

G.A. VASILYAN, T.N. SAFARYAN, T.A. DEMIRCHYAN,
A.S. AGHBALYAN

**INVESTIGATION OF THE CASTING PROCESS OF DEFORMABLE
ALUMINUM ALLOYS OF THE Al-Cu-TiC SYSTEM WITH A HIGH
SPECIFIC STRENGTH**

The analysis of the casting process and the mechanism of structure formation of deformable aluminum alloys of the Al-Cu-TiC system with high specific strength is carried out. The advantages and features of using the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) for the purpose of creating nanostructured composite materials (CM) are considered. The results of experiments on the creation of CM of the Al+5%Cu+10%TiC system with a homogeneous structure are shown. TiC nanoparticles were introduced into the melt of matrix by using the SHS method with addition powders of titanium, carbon, and Na₂TiF₆ halogen salt. As a result, there is a sensitive increase in the strength characteristics of the obtained nanostructured composite materials with maintaining a high level of plasticity.

Keywords: specific strength, deformable aluminum alloys, hardening phase, titanium carbide, mechanical properties.

ՀՏԴ 621.762 (07)

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ, ՅՈՒ.Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ԵՐԿԱԹԻ ՀԻՄՔՈՎ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Փորձնական եղանակով մշակվել է 2%Cr+1,5%Ni+3%Cu+0,5%C+2%MoS₂+Fe (մնացածը) բաղադրությամբ հակաշփական նյութ, որը երաշխավորվել է ծանր բեռնվածությունների պայմաններում աշխատող առանցքակալների պատրաստելու համար: Այն ունի հակաշփական հետևյալ հատկությունները՝ $\mu = 0,032$ և $P=40$ ՄՊա, $V=1$ մ/վրկ, իսկ մեխանիկական հատկություններն են՝ $\sigma_{\delta} = 1200$ Մն/մ², HB=3000 ՄՊա, $\delta = 13\%$, $\psi = 35\%$, KCU=590 կՋ/մ²:

Առանցքային բաղեր. առանցքակալներ, բազմակոմպոնենտ, եռակաված, արտամղված, հակաշփական, մեխանիկական հատկություններ, մեծ բեռնվածություն:

Ներածություն: Երկաթի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերը մեծ տարածում են գտել արդի տեխնիկայում, իսկ պինդ քսանյութերով լեգիրման դեպքում՝ նաև որպես հակաշփական նյութեր ծանր բեռնվածությունների տակ աշխատելու համար: Որպես պինդ քսանյութ մեծ կիրառություն են գտել գրաֆիտը և մոլիբդենի դիսուլֆիդը, որոնք փոքրացնում են շփման գործակիցը, իսկ որպես ամրացնող բաղադրիչ օգտագործվում են քրոմ, նիկել, որոնք, լուծվելով երկա-

թում, բարձրացնում են նրա մաշակայունությունը և հնարավորություն տալիս առանցքակալին՝ աշխատելու մեծ բեռնվածությունների պայմաններում:

Այս փոշեկոմպոզիտային նյութերն առանձնանում են բարձր ծակոտկենությանը (10...30%), որտեղ յուղատոգորման կամ պինդ քսանյութերով լեգիրման միջոցով լցվում են հակաշփական նյութեր (հանքային յուղեր, մոլիբդենի դիսուլֆիդ և այլն), ինչը հնարավորություն է տալիս՝ ստանալու ինքնայուղվող առանցքակալներ: Այդ առանցքակալները կարող են աշխատել երկարաժամկետ՝ լիսեռի բարձր պտույտների (մինչև 2000 պտ/րոպ) պայմաններում՝ առանց լրացուցիչ յուղման: Առանցքակալների ներդիրները հաճախ պատրաստվում են եռաշերտ: Պողպատե տակդիրի վրա նստեցվում է պղինձ-նիկել-գրաֆիտ թաղանթ, որը վերևից տոգորվում է 20-70 մկմ հաստությամբ բաբիտով [1-4]:

Այս տեսակետից մեծ բեռնվածությունների և չոր շփման պայմաններում աշխատող հակաշփական նոր նյութերի ստեղծումը արդիական խնդիր է: Այն պահանջարկված է հատկապես հատուկ տեխնիկայում, որտեղ առանցքակալներն աշխատում են մեծ բեռնվածությունների պայմաններում:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Ելնելով վերոհիշյալից՝ աշխատանքի նպատակն է հետազոտել երկաթի հիմքով բազմակոմպոնենտ հակաշփական փոշեկոմպոզիտային նյութերի առանձնահատկությունները և փորձերի պլանավորման մեթոդով որոշել բաղադրիչների քանակությունը մեծ բեռնվածությունների պայմաններում աշխատող փոշեկոմպոզիտային նյութում:

Ընդհանուր նշանակության փոշեկոմպոզիտային նյութերից պատրաստում են առանցքակալների իրաններ, հողվակներ, հաշվողական մեքենաների դետալներ, վռաններ, կափարիչներ և այլն: Ցածր բեռնվածության պայմանում աշխատող դետալները ստացվում են բովախառնուրդի միանգամյա մամլման և եռակալման միջոցով և լրացուցիչ մեխանիկական մշակման չեն ենթարկվում: Միջին բեռնվածության դետալները ենթարկվում են երկանգամյա մամլման և եռակալման, իսկ բարձր բեռնվածությունների դեպքում նյութը պետք է լինի անծակոտկեն, այդ իսկ պատճառով կոմպոզիտային նյութը պետք է ստանալ տաք արտամղմամբ կամ գազաստատիկ տաք մամլմամբ:

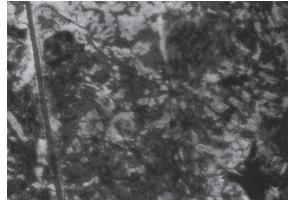
Հետազոտման արդյունքները: Նախնական փորձերը կատարվել են Fe-Cr-Ni-Mo-C բազմակոմպոնենտ փոշեկոմպոզիտային նյութի վրա, որն օժտված է դեֆորմացման բարձր աստիճանով: Մշակված փոշեկոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունները, համապատասխան ջերմային մշակումից հետո, բերված են աղյուսակում:

Լեգիրված փոշեկոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունները

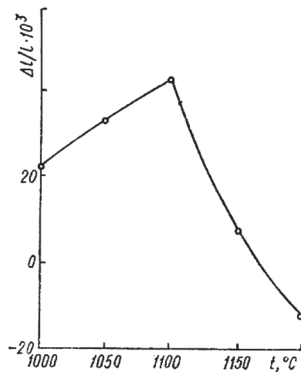
Փոշեպող- պատներ	σ_h , Մն/մ ²	σ_d , Մն/մ ²	δ , %	ψ , %	KCU, կՋ/մ ²	HB, ՄՊա	Ջերմային մշակումը
Π40X (տաք մամլված, $\theta=3...4\%$)	534	741	8	38	500	2000- 2100	Նորմալացում
Π40X (արտա- մղված, $\theta=0$)	568	833	14	45	590	2100- 2200	Նորմալացում
Π38XM (արտա- մղված, $\theta=0$)	628	857	13	46	613	2300- 2350	Նորմալացում
Π40XH (տաք մամլված, $\theta=3...4\%$)	587	782	9	40	580	2100- 2200	Նորմալացում
Π40XHMA (արտա- մղված $\theta=0$)	-	1230	12	33	617	3300- 3400	$T_{\text{մ.}}=850^{\circ}\text{C}$, արտամղումից հետո (ԲՋՄՄ), $T_{\text{արձ.}} = 400^{\circ}\text{C}$, սառեցումը յուղում

Ինչպես երևում է աղյուսակից, տաք արտամղումից և նորմալացումից հետո մեխանիկական հատկությունները ստացվում են՝ $\sigma_d = 400$ մՆ/մ², $\delta = 20\%$, HB = 1250 ՄՊա: Ածխածինն այս նյութում ծառայում է որպես պինդ քսանյութ: Քանի որ լեգիրող տարրերը մասնակցում են կառուցվածքագոյացման գործընթացին, ապա արդյունքում ստացվում է քրոմով լեգիրացած ֆերիտ ու պեռլիտ: Առաջանում են նաև կարբիդներ (FeCr)₃C, (FeCr)₂₃C₆, (FeMo)₃C: Mo-ի առկայության պայմաններում, բացի վերոհիշյալ կարբիդներից, գոյանում է նաև MoC, Mo₂C, ինչպես նաև (FeMo)₆C, (FeMo)₂₃C₆, (FeMo)₃C: Ածխածնի պարունակության մինչև 1%-ն ամբողջությամբ վերածվում է կարբիդների (նկ. 1):

Fe-Mo-C բովախսառնուրդին Ni-ի ավելացումը բարդացնում է եռակալման կինետիկան, որի հետևանքով մեծանում են գծային նստվածքի չափերը (նկ. 2): Ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում ($T=1200^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{պահ.}}=3$ ժամ) տեղի է ունենում փոշեպողպատի հոմոգենացում: Եռակալումից հետո ստացվում է հետերոգեն կառուցվածք, որը բաղկացած է կարբիդներից, պինդ լուծույթներից և ինտերմետաղական ֆազերից՝ [FeNi], [NiMo] և [FeNi, Mo] [5]: Միկրոռենտգենակառուցվածքային վերլուծությամբ որոշվել է Fe-Ni-Mo-C համաձուլվածքի ֆազային բաղադրությունը, այն է՝ Ni-ի և Mo-ի ոչ համասեռ պինդ լուծույթը երկաթում, որտեղ առկա են նաև կարբիդային և ինտերմետաղական ֆազեր:

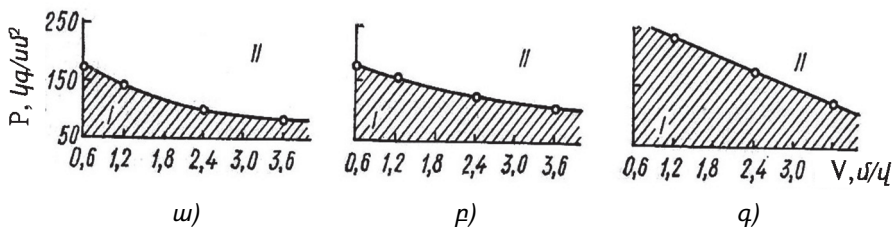


Նկ. 1. Fe-Cr-Mo-C կոմպոզիտային նյութի միկրոկառուցվածքը արտամղումից հետո
($T=1100^{\circ}\text{C}$, $\lambda=4$) ($\times 400$)



Նկ. 2. Fe-Ni-Mo-C կոմպոզիտային նյութի գծային նստեցման կախումը եռակալման
ջերմաստիճանից

Աղյուսակից երևում է, որ բարձր մեխանիկական հատկություններ են ստացվում П40ХМ մակնիշի փոշեպողպատում, $T_{\text{մր.}}=850^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանից յուղում մխումից և $T_{\text{արձ.}}=400^{\circ}\text{C}$ -ում արձակումից հետո: Ստացվում է $\sigma_{\text{ժ}}=1230 \text{ Մն/մ}^2$, $\delta=33\%$, իսկ ԲՋՄՄ-ից հետո $\sigma_{\text{ժ}}=1800 \text{ Մն/մ}^2$, $\delta=35\%$: Երևում է, որ այս փոշեպողպատը կարող է աշխատել բարձր բեռնվածության պայմաններում՝ ինչպես չոր, այնպես էլ սահմանային շփման պարագայում: Ստացված փոշեպողպատների հակաշփական հատկությունների վրա Cr-ի (П40X) և Mo-ի (П40ХМ) ազդեցությունները կախված են ճնշումից (P) և սահքի արագությունից (V): Փորձի արդյունքները բերված են նկ. 3-ում [6]:

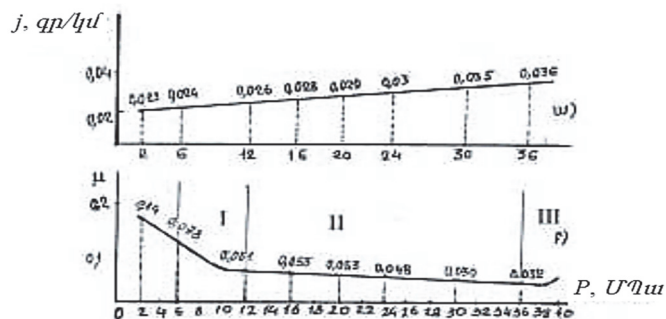


Նկ. 3. Նորմալ (I) և խաթարված (II) աշխատանքների տիրույթների դիագրամ.
ա - պողպատ 40, բ - 40X, գ - 40XHM, կախված ճնշումից (P) և սահքի արագությունից (V)

Ինչպես երևում է Cr, Mo, Ni միաժամանակ լեգիրումը ոչ միան բարձրացնում է փոշեկոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունները, այլև կատարում է մաշման տիրույթի կտրուկ ընդարձակում [6], որը դրական է ազդում փոշեկոմպոզիտային նյութի հակաշփական հատկությունների վրա: Փորձարկման է ենթարկվել նաև տաք արտամղման եղանակով ստացված Fe+1%Cr+1,5%Ni+0,5%C+3%Cu+2%MoS₂ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութը: Փորձարկումները կատարվել են CML-2 մակնիշի հակաշփական մեքենայի վրա՝ V = 1 մ/վրկ պտտման արագության և P = 2,0...40 ՄՊա բեռնվածության պայմաններում [7]: Շփման ու մաշման փորձարկումը կատարվել է նմուշների արտամղման առանցքին փոխադրահայաց ուղղությամբ մակերևույթներում: Որպես հակամարմին կիրառվել է պողպատ 45 մակնիշի Ø 45x10 մմ չափսի պտտվող հոլովակը՝ HRC 45...50 միավոր կարծրությամբ:

Երկարատև (մոտավորապես 8 ժ) մշակումից հետո փորձանմուշի վրա առաջանում է կայուն երկրորդային կառուցվածք, և նկատվում է մաշման ցուցանիշի իջեցում (նկ. 4): P=12 ՄՊա-ի դեպքում շփման գործակիցը կազմում է $\mu = 0,061$, իսկ P=36 ՄՊա-ի դեպքում՝ $\mu = 0,032$:

Մշակված կոմպոզիտային նյութի և պողպատյա հոլովակի մաշման կշռային հարաբերությունը $j_{կո} / j_{հոլ} = 0,026...0,036$, որը բերված է նկ. 4 ա-ում:



Նկ. 4. Մաշման (ա) և շփման գործակիցի (բ) կախվածությունը Fe+1%Cr+1,5%Ni+3%Cu+0,5%C+2%MoS₂ բաղադրությամբ ոչ ծակուրկեն նմուշի համար

Այստեղ պետք է նշել 3 բնորոշ տեղամասեր՝ I – ինկուբացիոն, II – կայուն, որը համապատասխանում է շփման հանգույցի աշխատանքի նորմալ ռեժիմներին, և III-մաշող:

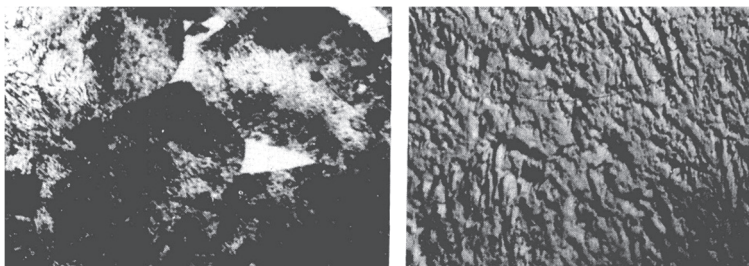
Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, բեռնվածության մեծացումով շփման գործակիցը նվազում է մինչև կայունացած ռեժիմի սկսվելը, որը համապատասխանում է ինկուբացիոն տեղամասին: Շնորհիվ շփման գոտու ջերմաստիճանային գործոնի առկայության՝ մակերևույթից հեռանում են աղսորբցված գազերը, խոնավու-

յունը, որի հետևանքով պինդ քսանյութում գործընթացը հեշտանում է՝ հանգեցնելով կայունացված ռեժիմի (II գոտի): Վերջինս բնորոշվում է թույլատրելի մաշման արժեքներով, որոնք առկա են՝ ի հաշիվ շփվող մակերեսներում առաջնային կառուցվածքագոյացման:

Շփման գործակցի հետագա աճը և մակերեսների արագացված մաշը (III գոտի) վկայում է կառչման գործընթացի ակտիվացումը: Բեռնվածության աճը զարգանում է 2 ՄՊա-ով, և ամեն բեռի համար պահման ժամանակը (մաշման տևողությունը) կազմում է 1 ժամ:

Ըստ նկ. 4-ի՝ աշխատանքային արդյունավետ ռեժիմը $P=12\dots40$ ՄՊա միջակայքում է, որի ընթացքում $\mu=0,061\dots0,032$ և $j=0,026\dots0,036$ գր/կմ: Երկրորդային կառուցվածքագոյացումը հետևանք է մակերևութային շերտի մեխանիկական լեգիրման, ներառյալ շփվող մակերևութներում նյութերի դիսպերսացումը (օքսիդներ, սուլֆիդներ, կարբիդներ և այլ միացություններ): Վերջիններս գոյանում են եռակավման և բարձր ջերմաստիճաններում ու մեծ ճնշումներով շփման պայմաններում, երբ նրանք ձեռք են բերում նոր որակ: Օրինակ՝ $\sigma_s = 1200$ Մն/մ², HB=3000 ՄՊա, $\delta = 13\%$, $\psi = 35\%$, KCU=590 կՋ/մ²:

Ցույց է տրված, որ նյութերի դիսպերս կարծրացման ժամանակ գոյացած երկրորդային կառուցվածքի դերը ադգեզիոն-դեֆորմացման գործընթացների տեղայնացումն է՝ արդյունքում առաջացնելով բարակ աշխատանքային շերտ (նկ. 5): Նկատվել է նաև, որ $P=12$ ՄՊա պայմաններում շփվող մակերեսները տաքանում են աննշան, և մակերևութների վրա գունային փոփոխություն չի առաջանում: Մինչդեռ $P=32$ ՄՊա ճնշման տակ փորձարկվող նմուշը դեղնում է, և $P = 40$ ՄՊա-ում նմուշն ընդունում է կապույտ երանգ, ինչը մոտ է 300°C-ին: Cu-ով և C-ով մայրակի լրացուցիչ լեգիրումը, ինչպես նաև հետագա ջերմային մշակումն ապահովում են բարձր հակաշփական հատկություններ: Դա ապացուցում է նաև վերջնական մետաղագրական վերլուծությունը (նկ. 5):



ա)

բ)

Նկ. 5. Fe-Cr-Cu-C (C=0,5%) բաղադրությամբ արտամղված նյութի միկրոկառուցվածքը ($T_{արտ} = 1100^\circ\text{C}$; $\lambda=4$). (ա - x 500); (բ - x 12000)

$T_{\text{տր.}}=1000^{\circ}\text{C}$ -ից մխումից հետո մայրակի կառուցվածքը մարտենսիտային է, ինչն էլ ապահովում է կոմպոզիտային նյութի բարձր մեխանիկական հատկությունները: 3%Cu-ի առկայությունը նյութում ապահովում է նաև բարձր ջերմահաղորդականություն, ինչն անհրաժեշտ է հակաշփական հատկությունների բարձրացման համար:

Եզրակացություն: Կոմպոզիտային նյութի մեխանիկական ու հակաշփական հատկությունները պայմանավորված են բաղադրիչների քանակային պարունակությամբ (Fe, Cr, Cu, Ni, Mo, MoS₂, C): Փորձնական եղանակով որոշվել է բաղադրիչների լավարկված բաղադրությունները, որոնցով էլ պայմանավորված են նմուշի նյութի բարձր մեխանիկական ու հակաշփական հատկությունները՝ 2%Cr+1,5%Ni+3%Cu+0,5%C+2%MoS₂+Fe (մնացածը): Ըստ հակաշփական հատկությունների՝ այս կոմպոզիտային նյութն ընդունվել է ծանր բեռնվածության պայմաններում աշխատող առանցքակալային դետալների համար, որոնց հակաշփական հատկություններն են՝ $\mu=0,032$ և $P=40$ ՄՊա, $V=1$ մ/վրկ, իսկ մեխանիկական հատկությունները՝ $\sigma_{\sigma} = 1200$ Մն/մ², HB=3000 ՄՊա, $\delta = 13\%$, $\psi = 35\%$, KCU=590 կՋ/մ²:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы.- Киев: Наук. думка, 1980.- 404 с.
2. **Карапетян Г.Х.** Научные и технологические принципы создания износостойких антифрикционных порошковых материалов с управляемой структурой и свойствами: Дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1989.- 292 с.
3. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 232с.
4. **Тялипа Л.И., Минаев А.М., Пручкин В.А.** Новые композиционные материалы.- Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011.- 80 с.
5. **Ղուկասյան Վ.Ս.** Երկաթի հիմքով անձակոտկեն հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիայի մշակումն և կառուցվածքի ու հատկությունների հետազոտումը. Սեղմագիր ...տ.գ.թ.- Երևան, 2011.- 28 էջ:
6. **Taked S., Jukowa N., Jap J.** // Inst. Metals. – 1982. – V. 21, N4. – P.275-279.
7. **Պետրոսյան Հ.Ս., Թումանյան Գ.Հ., Համբարձումյան Է.Բ.** Ֆերոմոլիբդենի հիմքով ստացված փոշեկոմպոզիցիոն նյութերի հակաշփական հատկությունները և կառուցվածքային վերլուծությունները // ՀԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. – 2006. – Հ. 59, N 1. – էջ 53-60:

Ա.Տ. ՍԵՏՐՕՅԱՆ, Վ.Տ. ԳՄԿԱՏՅԱՆ, ՅՈՎ. ԱՐՄԵՆՅԱՆ
ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Для изготовления подшипников, работающих в условиях больших нагрузок, экспериментальным путем разработан антифрикционный материал состава 2%Cr+1,5%Ni+3%Cu+0,5%C+2%MoS₂+остальное Fe. Он имеет следующие антифрикционные: $\mu=0,032$ и $P=40$ МПа, $V=1$ м/с и механические: $\sigma_g = 1200$ МН/м², HB=3000 МПа, $\delta = 13\%$, $\psi = 35\%$, KCU=590 кДж/м² свойства.

Ключевые слова: подшипники, многокомпонентный, спеченный, экструдированный, антифрикционный, механические свойства, большая нагрузка.

H.S. PETROSYAN, V.S. GUKASYAN, Yu.V. HARUTYUNYAN
CHARACTERISTICS OF IRON - BASED COMPOSITE ANTIFRICTION
MATERIALS

For the production of bearings working under high loads, an antifriction material consisting of 2%Cr+1,5%Ni+3%Cu+0,5%C+2%MoS₂ + the rest Fe was experimentally developed. It has the following anti-friction properties $\mu = 0,032$ and $P=40$ MPa, $V=1$ m/s and mechanical properties. $\sigma_g = 1200$ Mn/m², HB=3000 MPa, $\delta = 13\%$, $\psi = 35\%$, KCU=590 kJ/m².

Keywords: bearings, multi-component, sintered, extruded, anti-friction, mechanical properties, high load.

ՀՏԴ 622.276.279

Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ն.Վ. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ, Ա.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ
ԳԱԶԱՏԱՐ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԵՐԻ ԿՐՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ
ՀԱՄԱԼԻՐ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

Գազատրանսպորտային համակարգերի (ԳՏՀ) խողովակաշարերը մեծ մասամբ տեղակայվում են վերգետնյա սկզբունքով, համեմատաբար բարդ ռելիեֆում և աշխատում են միաժամանակ ազդող գործոնների պայմաններում, որոնց պատճառով խողովակների կցվանքային եռակցված կարերում առաջանում և զարգանում են կոռոզիոն-հոգնածային և զուտ կոռոզիոն գործընթացներ: Արդյունքում՝ նշված երևույթները զգալիորեն նվազեցնում են խողովակաշարերի կրողունակությունը և ծառայության ժամկետը, որոշ դեպքերում նույնիսկ առաջացնելով հերմետիկության խախտում և հոգնածային քայքայումներ: Նման երևույթներից խուսափելու նպատակով առաջադրված է եռակցված