

AZLEGİRLİ BİŞİRİLMİŞ OVUNTU POLADLARININ YORULMA DÖZÜMLÜLÜYÜNÜN ARAŞDIRILMASI



Sübhan Namazov,

*Azərbaycan Texniki Universitetinin Beynəlxalq əlaqələr
üzrə prorektoru, texnika elmləri doktoru, professor
e-mail: subhan.namazov@aztu.edu.az*

UOT: 621.762

Xülasə. *Məqalədə azlegirli Distaloy AE əsaslı bişirilmiş ovuntu kompozisiya poladlarının yorulmada möhkəmlik xarakteristikaları tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə geniş istifadə olunan azlegirli ovuntu poladlarından nümunələr hazırlanmışdır: Distaloy AE (Fe - 4.0% Ni - 1.5% Cu - 0.5% Mo), qrafitlə qarışdırılmış (0,5% C). Materiallar sənaye şəraitində 1120°C-də 30 dəqiqə bişirilməklə alınmışdır. Alınan materialların mexaniki xassələri və yorulma xarakteristikaları, struktur tədqiqatları aparılmışdır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, Distaloy AE əsasında bişirilmiş ovuntu polad materialların yorulmada möhkəmlik həddi məsaməlilikdən və məsamələrin formasından əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, məsamələrin təsiri birmənalı deyil, onların sayından, forma və ölçülərindən, məkan oriyentasiyasından asılıdır.*

Açar sözlər: *ovuntu, mexaniki xassələr, yorulma, məsaməlilik, bişirilmiş material.*

Key words: *powder, mechanical properties, fatigue, porosity, sinter material.*

Ключевые слова: *порошок, механические свойства, усталость, пористость, спеченный материал.*

Tədqiqat məsələsinin qoyuluşu

Materialların yorulmadan dağılması problemi, yəni möhkəmlik həddindən aşağı olan dövrü dəyişən gərginliklərin təsiri altında metalların dağılması 100 ildən çox əvvəl öyrənilməyə başlanmışdır və o vaxtdan bugünədək bu xarakteristikaya maraq artmaqdadır. Bu onunla bağlıdır ki, bir çox məsul maşın hissələri və bütöv konstruksiyalar təkrarlanan (əlavə dəyişən, sabit işarəli) yüklər şəraitində işləyir və onların dözümlülüyü tamamilə hazırlanıqları materialların dövrü dəyişən yüklərə göstərdiyi müqavimətlə müəyyən edilir [1]. Bu baxımdan nəşr olunmuş bir sıra elmi ədəbiyyatlarda bişirilmiş

metal kompozisiya materialların yorğunluq xarakteristikaları müxtəlif aspektlərdən tədqiq edilmişdir [2, 3, 4, 5].

Məlum olduğu kimi, materialların yorulmadan dağılması əsasən, materialların maddənin strukturunun qeyri-homogenliyi ilə bağlıdır. Belə qeyri-bircinsliliyi ovuntu poladlarında yaradan təşkilədicilər məsamələr (boşluqlar) hesab edilir. Eyni zamanda nəzərə almaq lazımdır ki, məsamələrin məmulatların yorulmadan dağılma xarakterinə təsiri ziddiyyətlidir. Bir tərəfdən maddənin mikrohəcmlərində güclü gərginlik konsentrasiqları olan məsamələr çatların başlanğıc mənbəyi kimi xidmət edir [6, 7]. Digər tərəfdən

onlar çatların böyüməsini effektiv şəkildə maneə törətməyə kömək edir ki, bu da ovuntu poladlarının vibrasiya, tsiklik və dinamik yüklər altında işləmək üçün çox etibarlı material olduğunu düşünməyə imkan verir [9, 10].

Bişirilmiş ovuntu poladlarının məsaməli strukturu əsasən, onların istehsal texnologiyası, bişirilmə şəraiti və s. ilə müəyyən edilir. Öz növbəsində, məsaməli strukturun xüsusiyyətləri (məsaməlilik, boşluqların ölçüsü və s.) ovuntunun mexaniki xüsusiyyətlərinə, o cümlədən onların dözümlülüyünə əhəmiyyətli təsir göstərir. Texnoloji əməliyyatların bütün həlqələrində məsaməli strukturun yorulmada dözümlülüyünə təsir mexanizminin aydınlaşdırılması ovuntu poladlarının daxili strukturu da daxil olmaqla ciddi və hərtərəfli kompleks tədqiqatlar tələb edən məsələdir.

Ayrı-ayrı texnoloji amillərin (presləmə təzyiqi [11]) və ya məsaməli strukturun xüsusiyyətlərinin (məsaməlilik, boşluqların ölçüsü [12]) yorulma dözümlülüyünə təsirinin öyrənilməsinə həsr olunmuş əsərlər mövcuddur. Məsaməliliyin bişirilmiş dəmirin bəzi yorulma xarakteristikalarına təsiri [13], tərkibindən və bişirilmə mühitindən asılı olaraq ovuntu poladlarının tsiklik yüklərə müqavimətgöstərmə xüsusiyyətləri [14] tədqiq edilmişdir. Dəmir-mis-karbon tərkibli ovuntu poladlarından hazırlanmış nümunələrin aşağı tsiklik yükləmələrdə yorulma xarakteristikaları eksperimental olaraq tədqiq edilmişdir [15]. Optimal presləmə təzyiqi və şixtdə karbonun optimal miqdarı müəyyən edilmişdir ki, bunlar birlikdə asimmetrik əyilmə yükləri ilə kəskin tsiklik deformasiyalara məruz qalan nümunələrin maksimum yorulmada möhkəmlik həddini təmin etməyə imkan vermişdir.

Yuxarıda qeyd edilənlərə nəzər saldıqda belə nəticə əldə etmək olar ki, ovuntu poladından alınan bişirilmiş materialların yorulma xarakteristikalarının öyrənilməsi xüsusi maraq doğurur. Ona görə də bu iş Distaloy AE ovuntu poladından hazırlanmış materialların yorulma xarakteristikalarının öyrənilməsinə həsr edilmişdir.

Təcrübələrin aparılması üçün materiallar və üsullar

Yüksək yük altında işləyən nümunələr geniş istifadə olunan Distaloy (4,0% Ni, 1,5% Cu və 0,5% Mo) polad ailəsindən hazırlanmışdır. Bu

ovuntu poladının tərkibində olan komponentlər təmiz dəmirlə yaxşı diffuziya əlaqələrinə malikdir və ən yüksək sıxılma qabiliyyəti əks etdirir. Bütün ovuntular 0,5% yüksək dispersliyə malik qrafitlə qarışdırılmışdır ki, gözləniləndi kimi bu məsamələrin morfoloqiyası dəyişmişdir. Su ilə tozlandırılmış standart növ Distaloy AE iridənəli ovuntudan $>45 \mu\text{m}$ və kiçik dispersliyə malik fraksiyadan $<45 \mu\text{m}$ alınmış və dəmir əsaslı eyni ərinti ilə müqayisə edilmişdir. Nümunələr 600 MPa-da preslənmişdir. Bişirmə sənaye avadanlıqlarında 1120°C temperaturda karbonil olmayan qoruyucu mühitdə aparılmışdır. 800 ilə 500°C arasında soyutma sürəti $1,0^\circ\text{C/S}$ olmuşdur. Yorulma xarakteristikaları Almaniya istehsalı olan SCHENCK sınaq maşınında təcrübədən keçirilmişdir. Fraktoqrafik tədqiqatlar skan edən elektron mikroskopda (SEM) aparılmışdır. Eksperimental məlumatlar xüsusi SAFD proqramı ilə kompüterdən istifadə etməklə işlənmişdir.

Tədqiqatın nəticələri

Tədqiqat işi Distaloy AE ovuntu poladından (4,0% Ni, 1,5% Cu və 0,5% Mo) hazırlanmış materialların aşağı tsiklik yükləmələrdə yorulmada dözümlülüyünün eksperimental tədqiqinə həsr edilmişdir. Veyler (Voehler) ayrılmasını müəyyən etmək üçün dözümlülük həddini aşan gərginlik səviyyələri ilə yorulma sınaqları aparılmışdır. Müxtəlif nümunələr seriyası üçün əldə edilən ayrılar *şəkil 1* və *şəkil 3*-də göstərilmişdir. Yorulma ayrıları 5%, 10%, 50%, 90% və 95% sağqalma ehtimalları üçün qurulmuşdur. Diaqramlardakı nöqtələr emal olunmamış ilkin məlumatlara uyğundur. Burada hər bir açıq dairə nümunənin sındığı halı, hər bir tam dairə isə nümunənin sınımadığı halı (bütövlüyünü) göstərir. Materialın yorulma dözümlülüyünün nümunələrin sağqalma ehtimalından asılılığı *şəkil 2* və *şəkil 4*-də göstərilmişdir. Əyilməyə yorğunluğun müəyyən edilməsi sınaqları üçün S-N əyrisində altı gərginlik səviyyəsində 60 nümunə hazırlanmışdır ki, bu da bizə məlumatları statistik qiymətləndirməyə və nümunələrin 50% sağqalma ehtimalı üçün kifayət qədər etibarlı yorulmada dözümlülük həddini müəyyən etməyə imkan verir. Mövcud metodikaya uyğun olaraq yükün verilməsi tsikllərin sayı 107 olduqda dayanır. Bişirilmiş ovuntu materiallarının sıxlıqları

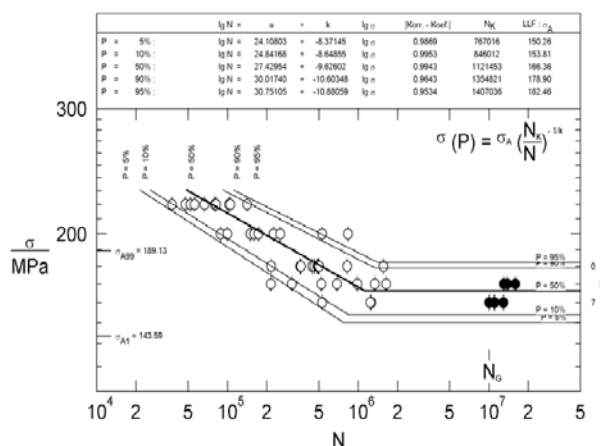
və bəzi mexaniki xassələri, 50% sağqalma ehtimalı üçün alınan yorulmada dözümlülük hədləri *cədvəl 1*-də verilmişdir.

Tsikillik sınaqların nəticələrinə əsasən, yorğunluq əyriləri (Veyler əyriləri) qurulmuşdur. Şəkil 1 və şəkil 3-də uyğun olaraq dispersliyi <45 µm və dispersliyi >45 µm olan fraksiyalardan alınmış Distaloy AE bişirilmiş ovuntu materiallarının AE yorğunluq əyriləri göstərilmişdir. 50% sağqalma ehtimalı üçün əldə edilən dözümlülük həddi dispersliyi <45 µm olan fraksiyadan alınan materiallar üçün təxminən 165 MPa və dispersliyi >45 µm olan fraksiyalardan alınmış materiallar üçün isə təxminən 168 MPa təşkil edir. Bişirilmə zamanı kiçik ölçülərə malik olan ovuntu materialında molibden nikel və misə nisbətən dəmirə daha sürətli diffuziya edərək beynit strukturunun yaranmasına imkan vermişdir. Eyni zamanda bu materiallarda beynit-austenit və ya perlit-beynit sərhədləri zonasında məsamələr müşahidə olunur.

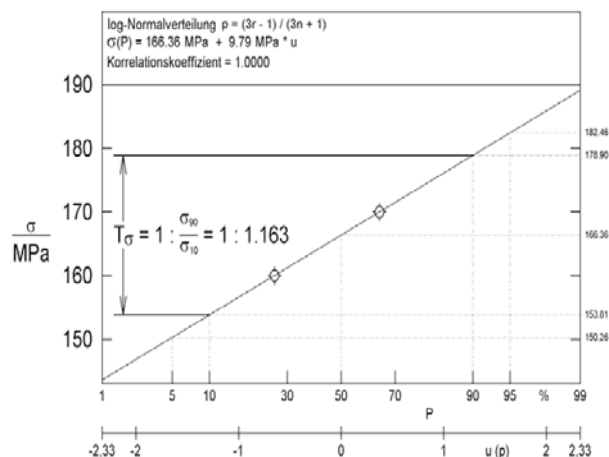
Cədvəl 1.

Distaloy AE ovuntu poladından alınmış materialların xassələri

Baza ovuntu	Fraksiya µm	Sıxıq sm ³	Bərklik HV 10	R _{p0.2} , MPa	R _m , MPa	σ (R=0), MPa
Distaloy AE	<45 µm	6,988	200	365	582	166
Distaloy AE	>45 µm	7,048	218	331	538	169

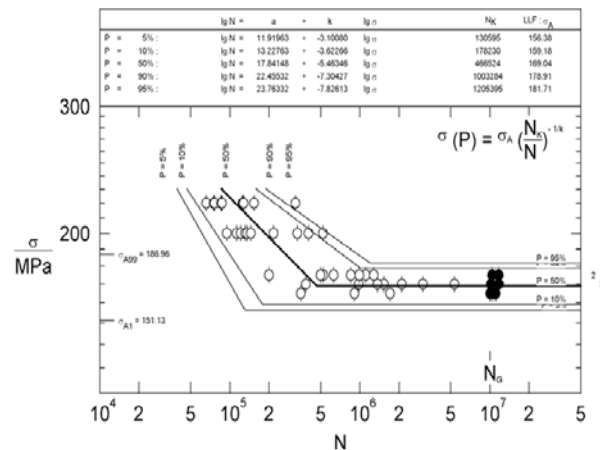


Şəkil 1. Distaloy AE əsaslı bişirilmiş ovuntu materialının yorulma dözümlülüyü və sağqalma ehtimalı (dispersliyi <45 µm olan fraksiya üçün)

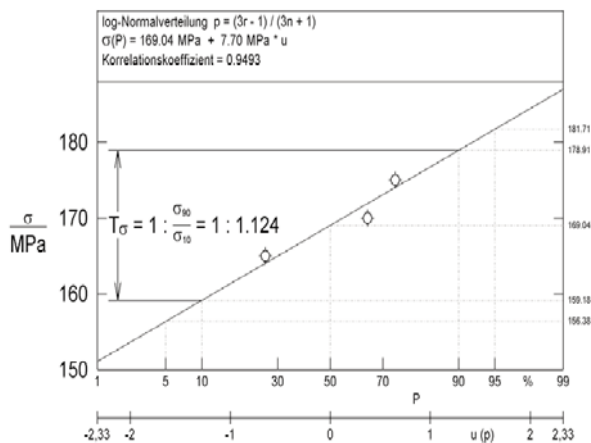


Şəkil 2. Distaloy AE əsaslı bişirilmiş ovuntu materialının yorulma dözümlülüyü sağqalma ehtimalından asılılığı (dispersliyi <45 µm olan fraksiya üçün)

Şəkil 2 və şəkil 4-də disperslikləri <45 µm və >45 µm olan Distaloy AE bişirilmiş ovuntu materiallarının yorulma dözümlülüyünün materialının sağqalma ehtimalından asılılığı göstərilmişdir. Bu qrafiklərə əsasən, hər bir sağqalma ehtimalı (5, 10, 50, 90 və 95%) üçün materialın yorulmada möhkəmlik həddini müəyyən etmək mümkündür. Bu nəticələr yorulmada möhkəmlik xassələrinin statik emalı üçün xüsusi proqram təminatından (SAFD) istifadə etməklə əldə edilir.



Şəkil 3. Distaloy AE əsaslı bişirilmiş ovuntu materialının yorulma dözümlülüyü və sağqalma ehtimalı (dispersliyi >45 µm olan fraksiya üçün)



Şəkil 4. Distaloy AE əsaslı bişirilmiş ovuntu materialının yorulma dözümlülüyü və sağqalma ehtimalından asılılığı (dispersliyi >45 µm olan fraksiya üçün)

Məlumdur ki, dispersliyi <45 µm olan ovuntu fraksiyaları daha yüksək xüsusi səth sahəsinə malik olurlar. Xüsusi səth sahəsi bişirmə üçün vacib hərəkətverici qüvvə hesab edilir. Dispersliyi <45 µm olan ovuntu fraksiyalarından alınan bişirilmiş materiallarda məsamələrin maksimum diametri və səthi dispersliyi >45 µm olan fraksiyalardan alınan bişirilmiş materiallardan daha kiçik alınır. Bu onunla əlaqədardır ki, presləmə və bişirmədən sonra məsamələrin ölçüsü ovuntu hissəciklərinin dispersliyindən və paylanmasından asılı olur. Eyni zamanda məsamələrin sayı dispersliyi <45 µm olan fraksiyalardan alınan bişirilmiş materialda dispersliyi >45 µm olan bişirilmiş materiallardan daha yüksəkdir. Aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, məsamələrin materialların xassələrinə təsiri birmənalı deyil, məsamələrin sayı və formasından asılıdır.

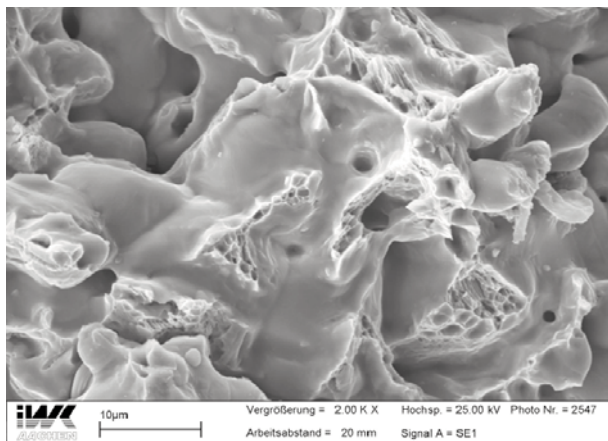
Yalnız yorulmada dözümlülük həddini nəzərə alaraq, orta gərginlik həssaslığı adlanan M aşağıdakı kimi hesablanı bilər [5].

$$M = [\sigma A(R = -1) / \sigma A(R = 0)] - 1 \quad (1)$$

Belə yanaşmanın mümkünlüyünü yoxlamaq üçün Distaloy AE bişirilmiş ovuntu poladında altı gərginlik səviyyəsində 60 nümunə ilə yorğunluq sınaqları aparılmışdır. Hər bir gərginlik üçün məlumatları statistik qiymətləndirməyə imkan verən və 10, 50, 90% sağqalma ehtimalı üçün kifayət qədər etibarlı dözümlülük həddini təyin edən σ - N ayrısı ilə müəyyən edilmişdir [5, 16, 17]. Sınaqların yarısı $R = -1$, digər yarısı $R = 0$ -da 10^7 sayda tsiklin sayı ilə öyilməyə sınaqma ilə aparılmışdır.

Sınımış səthlər skanedic elektron mikroskopda (SEM) tədqiq edilmişdir. Elektron fraktoqrafiya materialların metalloqrafik tədqiqi, onların dağılma mexanizminin və materialların möhkəmliyinin təbiətinin öyrənilməsində geniş istifadə olunur. Elektron mikrofraktoqrafiya əsasən, materialın strukturu ilə qırılmanın təbiəti və kinetika arasında əlaqəni öyrənmək, ayrı-ayrı mikroqüsurların və ya materialın struktur komponentlərinin qırılma prosesində rolunu müəyyən etmək, habelə qırılmanın təbiətini təyin etmək üçün istifadə olunur, həmçinin sınığın makro və mikro strukturunun deşifrə edilməsi çətin olan sınıq səthlərin araşdırılmasında tətbiq edilir.

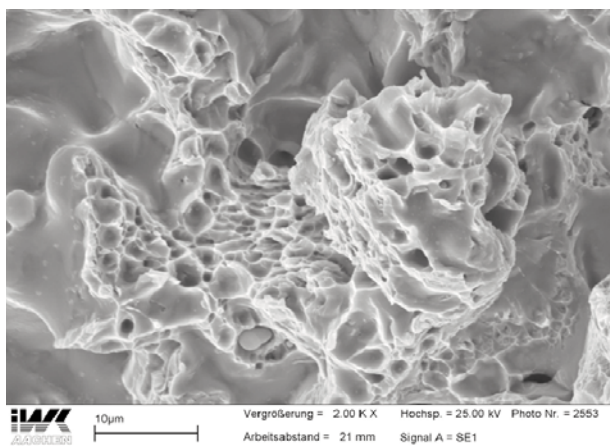
Əksər hallarda materialın sınıma zonasında yaranan ocaqların təbiəti, bütövlükdə məmumat və ya hissənin dağılması üçün əsas hesab edilir. Eyni zamanda materialın bütövlüyünün ilkin mərhələdəki pozulması materialın sonrakı dağılması üçün yalnız gərginlik konsentratoru kimi rol oynaya bilər. Ona görə də sınıma zamanı meydana gələn hər bir zonada sınıq səthlərinin xarakterini, həmçinin bir sınıma zonasından digərinə keçidi müəyyən etmək lazımdır. Başqa sözlə, bu keçidin anidən və ya tədricən baş verdiyini öyrənmək tələb olunur.



Şəkil 5. Distaloy AE əsaslı bişirilmiş ovuntu materialının fraktoqramı (dispersliyi <45 µm olan fraksiya)

Materialların elektron mikroskopla fraktoqrafik tədqiqi onların dağılmasının təbiətindəki fərqləri aşkar etməyə imkan verir (şəkil 5 və şəkil 6). Sınıma səthlərinin təhlili göstərir ki, sınıq çoxoxaqlıdır (multifokaldır) və yorulmanın nəticəsində dağılma xarakteri daşıyır. Aparılmış

fraktoqrafik analizlər göstərir ki, məsaməli materialın dağılması kompakt materialdan daha aşağı orta plastik deformasiyalarda da daha tez baş verir. Belə ki, boşluqlara yaxın olan deformasiyalar daha təsiredici rol oynayır. Şəkil 5 və şəkil 6-dan görüldüyü kimi, bişirilmiş poladların qırılma səthində kiçik çuxurlarla yanaşı, eyni zamanda böyük çuxurlar da var. Bu da o deməkdir ki, bişirilmiş poladların dağılması strukturda mövcud olan məsamələrin böyüməsi ilə baş verir.



Şəkil 6. Distaloy AE əsaslı bişirilmiş ovuntu materialının fraktoqramı (dispersliyi >45 µm olan fraksiya)

Nəticə. Aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, Distaloy AE əsasında bişirilmiş ovuntu polad materialların yorulmada dözümlülüyü məsaməlilikdən və boşluqların formasından əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, məsamələrin təsiri birmənalı deyil, onların sayından, forma və ölçüsündən, məkan oriyentasiyasından asılıdır. Veyler (Woehler) əyrilərini müəyyən etmək üçün dözümlülük həddini keçən gərginlik səviyyələrində yorğunluq sınaqları aparılmışdır. Tədqiq edilən nümunələrin 50% sağqalma ehtimalında Distaloy AE+0,5% C üçün dispersliyi <45 µm olan fraksiyasından alınan nümunələrdə yorulmada möhkəmlik həddi 166,4 MPa, korrelyasiya əmsalı 1,00 olmuşdur. Distaloy AE üçün +0,5% C dispersliyi >45 µm fraksiyadan alınan nümunələrdə isə yorulmada möhkəmlik həddi 169,1 MPa, korrelyasiya əmsalı 0,95 alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, mikroyüzlük çuxurlu qırılma strukturu ilə hissəciklərarası qırılma ilə xarakterizə olunur. Sınma səthlərinin təhlili göstərir ki, sınıq səthləri çoxoxaqlı xarakterə

malikdir (multifokaldır) və yorulmadan dağılma xarakteri daşıyır.

ƏDƏBİYYAT

1. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. Москва, Металлургия, 1975, 456 с.
2. Namazov S.N., Abdalla G., Dalgic M., Gudenau H.W., Beiss P. Mean stress sensitivity of sintered iron and steel. Zeitschrift für Metallkunde (International Journal of Metal Research and Advanced Techniques), vol. 94, 2003, №6, pp.737-743, Germany.
3. Onoda M. Fatigue Strength of Sintered Structural Component Materials. Japan Powder Metallurgical Association, Tokyo, 1983 (in Japanese).
4. Kravic A.F. The Fatigue Properties of Sintered Iron and Steel. The int. J.of Powder Metall. 3, 1967, pp.7-13.
5. Haynes R. Fatigue Behaviour of Sintered Metals and Alloys. Powder Metallurgy, 13, 1970, pp.465-510.
6. Зеньков Е.В., Цвик Л.Б., Пыхалов А.А. Методика расчета на прочность деталей машин с учетом вида напряженного состояния // Механики XXI века, 2015, №14, с.57-61.
7. Андреев В.И., Языев Б.М., Чепурненко А.С. Осесимметричный изгиб круглой гибкой пластинки при ползучести // Вестник МГСУ, 2014, №5, с.16-24.
8. Terentiev V., Dobatkin S., Prosvirnin D., Bannykh I., Raab G., Rybalchenko O. Cyclic strength of 0,07%C-17,3%Cr-9,2%Ni austenitic steel after equal channel angular pressing // Second international symposium "Bulk nanostructured materials: from fundamentals to innovations", BNM2009 Ufa 2009, pp. 317-318.
9. Дорошкевич Е.А., Желтонога Л.А., Роман О.В. Исследования усталостного разрушения при изгибе зубьев шестерен, штампованной из спеченной стали. Порошковая металлургия, 1985, №10, с.88-92.
10. Namazov S.N. Effect the structural characteristics on the fatigue strength of sintered steel on the basis Distaloy AE. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, Riga, 2003, №2, pp.56-63.
11. Безручко В.П., Огнев Р.К., Коломоец

Г.Г. Повышение усталостной прочности спеченного титана путем оксидирования. Порошковая металлургия, 1978, №3. с.101-104.

12. Романова Н.И., Креймер Г.С., Туманов В.И. Влияния остаточной пористости на усталостную долговечность при циклическом консольном изгибе сплавов карбид волфрама-кобальт. Порошковая металлургия, 1979, №10, с.70-72.

13. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. Москва, Машиностроение, 1981, 247с.

14. Петерсон О.О., Пехович В.А., Сайфулина Л.П. Сопротивляемость спеченных конструкционных сталей ударным циклическим нагрузкам. Порошковая металлургия, 1976, №11, с.84-87.

15. Сарбаш Р.И. Усталостная долговечность образцов из порошковой стали в условиях жесткого малоциклового нагружения. Порошковая металлургия, 1988, №98, с.78-83.

16. Beiss P., Dalgic M. structure property relationships in porous sintered steels. Materials Chemistry and Physics 67 (2001), pp. 37-47.

17. Dalgic M., Lindlohr S., Beiss P. Proc. Euro PM 2001 Congr., Nice, vol.2, 292, EPMA, Shrewsbury, 2001.

S.Namazov

Investigation of fatigue resistance of low-alloy welded steels

Abstract

This article examines the fatigue strength characteristics of low-alloy Distaloy AE-based sinter composite steels. For this purpose, samples were prepared from widely used low-alloy sintered steels: Distaloy AE (Fe- 4.0% Ni - 1.5%

Cu - 0.5% Mo), mixed with graphite (0,5% C). The materials were sintered by industrial baking at 1120°C for 30 minutes. Mechanical properties and fatigue characteristics of the sinter materials, structural researches were carried out. Studies have shown that the tensile strength of sinter steel materials based on Distaloy AE depends significantly on the porosity and the shape of the pores. It was found that the effect of pores is ambiguous and depends on their number, shape and size, spatial orientation.

С.Намазов

Исследование усталостной долговечности спеченных порошковых низколегированных сталей

Аннотация

В данной статье исследованы характеристики усталостной прочности низколегированных порошковых композиционных сталей на основе Distaloy AE. Для этого были изготовлены образцы из широко распространенных низколегированных порошковых сталей: Distaloy AE (Fe-4,0%Ni-1,5%Cu-0,5%Mo), смешанных с графитом (0,5%C). Материалы были получены спеканием в промышленных условиях при температуре 1120°C в течение 30 минут. Определены механические свойства и усталостные характеристики полученных материалов и проведены структурные исследования. Исследования показали, что предел усталостной прочности спеченных порошковых материалов на основе Distaloy AE, существенно зависит от пористости и формы пор. Установлено, что влияние пор неоднозначно и зависит от их количества, формы и размера, пространственной ориентации.