

UOT 669.295.5:621.785:621.77.016.3:620.191

**BƏRABƏRKANALLI BUCAQALTI PRESLƏMƏ VƏ TERMİKİ EMAL
PROSESLƏRİNİN BT6 MARKALI TİTAN ƏRİNTİSİNİN MEXANİKİ
XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ**

Cabbarov T.Q., Axundova X.Y.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Az1010, Bakı şəh., Azadlıq pr., 20
E-mail: tahir196041@gmail.com; tahir-cabbarov@mail.ru*

Xülasə. Yüksək möhkəmliyə və dağılmaya qarşı müqavimətə eyni zamanda nail olmaq konstruksiya metal materiallar sahəsində daim aktual olan bir problemdir. Müasir materialşünaslıq və texnologiyalarla yüksək möhkəmlik əldə etmək çətin deyil. Lakin materiallarda möhkəmlik və plastiklik sıx şəkildə əlaqəlidir və möhkəmlik artdıqca zərbə özlülüüyü azalır. Bir çox konstruksiya metal materiallar möhkəmliyinə görə deyil, daha çox qırılmaya davamlılığına görə məhdudlaşır.

Müəyyən edilmişdir ki, BT6 titan ərintisi ilkin (qızmar yayılmış) vəziyyətdə qarışıq qlobulyar–lövəvari quruluşa malik olmuşdur və burada α -fazasının qlobulyar hissəsinin həcm payı təxminən 65 % təşkil etmişdir. Termiki emal və bərabərkanallı bucaqaltı presləmə əməliyyatından

sonra ərintidə α -fazasının orta dənə/subdənə ölçüsü (240 ± 60) nm olan ultra xırda dənəli (UXD) strukturun payı artmış və təxminən 70 % olmuşdur.

Tətbiq edilən rejimlər üzrə aparılan bərabərkanallı bucaqaltı presləmə prosesi BT6 ərintisinin bərkliyini 1,2 dəfə, möhkəmlik xüsusiyyətlərini 1,3 dəfə artırmışdır, plastiklik isə 1,6 dəfə azalmışdır.

Abstract. Achieving both high strength and resistance to fracture simultaneously remains a persistent challenge in the field of structural metallic materials. With modern materials science and technology, attaining high strength is not difficult. However, strength and plasticity in materials are strongly correlated, and impact toughness decreases as strength increases. Many structural metallic materials are limited not by their strength but rather by their fracture toughness.

It has been established that BT6 titanium alloy, in its initial (hot-rolled) state, possesses a mixed globular–lamellar structure, with the volume fraction of the globular component of the α -phase being approximately 65%. After heat treatment and equal-channel angular pressing (ECAP), the fraction of the ultra-fine-grained (UFG) structure with an average α -phase grain/sub-grain size of (240 ± 60) nm increased to about 70%.

The applied ECAP regimes increased the hardness of the BT6 alloy by 1.2 times and its strength properties by 1.3 times, while its plasticity decreased by 1.6 times.

Аннотация. Достижение одновременно высокой прочности и сопротивления разрушению остаётся постоянной и актуальной проблемой в области конструкционных металлических материалов. Современные материалы и технологии позволяют без особых трудностей получать высокую прочность. Однако прочность и пластичность материалов тесно взаимосвязаны, и с увеличением прочности ударная вязкость снижается. Многие конструкционные металлические материалы ограничены не прочностью, а в большей степени их трещиностойкостью.

Установлено, что титановый сплав BT6 в исходном (горячекатаном) состоянии имеет смешанную глобулярно-пластинчатую структуру, при этом объёмная доля глобулярной составляющей α -фазы составляет около 65 %. После термической обработки и равноканального углового прессования (РКУП) доля ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры с средним размером зёрен/субзёрен α -фазы (240 ± 60) нм увеличилась и достигла примерно 70 %.

Проведение РКУП по применённым режимам повысило твёрдость сплава BT6 в 1,2 раза и его прочностные характеристики в 1,3 раза, при этом пластичность снизилась в 1,6 раза.

Açar sözlər: möhkəmlik, titan ərintisi, termiki emal, deformasiya, xırda dənəlilik, bərabərkanallı, zərbə özlülüyü, faza, metal, dağılma

Ключевые слова: прочность, титановые сплавы, термическая обработка, деформация, мелкозернистость, равноканальная, ударная вязкость, фаза, металл, разрушение

Key words: strength: titanium alloys, heat treatment, deformation, fine-grained, equal-channel, impact toughness, phase, metal, fracture

Məsələnin müasir vəziyyəti. Eyni zamanda yüksək möhkəmliyə və dağılmaya qarşı müqavimətə nail olmaq konstruksiya metal materialları sahəsində daim aktual bir problemdir.

Məlum olduğu kimi [1,2], materialların müəyyən mexaniki xassə səviyyəsinə nail olmaq üçün materiala eyni zamanda termiki və mexaniki emal üsullarının tətbiqindən istifadə olunur. Termiki emal həm müstəqil, həm də əlavə emal üsulu kimi tətbiq edilir. Hazırda bərklik və möhkəmlik xassələrini artırmaq üçün ən geniş yayılmış üsullardan biri bərabərkanallı bucaqaltı presləmə (BKBP) üsuludur. Termo-mexaniki emal (TME) nəticəsində materialın strukturu, bərkliyi, möhkəmliyi və zərbə özlülüyü dəyişir.

Materialların quruluşuna və xassələrinə effektiv şəkildə nəzarət etmək üçün kombinə olunmuş emal üsullarından istifadə olunur. İntensiv plastik deformasiya (İPD) üsulları daim təkmilləşir və bu da müxtəlif üsul və rejimlərdə İPD tətbiqi ilə alınmış nanokristallik quruluşa malik metalların və ərintilərin hərtərəfli öyrənilməsi zərurətini gündəmə gətirir [3].

Son illərdə tədqiqatçılar materiallarda ultraxırda dənəli (UXD) vəziyyətin əldə olunması üsullarına xüsusi maraq göstərirlər. UXD quruluş materialın bir sıra mühüm xassələrini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırmaq qabiliyyətinə malikdir [4]. Həcmli UXD materialların alınması üçün perspektivli üsullardan biri intensiv plastik deformasiyadır. Bu proses bərabərkanallı bucaqaltı pressləmə (BKBP) vasitəsilə həyata keçirilir. Bu üsul, pəstahın geometrik ölçülərini dəyişmədən materialda UXD quruluşun formalaşdırılmasına imkan verir [5].

Bu gün titan ərintiləri geniş yayılmış, asanlıqla əldə edilən mühəndislik metalları hesab olunur və paslanmayan polad, xüsusi polad növləri, nikel əsaslı ərintilər və kompozit materiallarla birbaşa rəqabət aparır.

Beləliklə, intensiv plastik deformasiya (İPD) üsulları ilə əldə olunmuş ultraxırda dənəli titan materialları otaq temperaturunda yüksək mexaniki xassələrə malikdir. Bununla belə, bu materialların yüksək temperaturalarda istismar xassələrinə dair tədqiqatlar hələ azdır. Halbuki iki fazalı Ti–6Al–4V tipli ərintilər aviasiyada və mühərriqəyirmada geniş temperatur intervalında işləyən detallar üçün ən çox istifadə olunan materiallar sırasındadır.

Tədqiqat materialı və metodikası. Tədqiqat obyekti kimi iki fazalı $\alpha+\beta$ tipli BT6 titan ərintisi seçilmişdir. Bu ərinti öz yüksək xüsusi möhkəmliyi, yaxşı korroziyaya davamlılığı və geniş temperatur intervalında sabit mexaniki xassələri ilə xarakterizə olunur. Məhz bu xüsusiyyətlərinə görə BT6 ərintisi aviasiya, mühərriqəyirma və digər yüksək texnoloji sahələrdə geniş tətbiq edilir.

Ərintinin kimyəvi tərkibi cədvəl 1-də göstərilmişdir. Tərkibində əsas komponent titan (Ti) olmaqla yanaşı, vanadium (V) və alüminium (Al) əlavələri ərintiyə yüksək möhkəmlik və istiliyədavamlılıq qazandırır. Alüminium α -fazasını sabitləşdirir və möhkəmlik artırır, vanadium isə β -fazasını sabitləşdirərək plastiklik və texnoloji işlənmə qabiliyyətini yaxşılaşdırır.

Cədvəl 1

BT6 titan ərintisinin kimyəvi tərkibi

Element	Ti	V	Al
%	89.04	5.95	5.01

Bu ərinti tədqiqatlarda ilkin iri dənəli (İD) vəziyyətdə pəstahların qızmar yayıqlanması nəticəsində əldə olunmuşdur və bərabərkanallı bucaqlı pressləmədən (BKBP) sonra əldə edilmiş ultraxırda dənəli (UXD) vəziyyətdə öyrənilmişdir.

BT6 ərintisinin BKBP texnoloji prosesi aşağıdakı mərhələlərdən ibarət olmuşdur:

1. Pəstahın homogenləşdirici tabalınması.

Diametri 20 mm və uzunluğu 100 mm olan ərinti pəstahı homogenləşdirici tabalmaya məruz qoyulmuşdur. Bu əməliyyatın məqsədi materialın plastiklik qabiliyyətini artırmaq olmuşdur.

2. Tablama.

Pəstah 960 °C temperaturda 1 saat saxlandıqdan sonra suda soyudulmaqla tablandırılmışdır.

3. Tabəksiltmə

Tablandırılmış pəstah 675°C temperaturda 4 saat ərzində tabəksiltməyə məruz qalmışdır.

4. Bərabərkanallı bucaqaltı pressləmə (BKBP).

Pəstah 650°C temperaturda BC marşrutu üzrə, $\phi = 120^\circ$ bucaq altında və $n = 6$ keçid olmaqla BKBP prosesindən keçirilmişdir.

Ərintinin Rokvell üsulu ilə bərkliyə sınaqları TimeGroup TH 300 bərklikölçən cihazında aparılmışdır. TimeGroup TH 300 bərklikölçən cihazı materialın bərkliyini avtomatik ölçmə rejimində yüksək dəqiqliklə müəyyən etməyə imkan verir. Ərinti nümunələri iki mərhələdə

sınaqdan keçirilmişdir: birinci dəfə ilkin (İD) vəziyyətdə, ikinci dəfə isə RKBP prosesindən sonra UXD vəziyyətində.

Statik dartılma sınaqları Tinius Olsen H50KT universal sınaq maşınında aparılmışdır. Bu maşın GOST 28840 standartına uyğun gəlir. Dartılma sınaqları üçün diametri 3 mm olan silindrik nümunələr hazırlanmışdır.

V-şəkilli gərginlik konsentratoruna malik BT6 ərintisi nümunələrinin zərbə sınaqları 150 Coul enerjiyə malik TimeGroup JB-W300 tipli mayatnikli sınaq qurğusunda aparılmışdır. Sınaqlar otaq temperaturu intervalında, GOST 9454-78 standartına uyğun olaraq həyata keçirilmişdir.

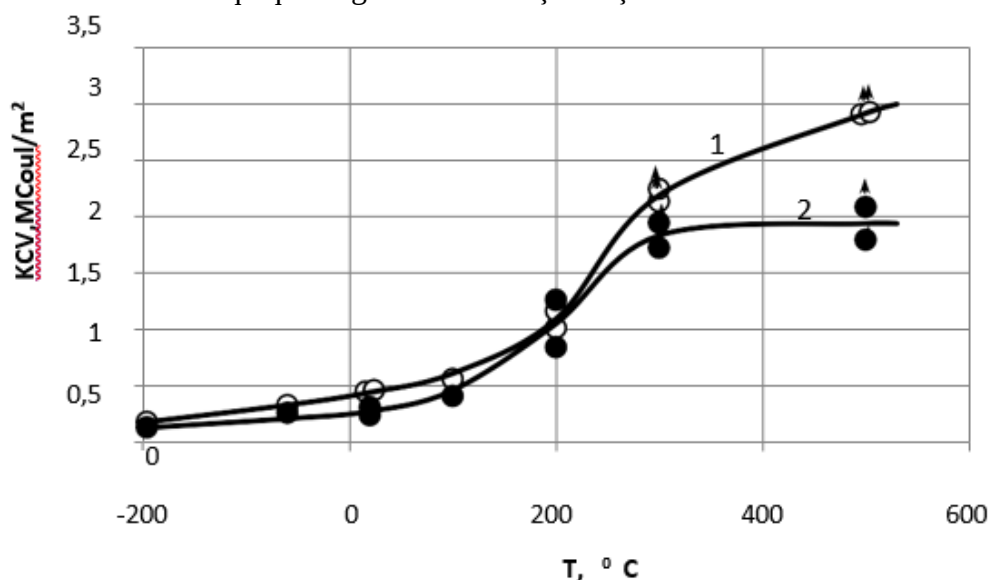
Tədqiqat nəticələri. Tərəfimizdən aparılmış texnoloji rejimlər üzrə aparılmış BKBP prosesi BT6 ərintisinin bərkliyini 1,1 dəfə artıraraq 34 MPa-dan 36 MPa-a qədər yüksəldir, eyni zamanda möhkəmlik xassələri 1,2 dəfə artmış, orta dənə ölçüsü isə $0,24 \pm 0,06$ -ya qədər azalmışdır. Həmçinin göründüyü kimi, plastiklik 1,4 dəfə azalmışdır (cədvəl 2).

Cədvəl 2

BT6 ərintisinin dənələrinin orta ölçüsü və mexaniki xassələri

Ərintinin vəziyyəti	$d_{cp.}, \text{MKM}$	HRC	σ_B, MPa	$\sigma_{0,2}, \text{MPa}$	$\delta, \%$
İlkin	15 ± 5	34	950 ± 20	849 ± 30	$12 \pm 1,5$
BKBP-dən sonra	$0,24 \pm 0,06$	36	1090 ± 30	990 ± 40	$8 \pm 0,3$

BT6 markalı titan ərintisindən hazırlanmış nümunələrin zərbə özlülüyünə dair sınaqların nəticələri göstərmişdir ki, sınaq temperaturunun -186°C -dən 200°C -dək artırılması ilə ərintinin zərbə özlülüğü (KCV) həm ilkin (İD) vəziyyətdə, həm də BKBP-dən (UXD vəziyyəti) sonra demək olar ki, eyni olur və $0,1-0,2 \text{ MCoul/m}^2$ -dən $0,8-1,2 \text{ MCoul/m}^2$ -dək artır (şəkil). 300 və 500°C sınaq temperaturlarında nümunələr tamamilə dağılmamışdır (şəkil). Lakin belə nümunələr sındırıldıqdan sonra onların bəzi makrofotoqrafik göstəriciləri ölçülmüşdür.



*BT6 ərintisinin zərbə özlülüynun (KCV) temperaturdan asılılığı:
 1-ilkin vəziyyətdə; 2- BKBP –dən sonra*

Beləliklə, BKBP –dən sonra BT6 ərintisinin plastiklik göstəriciləri azalsa da, UXD quruluşa malik ərintinin zərbə özlülüğü (KCV) sınaq temperaturlarının -186°C -dən 200°C -ə qədər olan intervalında ilkin (İD) vəziyyətdəki ərintinin KCV göstəricilərindən demək olar ki, fərqlənmir, bu da ərintini konstruktiv möhkəmlik baxımından müsbət səciyyələndirir.

Nəticə. 1. Təyin edilmişdir ki, tədqiqatda nəzərdə tutulmuş rejimlər üzrə aparılmış BKBP prosesi BT6 ərintisinin bərklik dərəcəsini 1,1 dəfə, möhkəmlik xassələrini isə 1,2 dəfə artırmış, plastiklik göstəricilərini isə 1,4 dəfə azaltmışdır.

2. Göstərilmişdir ki, BKBP–dən sonra BT6 ərintisinin plastiklik göstəriciləri azalsa da, UXD quruluşa malik ərintinin zərbə özlülüyü (KCV) sınaq temperaturlarının -186°C-dən 200°C-ə qədər olan intervalında ilkin (İD) vəziyyətdəki ərintinin KCV göstəricilərindən demək olar ki, fərqlənməmişdir, bu isə ərintini konstruktiv möhkəmlik baxımından müsbət səciyyələndirmişdir.

Ədəbiyyat

1. Шляхова Г.В., Данилов В. И., Зуев Л.Б., Карташов Е.Ю. Разрушение ультрамелкозернистого титана // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 2016, №3
2. Черняева Е.Ю., Семенова И.П. Влияние деформации и термообработки на коррозионное поведение двухфазных титановых сплавов // Вестник УГАТУ. 2011. №1 (41).
3. Сурикова Н.С., Панин В.Е, Деревягина Л.С., Микромеханизмы деформации и разрушения слоистого материала из титанового сплава BT6 при ударном нагружении // Физ. мезомех. 2014. №5.
4. Салищев Г. А., Кудрявцев Е. А., Жеребцов С. В. Структурные изменения и механическое поведение при низкотемпературной сверхпластичности наноструктурного сплава BT6 // Научные ведомости БелГУ. Серия: Математика. Физика. 2012. №17 (136).
5. Исламгалиев Р. К., Ганеев А. В., Никитина М. А., Караваева М.В. Структура и свойства ультрамелкозернистой мартенситной стали // Вестник УГАТУ. 2016. №3 (73).

Мəqalə qəbul olunub: 29.10.25
Təvsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.