სიტყვები: ვანადიუმი, ძვრის მოდული, წრთობა, დრეკადობის ზღვარი, ამპლიტუდური დეფორმაცია.

შესავალი

მაღალი ტემპერატურებიდან წრთობით შესაძლებელია ვანადიუმის კრისტალურ მესერში არსებული დისლოკაციური სტრუქტურის დამახასიათებელი მინარევების ატმოსფეროების შედგენილობისა და კონფიგურაციის ცვლილებები. რაც მაღალია წრთობის ტემპერატურა, მით უფრო გაღარიბებულია ატმოსფერო ტექნოლოგიური O, C და N მინარევებისაგან და ამალეებულია ვაკანსიების კონცენტრაცია. ასეთ პირობებში ვანადიუმის სტრუქტურაში შესაძლებელია წარმოიქმნას სხვადასხვა დონის პოტენციალური ბარიერები, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავებული ენერგეტიკული მახასიათებლებით განახორციელებენ დისლოკაციების ბლოკირებას გარეშე მექანიკური დატვირთვების პირობებში.

ვანადიუმის წვრილდისპერსული სტრუქტურისათვის, რომელიც ფორმირდება მდნარი მდგომარეობიდან სწრაფი წრთობით, ფიქსირებულია შინაგანი ხახუნის რთული შედგენილობის ტემპერატურული სპექტრი O, C და N –თან დაკავშირებული ურთიერთზედებული მაქსიმუმებით და ოთახის ტემპერატურის პირობებში ძვრის მოდულისა და შინაგანი ხახუნის ტემპერატურული დამოკიდებულებების ზიგზაგისებური ცვლილებები [1]. დისლოკაცია დამაგრების წერტილოვანი ცენტრების რთული სტრუქტურა შესაძლებელია შეიქმნას ასევე რადიაციული დასხივების პროცესებში. ასეთ პირობებში დისლოკაციური სტრუქტურა და მექანიკური თვისებების მოდიფიცირება შესწავლილია ნაშრომებში [2,3]. სტრუქტურული მახასიათებლების მოდიფიცირების შესაძლებლობები გამოკვლეულია Ti და Cr -ით ლეგირებული ვანადიუმის პოლიკრისტალურ ნიმუშებში [4].

ექსპერიმენტული მეთოდები

კვლევის ობიექტად შერჩეულია ინერტულ გაზებში (He, Ar) რკალური დნობით მიღებული ვანადიუმის სხმულები. კვლევისათვის საცდელი პროფილირებული ნიმუშები მომზადდა ალმასის დისკზე დაჭრისა და შემდგომი ხეხვისა და პოლირების სტანდარტული მეთოდით. ოპტიკური მიკროსკოპზე NMM-80RF/TRF მეტალოგრაფიული კვლევით დადგინდა, რომ პოლიკრისტალური სტრუქტურის მარცვლის ზომები იცვლებიან $0,5 - 5$ მკმ. ინტერვალში.

დინამიური ძვრის მოდული და გრეხითი რხევების მიღების ლოგარითმული დეკრემენტი განისაზღვრა ოთახის ტემპერატურაზე სიხშირის $0,5 - 5,0$ ჰც და ამპლიტუდური დეფორმაციის $10^{-5}-10^{-3}$ დიაპაზონებში. ძვრის მოდულის აბსოლუტური მნიშვნელობა შეფასებულია ეტალონთან (ელექტროლიტური ცირკონიუმი) შედარების მეთოდით [5].

$$G = G_0 \frac{f^2}{f_0^2},$$

სადაც G_0 და f_0 წარმოადგენენ ეტალონური ნიმუშის ძვრის მოდულსა და გრეხითი რხევის სიხშირეს. G და f არის საცდელი ნიმუშის ასეთივე მახასიათებლები.

რხევების სიხშირისა და მიღების ლოგარითმული დეკრემენტის განსაზღვრა სრულდებოდა დაბალი სიხშირული შინაგანი ხახუნის მზომ ლაბორატორიულ დანადგარზე ვაკუუმში $\sim 10^{-4}$ ტორი. ნიმუშების წრთობა განხორციელდა თხევად აზოტში გაცივებით ვაკუუმში $\sim 10^{-4}$ ტორი. წრთობის $1230^\circ C$ ტემპერატურაზე საცდელი ნიმუშები ყოვნდებოდა 10 წთ-ის განმავლობაში.

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა

პოლიკრისტალური ვანადიუმის მიკროსტრუქტურაში დისლოკაციების სიმკვრივე მაღალია როგორც მარცვლის შიდა, ასევე მარცვალთა შორის არსებულ სასაზღვრო ზონაში. ორივე ტიპის დისლოკაცია გარშემორტყმულია ტექნოლოგიური მინარევების კოტრელის ატმოსფეროებით. მათი უმთავრესი მდგენელებია O, C და N ელემენტების ატომები. აღნიშნულიდან გამომდინარე მოსალოდნელია, რომ საცდელი ნიმუშების დინამიური მექანიკური მახასიათებლები, კერძოდ, ძვრის დინამიური მოდულის აბსოლუტური სიდიდე, საგრძნობლად განსხვავდება თანამდებობისგან დეფექტებისგან თავისუფალი ვანადიუმის კრისტალის დამახასიათებელი ძვრის მოდულისაგან.

თერმული დამუშავებით (მაღალ ტემპერატურაზე მოწვა, წრთობა) შესაძლებელია ნიმუშის დისლოკაციური სტრუქტურის დამამუხრუჭებელი ატმოსფეროების შემადგენელი მინარევების პროცენტული შემცველობის ცვლილება და, შესაბამისად, დისლოკაციური სტრუქტურის ძვრადობის რეგულირება. ეს შესაძლებლობები ასახვას პოულობენ სტრუქტურულადმგრძნობიარე მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ცვლილებებში. საწყის მდგომარეობაში საცდელი ნიმუშის გრეხითი რხევების დაბალ ამპლიტუდათა დიაპაზონში ($\sim 10^{-5}$) რხევის სიხშირის განსაზღვრით შეფასებული იქნა ძვრის მოდულის აბსოლუტური მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება მინარევებით ბლოკირებულ დისლოკაციურ სტრუქტურას. ამის შემდგომი გახურება 700°C - მდე, დაყოვნება 20წთ და წრთობა ოთახის ტემპერატურაზე განაპირობებენ საცდელი ნიმუშის ახალ სტრუქტურულ მდგომარეობას, რომელშიც დისლოკაციური სტრუქტურების გარემომცველი მინარევების ატმოსფეროები ნაწილობრივ გადარიბებულია O, C და N მინარევების ატომებისგან. მათი განსაზღვრული რაოდენობა დიფუზიით გადაინაცვლებს მყარ ხსნარში, შესაბამისად შესუსტდება ბმები ცალკეული მერხევი დისლოკაციური სეგმენტის. ეს გარემოება ექსპერიმენტულად გამოვლენილია ძვრის დინამიური მოდულის შემცირებაში (ცხრ. 1).

წრთობის გავლენა პოლიკრისტალური ვანადიუმის დინამიურ მექანიკურ მახასიათებლებზე
ცხრილი 1

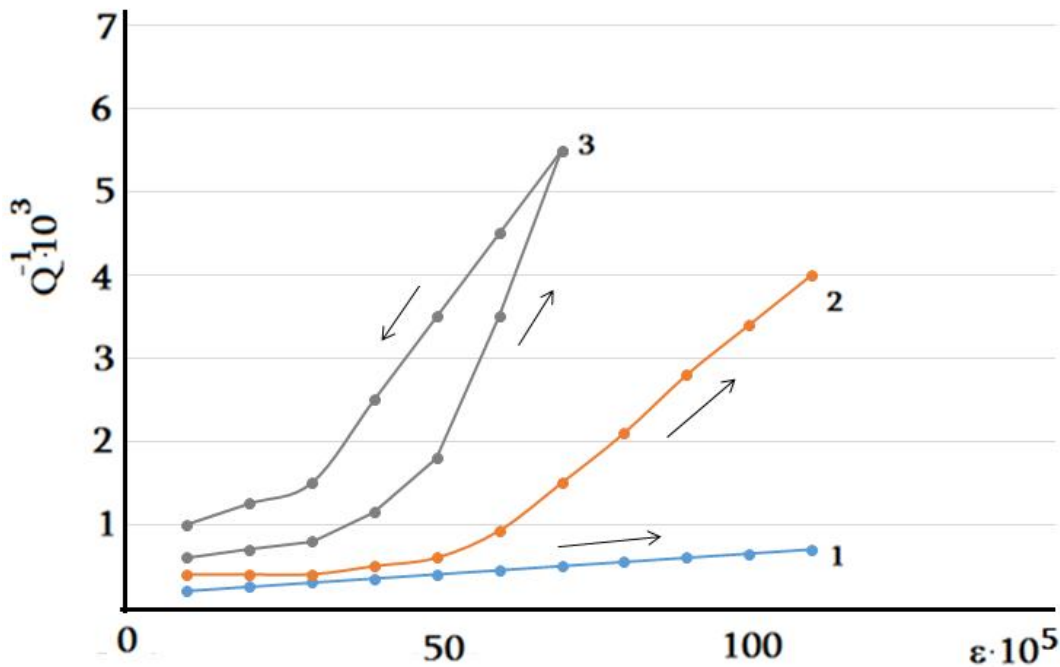
ნიმუშის მდგომარეობა	პირველი კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაცია, 10^{-5}	მეორე კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაცია, 10^{-5}	ძვრის დინამიური მოდული, კგ/მმ ²	დრეკადობის ზღვარი კგ/მმ ²
საწყისი	85	—	8000	6,8
წრთობა 700°C	40	55	7600	3,04
წრთობა 950°C	25	45	7000	1,75

დაბალ სიხშირული პერიოდული ძაბვის ველში დისლოკაციის სეგმენტი გადალახავს მინარევების ლოკალიზებულ ველებს და გარეშე ძაბვის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ, კვლავ

უბრუნდება წონასწორობის საწყის მდგომარეობას. წრთობით მცირდება დისლოკაციებზე არსებული ბმების ცენტრებს შორის მანძილი, რითაც მცირდება დისლოკაციური სეგმენტის მოძრაობის პოტენციალური ბარიერი. ასეთ პირობებში ძვრის დინამიური მოდული შემცირდება შედარებით ნაკლები სიდიდით.

წრთობის ტემპერატურის ამაღლებით 950°C -მდე კიდევ უფრო მეტი რაოდენობით გადადიან მყარ ხსნარში O, C და N ატომები. შესაბამისად იზრდება ცალკეულ დისლოკაციაზე ბმების ცენტრებს შორის მანძილი. ამით სუსტდება დისლოკაციური სეგმენტებისადმი მოძრაობის შემაფერხებელი ბარიერი და სეგმენტების გადაადგილება განხორციელდება შედარებით მეტ მანძილზე. ასეთ პირობებში დისლოკაციური სეგმენტების მოწყვეტა - დამაგრების პროცესი კვლავ შექცევადია ე.ი. არ ვლინდება მიკროპლასტიკური დეფორმაცია, ხოლო ატომთა შორის კავშირის ძალების პროპორციული ძვრის დინამიური მოდული განიცდის დამატებით შემცირებას.

საცდელი ნიმუშების წრთობის შედეგად ძვრის დინამიური მოდულის შემცირების მიზეზების გამოსაკვლევად შესწავლილია გრეხითი რხევების ამპლიტუდის ფართო დიაპაზონში რხევების მიღევის ლოგარითმული დეკრემენტისა და სიხშირის კვადრატის ცვლილებათა კანონზომიერებანი. რხევის ამპლიტუდის მცირე მნიშვნელობებზე რხევების მიღევის პროპორციული შინაგანი ხახუნის ინტენსივობა მინიმალურია და პრაქტიკულად დამოუკიდებელია ამპლიტუდის სიდიდისაგან (ნახ.1,1). მისი მეტად სუსტი მატება რხევათა მაღალ ამპლიტუდებზე განპირობებულია დისლოკაციური სეგმენტების შექცევადი რხევითი მოძრაობით კრისტალური მესრის მოცულობაში არსებული ვაკანსიებისა და ქაოსურად განაწილებული მინარევების ველში.



ნახ.1.წრთობი პოლიკრისტალური ვანადიუმის შინაგანი ხახუნის ინტენსივობის ამპლიტუდური დამოკიდებულება
1.საწყისი; 2-წრთობა, 700°C ; 3. წრთობა 950°C .

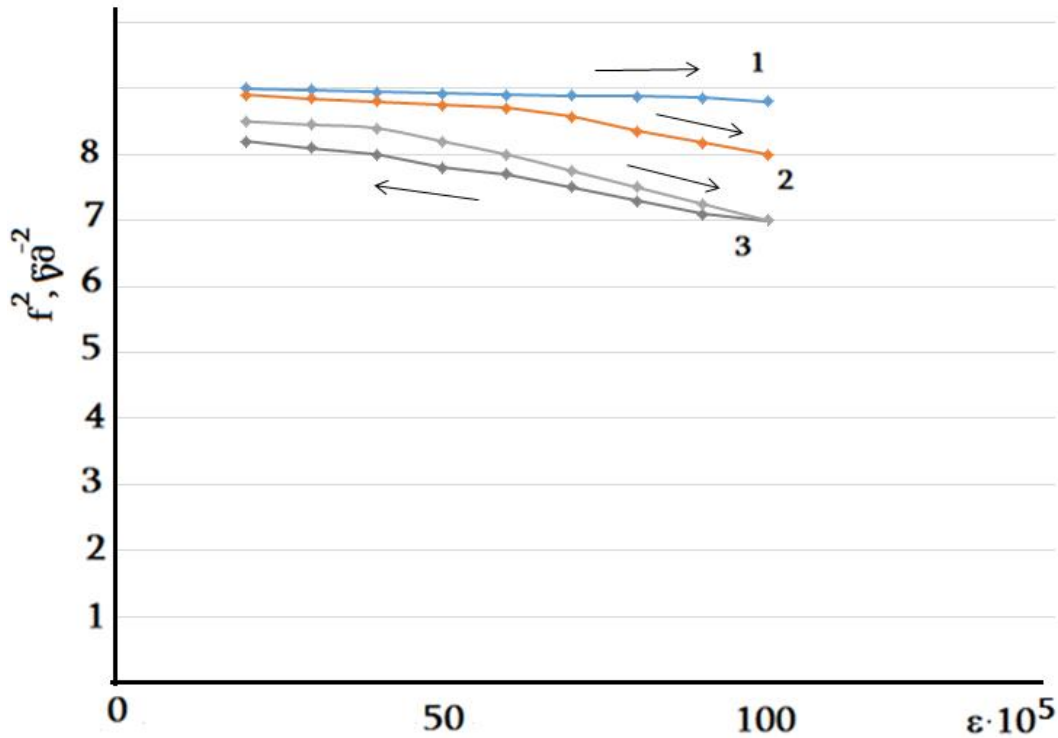
რხევის ამალღებულ ამპლიტუდებზე აღწერილ ურთიერთქმედებაში მონაწილე. წერტილოვანი დეფექტების კონცენტრაცია ასევე იზრდება, რაც განაპირობებს შინაგანი ხახუნის ფონის სუსტი ზრდის გამოვლინებას. ექსპერიმენტული შედეგებიდან გამომდინარეობს, რომ საწყის მდგომარეობაში დისლოკაციების მერხევი სეგმენტები მეტად ძლიერად არიან დამაგრებული წერტილოვანი დეფექტების (O, C და N) ატმოსფეროში.

700°C ტემპერატურაზე 20წთ დაყოვნებული ნიმუშის სტრუქტურაში ხორციელდება დისლოკაციებთან არსებული ატმოსფეროდან მინარევების ატომების განსაზღვრული რაოდენობით გადასვლა მყარ ხსნარში. ეს იწვევს დისლოკაციების მერხევი სეგმენტების სიგრძის ზრდას. შესაბამისად იზრდება გარეშე ძაბვის გავლენით მათი გადაადგილებით აღწერილი ფართობი და ენერჯის დანაკარგი ანუ შინაგანი ხახუნის ინტენსივობა. რომელიღაც ფიქსირებულ ამპლიტუდაზე დისლოკაციური სეგმენტი მოწყდება დამაგრების წერტილოვან ცენტრს და გადაადგილდება უფრო დიდ მანძილზე. ასეთ პირობებში მკვეთრად გაიზრდება რხევების ენერჯის შთანთქმის პროპორციული შინაგანი ხახუნის ინტენსივობა (ნახ1,2). ამპლიტუდის კიდევ უფრო მეტად გაზრდა ავლენს კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაციის მეორე მნიშვნელობას, რომლის ზემოთ შინაგანი ხახუნის ინტენსივობა ანომალურად ძლიერად იზრდება. ლიტერატურის თანახმად [6]. მეორე კრიტიკული ამპლიტუდა დაკავშირებულია მასალის სტრუქტურაში ძლიერი დამამუხრუჭებელი ცენტრების არსებობასთან (მიკროფაზები, დისლოკაციების გადაკვეთაზე წარმოქმნილი კვანძები).

წრთობის ტემპერატურის გაზრდა 900°C -მდე კიდევ უფრო მეტად ზრდის შინაგანი ხახუნის ინტენსივობას რხევის ამპლიტუდის ფართო დიაპაზონში, საგრძნობლად ამცირებს ამპლიტუდური დეფორმაციის ორივე კრიტიკულ მნიშვნელობას და რაც მეტად არსებითია, ავლევს შინაგანი ხახუნის ჰისტერეზის რხევის ამპლიტუდის მნიშვნელობების შემცირების პირობებში (ნახ.1,3). შეიმჩნევა ასევე მინიმალურ ამპლიტუდებზე შინაგანი ხახუნის ინტენსივობის ნამატი ანუ მიკროპლასტიკური დეფორმაცია. ეს უკანასკნელი განპირობებულია დამაგრების ძლიერი ცენტრებიდან დისლოკაციური მერხევი სეგმენტის მოწყვეტით და შეუქცევადი გადაადგილებით კრისტალურ მესერში რამდენიმე ათეული ანგსტრემის რიგის მანძილზე [2]. აღნიშნული ხასიათის არადრეკადობის გამოვლინება უპირატესად გამოწვეულია მინარევების ატმოსფეროების გაღარიბებით და მერხევი დისლოკაციური სეგმენტების სიგრძის მკვეთრად გაზრდით. შექცეული ეფექტი ანუ მასალის განმტკიცება (მექანიკური მოდულის ამალღება, კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაციის ზრდა) დაიმზირება ნაწრთობი ნიმუშების თერმული მოწვეების შემდეგ ტემპერატურულ ინტერვალში(300 – 900°C). მოწვით მინარევების ატომების განსაზღვრული რაოდენობა მყარი ხსნარიდან გადაინაცვლებს დისლოკაციების ირგვლივ არსებულ ატმოსფეროში და იწვევს მერხევი სეგმენტების დამოკლებასა და ბლოკირების გაძლიერებას. ვანადიუმის კრისტალურ მესერში ატომთაშორისი მანძილების ცვლილება ვლინდება მექანიკური მოდულების, განსაკუთრებით ძვრის დინამიური მოდულის გაზრდით. სტრუქტურულად მგრძობიარე მექანიკური მოდულების სიდიდეებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დისლოკაციური სტრუქტურის მდგომარეობა (დისლოკაციების სიმკვრივე, კოტრელის ატმოსფეროს

გაჯერების ხარისხი), რომელიც შესაძლებელია იმართოს გარეშე ფაქტორებით (რადიაციული ზემოქმედება, თერმული დამუშავება, დეფორმაცია ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში).

მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში ვანადიუმის დისლოკაციური სტრუქტურის მოდიფიცირებისათვის გამოყენებულია წრთობის მეთოდი. ძვრის დინამიური მოდულის სიდიდე გრეხითი რხევების მცირე ამპლიტუდებზე აღმოჩნდა შედარებით მაღალი ნიმუშის საწყის მდგომარეობაში. ის ამპლიტუდური დეფორმაციის ფართო ინტერვალში პრაქტიკულად უცვლელია. წრთობა ავლენს ძვრის მოდულის შემცირებას, რომლის წრფევად ცვალებადობის დახრილობა იზრდება კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაციის ორივე მნიშვნელობებზე (ნახ.2).



ნახ.2. წრთობის გავლენა პოლიკრისტალური ვანადიუმის ძვრის დინამიურ მოდულზე
1.საწყისი; 2-წრთობა, 700°C; 3. წრთობა 950°C.

900°C ტემპერატურაზე წრთობის შემდეგ ვლინდება ძვრის დინამიური მოდულის ჰისტერეზისი, რომლის ბოლო ეტაპზე ფიქსირდება მოდული შემცირებული სიდიდით. წრთობის შედეგად შექმნილი დისლოკაცია - ატმოსფეროს ახალი მდგომარეობა განაპირობებს მიკროპლასტიკურ დეფორმაციასა და დისლოკაციების სტრუქტურაში კონფიგურაციული ცვლილებების შეუქცევადობას.

ექსპერიმენტულმა კვლევამ გამოავლინა მაღალ ტემპერატურებზე წრთობით პოლიკრისტალური ვანადიუმის დისლოკაციური სტრუქტურის შექცევადი ცვლილებები, განპირობებული დისლოკაციების გარემომცველი კოტრელის ატმოსფეროს კონცენტრაციული და კონფიგურაციული მოდიფიცირებით.

ლიტერატურა

1. О.Ш. Окросцваридзе, Г.Ш.Дарсавелидзе, Г.Ф. Тавадзе.Сообщения АН ГССР, т.109, N2, 1983,285 – 288.
2. Б.К.Кардашев, В.М. Чернов.ФТТ том 50, вып.5, 2008, 820 – 825
3. Л.С. Данелян, С.Н. Коршунов,А.Н. Мансуров.Вопросы атомной науки и техники. Серия Термоядерный синтез, вып.2,2011, 46 -52.
4. V.M. Chernov, B.K. Kardashev, L.M.Krjukova,L.J.Mamaev.J.Nuklear Materials,257,1998, 363 – 273
5. С.А.Головин ,А.Пушкар, Д.М. Металлургия,1987, 192с.
6. М.А. Криштал, С.А. Головин. Внутреннее трение и структура металлов.М.:Металлургия, 1976,376с.
7. М.С. Блантер, Ю.В. Пигузов, Г.М. Ашмарин. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях.М.: Металлургия,1991,248с.

Effect of quenching on the dynamic mechanical properties of polycrystalline vanadium

I.Tabatadze¹, I.Kurashvili¹, I.Janelidze², G.Darsavelidze¹

¹ Ilia Vekua Sukhumi Institute of Physics and Technology

² Georgian Technical University

Abstract

The effect of quenching at high temperatures on the regularities of changes of the logarithmic decrement of the torsional oscillations damping and the dynamic shear modulus in the 10^{-5} - 10^{-3} interval of strain amplitude in polycrystalline vanadium has been studied. The critical values of the strain amplitude, at which the dislocations segments begin to breakaway from the weak and strong pinning centers have been determined. After short annealing (20 min.) at fixed temperatures of 700 and 900° C and subsequent quenching at room temperature a decrease of impurity concentration in Cottrell atmosphere around the dislocations is achieved. These changes led to a significant reduction of the critical strain amplitude of dislocations blocking and the dynamic shear modulus, and a strong increase in the intensity of energy absorption in a wide range of oscillations amplitudes. The concentration changes of the Cottrell atmosphere around the dislocations led to the formation of several values of elastic limits.

The obtained results reveal the possibilities of changing the mobility of the dislocation structure by quenching from high temperatures, which is the basis for controlling of the mechanical properties of vanadium.

Keywords: vanadium, shear modulus, quenching, elastic limit, strain amplitude.