

UDK 621.762.4.5.8

## MÜXTƏLİF ÜSULLARLA BİŞİRİLƏN OVUNTU ALÜMİNİUM KOMPOZİSİYALARIN STRUKTUR XUSUSİYYƏTLƏRİ VƏ XASSƏLƏRİ

E.K.YAQUBOV

Gəncə Dövlət Universiteti  
AZ 2000, Gəncə şəh., H.Əliyev pr., 429  
emin.yaqubov@mail.ru

Daxil olub: 17.06.2021  
Çapa verilib: 17.09.2021

Açar sözlər: alüminium, metal ovuntusu, bişirmə, sıxlaşdırma, matrisa, qızdırılma rejimi.

### REFERAT

Tərkibində 20% Cu və 15% Mn olan alüminium əsaslı ovuntu kompozisiyalardan hazırlanmış nümunələrin bişirilməsi zamanı rejim parametrlərinin materialın strukturuna və mexaniki xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Nümunələr adi, mikrodalğalı və qılgılcım-plazma üsulları ilə 525°C temperaturda bişirilmişdir. Optik mikroskopiyaya vasitəsilə aparılmış mikrostruktur tədqiqatları əsasında qılgılcım-plazma üsulu ilə alınan nümunələrin mikrostrukturunun daha narın və yekcins olduğu göstərilib. Qılgılcım-plazma üsulu ilə bişirilmiş nümunələrin yüksək mexaniki göstəricilərə malik olduğu müəyyən edilmişdir.

### GİRİŞ

Müasir dövrün texniki və texnoloji tələblərinə uyğun olan yüksək keyfiyyətli konstruksiyaya materialları arasında alüminium əsaslı kompozitlər xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [1]. Alüminium əsaslı orintilərdən məmulat hazırlanmasında onların sonrakı emal və istismar proseslərinə əngəl törədə biləcək bir çox qüsurların meydana gəlməsini qabaqlamaq, eləcə də kütləvi istehsal şəraitində mürəkkəb komponentli, yekcins mikrostruktura malik orintilər almaq məqsədilə ovuntu metallurjiyası geniş tətbiq edilir [2,3]. Məmulatların alüminium ovuntularından hazırlanması onların daha dəqiq forma və ölçülərini təmin etməklə yanaşı həm də bir sıra xassələrinin keyfiyyətcə yüksəlməsinə imkan yaradır ki, bu səbəbdən də ovuntu texnologiyası tədricən təzyiq altında tökməni əvəzləyir [4]. Bu cür məmulatlar istər iqtisadi, istərsə də texniki göstəricilər baxımından ənənəvi üsullarla alınan anoloqlarını qabaqlayır. Ona görə də alüminium əsaslı ovuntu sistemlərinin bişirilməsi qanunauyğunluqlarının tədqiqi mühüm praktiki əhəmiyyət daşıyır.

Alüminium əsaslı kompozisiya materiallarının bişirilməsində "aktivləşdirilmiş" bişirmə üsulu

geniş tətbiq tapmışdır. Bu cür bişirmə prosesində şixtəyə xüsusi olaraq əlavə edilmiş elementlər hesabına kontakt sahələrində yaranan maye faza prespəstəhin sıxlaşdırılmasına kömək edir. Alüminium ovuntularına ikinci faza kimi çətin əriyən metal hissəciklərin əlavə edilməsi onların plaştiklik xassələrini saxlamaqla yanaşı möhkəmlik, bərklik, istiyə və yeyilməyə davamlılıq kimi göstəricilərini yüksəltməyə, sürtünmə və xətti genişlənmə əmsallarını isə aşağı salmağa imkan verir.

Qarşılıqlı təsirdə olan müxtəlif elementlərdən ibarət ovuntu cislərinin bişirilməsi zamanı onların fiziki-mexaniki xassələrində baş verən dəyişikliklərin izahı xüsusi olaraq aktualdır. Alüminium əsaslı kompozitlərə keçid elementlərinin ovuntularını əlavə etməklə bişirilmə proseslərinin tədqiqi yeni nəsil kompozisiyaların yaradılması kimi elmi problemlə sıx bağlı olan bir praktiki məsələdir. Yüksək özlülüyü ilə seçilən alüminiumun tərkibinə mis əlavə etdikdə özlülüynün bir qədər azalması fonunda bərkliyin artması müşahidə olunur. Mis in miqdarının artması ilə bərkliklə yanaşı dartılmaya möhkəmlik də artır [5]. Müəyyən edilmişdir ki, alüminium əsaslı ovuntu kompozisiyalarda mis in miqdarının artması onların korroziyon göstəricilərini əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmir. Al-Cu sistemi

örüntüləri termiki emal edilərək yüksək möhkəmlik ( $\sigma_B=500...550\text{MPa}$ ) və özlülük vəziyyətinə gətirilir ki, bu da onları aviasiya texnikasında və digər növ nəqliyyat vasitələrinin istehsalında tətbiqini daha səmərəli edir [6].

Alüminium əsli funksional materialların yaradılmasında perspektiv istiqamətlərdən biri də möhkəmləndirici faza kimi alüminidlərdən-alüminiumla keçid metalların intermetallik birləşmələrindən istifadə olunmasıdır. Al-Cu örintiləri ilə yanaşı Al-Mn örintiləri də texniki maraq kəsb edir. Onların başlıca cəhətləri yüksək plastiklik, korroziyaya davamlılıq, istilikkeçiricilik əmsalının böyüklüyüdür [7]. Məqanqın kütlə etibarilə miqdarı 0,5%-dən yuxarı olduqda örintinin plastikliyinə xələl gətirmədən onun özlülüyünü və möhkəmlik həddini artırır. Məqanqın mövcudluğu strukturda  $\text{Al}_6\text{Mn}$  dispers hissəciklərinin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Nəticədə dislokasiyalıvan hərəkəti çətinləşir, bu da möhkəmliyin artmasına gətirir. Məmulatın formalaşdırılması zamanı baş verən deformasiya nəticəsində yaranan sürüşmə müstəviləri sonrakı mərhələdə sabit plastikliyi təmin edir və yorğunluğa davamlılığı xeyli yüksəldir [7]. Məqanqın əlavə edilməsi bu materialların korroziyaya qarşı davamlılığını da artırır.

Məqalədə yüksək möhkəmlik və plastiklikliyi, eləcə də dövrü yorğunluğa qarşı davamlılığa malik olan kompozisiyanın alınması məqsədilə Al-Cu-Mn tərkibli örintilər üzərində tədqiqat işinin nəticələri verilmişdir. Bişirmə prosesində adi qızdırıcı sobadan, əvvəllər yalnız metal əridilməsi üçün istifadə olunan mikrodalğalı sobadan və qılgıncı-plazma sobasından istifadə olunmuşdur. Mikrodalğalı zonada metal ovuntularının bişirilməsi imkanları ilk dəfə ötən əsrin 90-cı illərinin sonunda verilmişdir [8]. Müxtəlif tərkibə malik olan dəmir, mis, alüminium, titan və s. əsaslı ovuntu kompozisiyalarının mikrodalğalı sobalarda bişirilməsi ilə bağlı tədqiqat məlumatları mövcuddur [9-10]. Bu üsulun məhiyyəti qəfi örtüklü matrisəyə yerləşdirilmiş metal ovuntusunun sabit cərəyan mənbəyindən verilən impulsların təsiri altında preslənməsindən ibarətdir. Bu texnologiyanın başlıca üstünlükləri bişirmə müddətinin qısa olması, yüksək sıxlıq və xirdədanlı strukturun əldə edilməsi imkanlarıdır. Qılgıncı-plazma göstərilən üsullar arasında daha yenidir. Bu üsul əsasən

2000-ci illərdən etibarən tətbiq olunmağa başlamışdır və ultradispers alüminium ovuntularının bişirilməsi üçün daha perspektivli hesab olunur. Qılgıncı-plazma bişirməsinin maqneziumla legirlənmiş alüminiumun xassələrinə təsiri ətrafı şəkildə şərh olunmuşdur [11]. Bu üsulun fiziki məhiyyətinin əsasını klassik bişirmə nəzəriyyəsi təşkil edir. Lakin qızdırılma sürətinin yüksək olması ilə əlaqədar olan bir sıra amilləri klassik nəzəriyyə əsasında izah etmək olmur.

Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti yüksək mexaniki, texnoloji və istismar xassələrinə malik olan, iqtisadi cəhətdən səmərəli hesab ediləcək alüminium əsaslı yeni ovuntu kompozit materialların almaq üçün optimal bişirmə rejimi parametrlərini əsaslandırılmasıdır.

### TƏDQIQATIN METODİKASI

96% texniki təmizliyə malik olan və hissəciklərinin orta ölçüsü  $<40\text{nm}$  təşkil edən Al, Mn və Cu ovuntularının proporsional miqdarda 1 saat müddətində qarşdırılmağa  $\text{Al65Cu20Mn15}$  nominal tərkibi alınmışdır. Qarışıq tərkibli kompozisiyanı təşkil edən silindrik qranullar hidravlik presdə 400MPa təzyiqlə altunda sıxlaşdırılmışdır. Alınmış prespəstahlarnın ilkin sıxlığı nəzəri göstəricinin 72%-ni təşkil etmişdir.

Prespəstahın molibden disilidisi ( $\text{MoSi}_2$ ) tərkibli qızdırıcı elementi olan yüksək temperaturlu kamera sobasında bişirilməsi zamanı qızdırılma sürəti  $5^\circ\text{C}/\text{dəq}$  təşkil etmişdir. Bişirmə prosesi  $525^\circ\text{C}$  temperaturda bir saat müddətində davam etmiş, nümunənin sıxlığı hidrostatik üsulla təyin edilmişdir. Digər halda prespəstahın bişirilməsi üçün elektrik cərəyanının gücü 6kVt, tezliyi 2,45GHz olan mikrodalğalı sobadan istifadə olunmuşdur. Bişirilmə nümunənin bütün hissələrində yüksək temperaturun bərabər paylanması üçün o, çoxqatlı izoleedici materialdan hazırlanmış paketə yerləşdirilmişdir. Bunun üçün əvvəlcə nümunələr divarın qalınlığı 10mm olan mullit borucuğa, sonra həmin borucuq paketə salınmışdır. Nümunələrin mikrodalğalı sobada qızdırılma sürəti  $40^\circ\text{C}/\text{dəq}$  olmuş və onlar 10 dəq müddətində bişirilmə temperaturunda saxlanılmışdır. Temperatur ölçmələri istiliyin şüalanması göstəricilərinə əsaslanan pirometr vasitəsilə həyata keçirilən  $700^\circ\text{C}$ -də [12-

13] alüminiumun şüalanma əmsalı 0,04 kimi qəbul edilir. Bir qayda olaraq temperaturun dəyişməsilə şüalanma əmsalının da dəyişməsi müşahidə olunur. Lakin apardığımız təcrübə zamanı mövcud olan temperatur intervallında bu əmsalın dəyişməsi çox kiçik miqyasda olmuşdur.

Prespəstahı bişirmək üçün qılgıncı-plazma sobasından istifadə olunaraq nümunələr  $100^\circ\text{C}/\text{dəq}$  sürəti ilə qızdırılmış və bişirilmə temperaturunda 5 dəqiqə müddətində saxlanıldıqdan sonra soba ilə birlikdə soyumağa buraxılmışdır. Temperaturu ölçmək üçün K tipli termocütədən istifadə olunmuşdur. Bişirmə ilə eyni zamanda nümunənin 50MPa təzyiqlə altunda bixoxlu sxem üzrə preslənməsi yerinə yetirilmişdir.

Bişirilmiş prespəstahları kəsməklə onlardan metalloqrafik tədqiqat, dartılmaya və bərkliyə sınaqlar üçün nümunələr hazırlanmışdır. Mikrostruktur tədqiqatı üçün götürülən nümunələr abraziv alətə və almaz pasta ilə emal edilərək Keller reaktivində aşılınmışdır. Nümunələrin mikrostrukturu 200 dəfə böyütməklə tədqiq edilmişdir.

Mikrobərklik Vickers cihazında 0,2N yükün 10 san müddətində tətbiqi ilə təyin edilmişdir. Bunun üçün aşağıdakı düsturəndə istifadə olunmuşdur

$$HV = 1,854 \frac{P}{l^2},$$

burada  $HV$  - vickers şkalası üzrə mikrobərklik;  $P$  - indentora təsir edilən sınaq yükü (N);  $l$  - diqqəta lənin orta uzunluğudur (mm).

Mexaniki xassələri təyin etmək üçün bu məqsədlə hazırlanmış, uzunluğu 26mm olan silindrik nümunələr dartıcı sınaq maşınında 20kN yükün tətbiqi ilə  $3,3 \times 10^{-4} \text{san}^{-1}$  sürətlə deformasiyaya uğradılmışdır.

Al-Cu-Mn kompozisiyasının elektrokimyəvi korroziyaya müqavimətini təyin etmək üçün nümunələr cilalanmış və elektrokimyəvi özək vasitəsilə onların elektrod potensialı ölçülmüşdür. Müqayisə üçün kalomel elektrodan, köməkçi elektrod kimi qrafit çubuqdan, elektrolit olaraq 0,1mol/l qatıqlı HCl məhlulundan istifadə olunmuşdur. Elektrokimyəvi özəkdə yerləşdirilmiş nümunənin  $1\text{sm}^2$  sahəsi elektrolit məhluluna batırılır. Potensial-dinamik poliyarizasiya yərilərinin alınması üçün müvafiq kompüter proqramı vasitəsilə idarə olu-

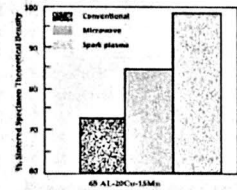
nan potensiometrəndə istifadə olunmuşdur. Hər eksperimentdən əvvəl 60dəq müddətində elektrod potensialının qeydiyyatı aparılmışdır. Potensialdinamik tədqiqatlar nəticəsində poliyarlaşma ayrılması alınmışdır ki, bunların vasitəsilə korroziya potensialı, korroziya cərəyanı və korroziya sürətini təyin etmək mümkün olmuşdur. Ştərn üsulu ilə [14] korroziya parametrlərini təyin etdikdə korroziya sürəti ilə korroziya cərəyanı arasındakı empirik asılılıq aşağıdakı kimidir

$$\text{Korroziya sürəti} = 0,0033 (e / p) i_{\text{kor}},$$

burada  $e$  - ekvivalent çəki (q);  $p$  - materialın sıxlığı ( $\text{q}/\text{sm}^3$ );  $i_{\text{kor}}$  - korroziya cərəyanıdır ( $\text{A}/\text{sm}^2$ ).

### NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏSİ

**Sıxlıq.** Adı, mikrodalğalı və plazma sobalarında bişirilmiş Al-Cu-Mn kompozisiyalı örintilərin sıxlıqma prosesinin bişirilmə üsulundan və tərkibdən asılılığı 1-ci Şəkilə təsvir edilmişdir.



Şəkil 1.

Müxtəlif üsullarla bişirmədə ovuntu kompozisiyaların sıxlıqma dərəcələrinin müqayisəsi.

Bişirilmə üsulundan asılı olmayaraq sıxlıqma  $525^\circ\text{C}$ -də baş verir. Plazma sobasında bişirilən prespəstahlarnın analoqları ilə müqayisədə daha yüksək sıxlıqma dərəcəsi ( $\sim 99\%$ ) müşahidə olunur. Bu göstəricini təzyiqlə və yüksək qızdırılma sürətinin bircə təsiri ilə izah etmək olar. Bu üsulla bişirmə zamanı həmçinin ovuntu materialının hissəcikləri arasında lokal plazma yaranır, hissəciklərin səthində buxarlama baş verir və onların kontakt zonasında "boyuncuq" şəkilli təhrif olunmuş formalar nəzərə cəripir. Boyuncuğun inkişafı və

transformasiyası 99% sıxlaşdırılmış prespəstahlın alınmasına şərait yaradır.

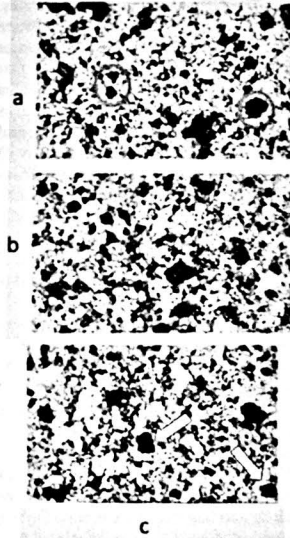
Bişirmə zamanı nümunənin səthində temperaturun artma sürəti yüksək olduğundan ilkin ovuntu hissəciklərinin əhəmiyyətli dərəcədə böyüməsi baş vermir. Prespəstahlın mikrodalğalı sobada bişirilməsi zamanı da yüksək sıxlaşma dərəcəsi hissəciklərin böyüməsini qabaqlayan yüksək qızdırılma sürəti ilə izah olunur. Digər tərəfdən, adi üsulla bişirmə prosesində nümunənin xarici səthinin qızdırılma sürəti aşağı olur. Bu zaman yalnız istilik enerjisinin təsirinə məruz qalan nümunələrdə sıxlaşma prosesi məhdud xarakter alır və nəticə etibarilə onların sıxlığı digər iki üsulla alınanlara nisbətən aşağı olur. Müxtəlif üsullarla bişirilmiş nümunələrdə baş vermiş həcmi dəyişmələri (kipləşmə əmsalları) müqayisə etdikdə də anoloji tendensiya müşahidə olunur.

**Mikrostruktur.** 2 və 3-cü Şəkillərdə müxtəlif üsullarla bişirilmiş kompozisiyaların daxili strukturunun optik və elektron mikroskop vasitəsilə alınmış görüntüləri əks olunmuşdur. Strukturda nəzərə çarpan az miqdarda boşluqlar (27%) adi üsulla bişirilmiş nümunələrdə müşahidə olunmuşdur (Şəkil 2, a). Lakin qızdırılma sürətinin dəyişməsi ilə onların əksəriyyəti tədricən aradan qalxmışdır. Nəticədə qütblənmə-plazma üsulu ilə 525°C temperaturda bişirilmiş Al əsaslı kompozisiyanın sıxlaşma dərəcəsi 99% təşkil etmişdir. Şəkildən müşahidə olunan oxla işarə edilmiş qara nöqtələr (Şəkil 2, c) tədqiq olunan səthin cilalanması zamanı yaranmış çuxurları göstərir [15-16].

Mikrostruktura nəzər saldıqda mis və manqanın alüminium matrisində yayıldığı görünür. Qütblənmə-plazma prosesi nəticəsində alınan mikrostruktur adi üsuldakına nisbətən daha naın olur (Şəkil 3), çünki bu halda qızdırılma sürəti yüksək olduğundan donanın böyüməsini qabaqlayır [17].

Məlum olduğu kimi bişirmə temperaturunda bərk hissəciklərin qarşılıqlı həllolma dərəcəsi məhdud xarakterlidir. Buna görə də Al və Mn arasında intermetallik birləşmə yaranmır. Müşahidə olunan intermetalliklər əsasən Al<sub>2</sub>Cu və AlCu-dur. Al-Cu hal diaqramına əsasən qeyd edə bilərik ki, tetraqonal kristal qəfəsinə malik olan Al<sub>2</sub>Cu (θ faza) misin 31,9-33,0% miqdarlarında, monoklinik kristal qəfəsinə malik olan AlCu (η faza) isə misin 49,3-52,8% miqdarlarında mövcud olur. Misin

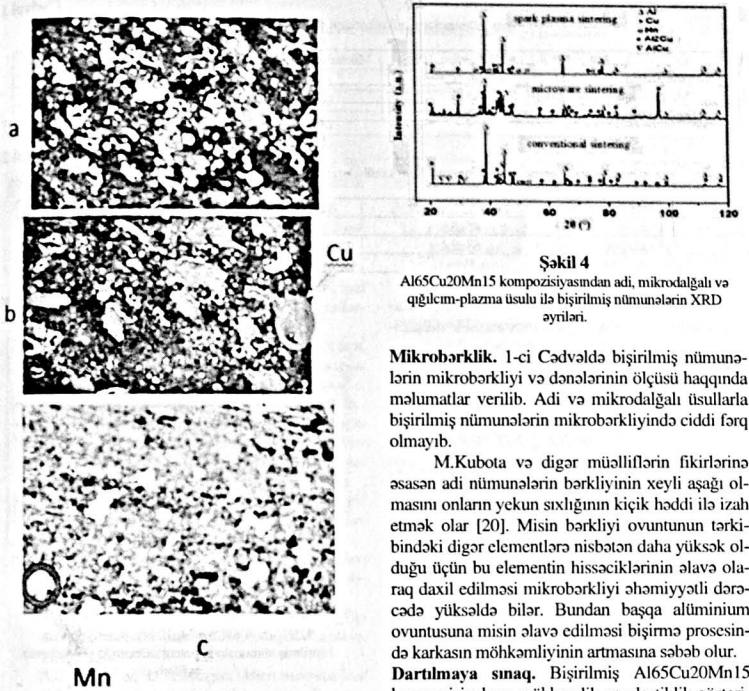
alüminiumda yüksək diffuziya dərəcəsini və aşağı həllolma qabiliyyətini əsas tutaraq fikir yürüdə bilərik ki, bişirmə prosesində AlCu alüminiumla zənginləşərək Al<sub>2</sub>Cu-un meydana gəlməsinə səbəb olur [18]. Tədqiqat prosesinə cəlb etdiyimiz intermetallik fazalar [19]-cu işdə qeyd olunan müddəaları təsdiq edir. Adi üsulla və mikrodalğalı sobada bişirmə zamanı saxlama müddətinin uzun olması iridənəli strukturun yaranmasına səbəb olur. Qütblənmə-plazma üsulu ilə bişirmədə bu hal müşahidə olunmamışdır.



Şəkil 2

Al<sub>65</sub>Cu<sub>20</sub>Mn<sub>15</sub> kompozisiyanın aşılınmış səthinin optik mikroskofta. x500: a) adi üsulla bişirmə; b) mikrodalğalı bişirmə; c) qütblənmə-plazma bişirməsi.

4-cü şəkildə hər üç üsulla bişirilmiş 65Al-20Cu-15Mn nümunələrinin rentgen diffraktoqramı göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi adi və mikrodalğalı sobada bişirilmə zamanı alınan nümunənin tərkibindəki intermetallik fazaların miqdarı qütblənmə-plazma sobalarındakına nisbətən xeyli çoxdur.



Şəkil 4

Al<sub>65</sub>Cu<sub>20</sub>Mn<sub>15</sub> kompozisiyasından adi, mikrodalğalı və qütblənmə-plazma üsulu ilə bişirilmiş nümunələrin XRD ayırları.

**Mikrobərklik.** 1-ci Cədvəldə bişirilmiş nümunələrin mikrobərkliyi və dənələrinin ölçüsü haqqında məlumatlar verilib. Adi və mikrodalğalı üsullarla bişirilmiş nümunələrin mikrobərkliyində ciddi fərq olmayıb.

M.Kubota və digər müəlliflərin fikirlərinə əsasən adi nümunələrin bərkliyinin xeyli aşağı olmasını onların yekun sıxlığının kiçik həddi ilə izah etmək olar [20]. Misin bərkliyi ovuntunun tərkibindəki digər elementlərə nisbətən daha yüksək olduğu üçün bu elementin hissəciklərinin əlavə olaraq daxil edilməsi mikrobərkliyi əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldə bilər. Bundan başqa alüminium ovuntusuna misin əlavə edilməsi bişirmə prosesində karkasın möhkəmliyinin artmasına səbəb olur.

**Dartılmaya sınaq.** Bişirilmiş Al<sub>65</sub>Cu<sub>20</sub>Mn<sub>15</sub> kompozisiyaların möhkəmlik və plastiklik göstəriciləri 2-ci Cədvəldə ümumiləşdirilmiş formada verilib. Dartılmada möhkəmlik, axıcılıq həddi və plastikliyin dəyişməsi mikrobərklikdə müşahidə olunan tendensiya ilə oxşar xarakterə malikdir.

Xəssələrin öyrənilməsi zamanı Al əsaslı ovuntuların qütblənmə-plazma üsulu ilə bişirilməsi digər üsullar qarşısında bir sıra üstünlükləri ilə seçilir. Gözlənilmədiyi kimi adi və mikrodalğalı sobalarda bişirilən nümunələrin strukturunda intermetallidlərin olması səbəbindən, onların plastiklik göstəriciləri yüksək deyil. Ayrılan tədqiqatlar həmin nümunələrdə mikrostrukturun düzgün formalaşmadığını (Şəkil 2) və hissəciklər arasında əlaqənin zəif olduğunu göstərir.

Bişirilmiş nümunələrin mikrobarklılığı və dənələrinin ölçüləri.

Cədvəl 1

Kompozisiya Al65Cu20Mn15	Adi üsulla bişirilən, HV <sub>0.02</sub>	Mikrodalğalı üsulla bişirilən, HV <sub>0.02</sub>	qığılçım-plazma üsulu ilə bişirilən, HV <sub>0.02</sub>
Mikrobarklıq	57.3±1.2	63.06±0.8	116.04±0.45
Dənənin ölçüsü	36mikm	24mikm	15mikm

Al65Cu20Mn15 kompozisiyasının dartılmaya möhkəmliyi, axıcılıq həddi və nisbi uzanma dərəcəsi.

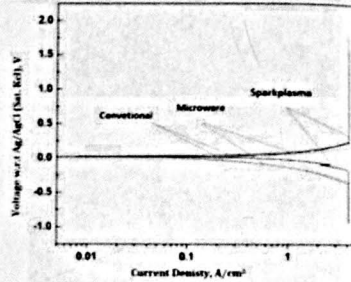
Cədvəl 2

Bişirilmə üsulu	Möhkəmlik həddi, MPa	Axıcılıq həddi, MPa	Nisbi uzanma, %
Önəməvi	45±3.5	32±1.2	5±0.5
Mikrodalğalı	63±2.1	51±1.7	12±0.3
Qığılçım-plazma	89±1	67±0.2	23±0.1

Alınmış təsvirlərdə dənələrin sərhədləri arasında yüksək dərəcədə qalın məsələlik müşahidə olunub. Bu nöqtəyi nəzərdən qığılçım-plazma üsulu ilə alınmış nümunənin mikrobarklılığını daha yekcins hesab etmək olar. Həmin nümunələrin daxili quruluşu xırdadənəli olduğu üçün onların möhkəmliyi ilə yanaşı plastikliyi də kifayət qədər yüksəkdir.

**Korroziyaya davamlılıq.** 5-ci Şəkilə 525°C-də bişirilmiş nümunələrin potensiodinamik poliyarlaşma ayrılırları təsvir olunub. Gördüyü kimi, qığılçım-plazma üsulu ilə bişirilmiş nümunələrin korroziya cərəyanı digərləri ilə müqayisədə daha yüksək sıxlığa malikdir. Ən xırdadənəli struktura malik olan ərintilərdə korroziyaya davamlılıq daha aşağı səviyyədədir. Bunu strukturda korroziyaya meyilli olan Al<sub>2</sub>Cu dənələrinin çox olması ilə izah etmək olar. Qızdırılma sürəti artdıqca qığılçım-plazma üsulu ilə bişirilən nümunələrdə korroziya cərəyanının sıxlığı 50%-dək azalır. Həmin nümunələrdə xas olan məsələlik dərəcəsi səth təbəqəsindəki anod sahəsini azaldır və beləliklə digər anodlara nisbətən korroziya ehtimalını aşağı salır.

3-cü Cədvəldə bişirilmiş nümunələrin potensiodinamik poliyarlaşma göstəriciləri verilmişdir. Gördüyü kimi adi üsulla bişirilən nümunələr digərləri ilə müqayisədə aşağı potensial fərqi ilə yanaşı, daha yüksək cərəyan sıxlığına və korroziya sürətinə malikdirlər.



**Şəkil 5**  
525°C-də Al65Cu20Mn15 kompozisiyasından bişirilmiş nümunələrin potensiodinamik poliyarlaşma ayrılırları.

### NƏTİCƏ

Al65Cu20Mn15 kompozisiyasından ovuntu metallurgiyasının müxtəlif bişirilmə metodları ilə standart nümunələr hazırlanmış və onların mühüm fiziki-mexaniki göstəriciləri təyin olunmuşdur. Bərklik, möhkəmlik, plastiklik və sıxlığın təyin edilməsi nəticəsində ən yüksək göstəricilərin qığılçım-plazma üsulu ilə bişirilən nümunələrə aid olduğu müəyyən edilmişdir.

Mikroskopik və rentgenstruktur tədqiqatlarının nəticələri göstərir ki, mikrodalğalı və qığılçım-plazma sobalarında bişirilən nümunələr adi üsulla bişirilənlərə nisbətən daha xırdadənəli struktura və kiçik ölçülü məsələlərə malikdir.

Cədvəl 3

Al65Cu20Mn15 kompozisiyasının potensiodinamik poliyarlaşma göstəriciləri

Bişirilmə üsulu	I <sub>kor</sub> (A/mm <sup>2</sup> )	E <sub>kor</sub> (V)	Korroziya sürəti (mm/il)
Önəməvi	1,7918	-0,002	2,003
Mikrodalğalı	1,6466	0,007	1,826
Qığılçım-plazma	0,7752	0,001	0,903

Potensiodinamik tədqiqatlar nəticəsində qığılçım-plazma üsulu ilə bişirilmiş nümunələrin

korroziyaya davamlılığının digər anodlara nisbətən daha yüksək olduğu müəyyən edilmişdir.

1. В.Г.Гонименко, М.Е.Смагоринский, А.А.Григорьев. Спеченные материалы из алюминидных порошков, Москва, Металлургия, (1993) 317.
2. F.V. Beaumont. Aluminium P/M: Past, Present and Future. International Journal of Powder Metallurgy, 36 (6) (2000) 41-43.
3. В.А.Витязь, В.М.Капцевич, А.Г.Косторнов, В.К.Шеллер, В.И.Григорьев и др. Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов, Москва, Металлургия, (1993) 240.
4. И.М.Федорченко. Развитие работ в области высокопористых материалов из 103 металлических порошков и волокон, Порошковая металлургия, № 9 (1979) 25-35.
5. G.B.Schaffer, T.B.Sercombe, R.N.Lumley. Liquid phase sintering of aluminium alloys, Materials Chemistry and Physics, 67(1-3), (2001) 85-91.
6. A.Udomphol. Aluminium and its alloys, Nakhon Ratchasima, Suranaree University of Technology, (2007)... Available from [http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/05\\_Titanium%20and%20titanium%20alloys.pdf](http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/05_Titanium%20and%20titanium%20alloys.pdf) Access in: 17/02/2018.
7. A.G.Whittaker, D.M.Mingos. Microwave-assisted solid-state reactions involving metal powders, Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions, 12 (1995) 2073-2079.
8. R.Roy, D.Agrawal, J.Cheng S.Gedevanishvili. Full sintering of powdered-metal bodies in a microwave field, Nature, 399 (1999) 668-670.
9. K.Rödiger, K.Dreyer, T.Gerdes, M.Willert-Porada. Microwave sintering of hardmetals, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 16 (1998) 409-416.
10. S.Takayama, Y.Saito, M.Sato, T.Nagasaka, T.Muroga, Y.Ninomiya. Microwave sintering for metal powders in the air by non-thermal effect, Proceedings of 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Microwave and High Frequency Heating, Loughborough, UK Sep. 1-5, (2003) 369-372.
11. G.Xie, O.Ohashi, T.Sato, N.Yamaguchi, M.Song, K.Mitsuishi, et al. Effect of Mg on the Sintering of Al-Mg Alloy Powders by Pulse Electric-Current Sintering Process, Materials Transactions, 45 (2004) 904-909.
12. О.А.Герашенко, А.Н.Гордов, В.И.Лях, Б.И.Стадник, Н.А.Ярышев. Температурные измерения, Киев: Наукова думка, (1984) 413.
13. А.Н.Гордов, О.М.Жагулова, А.Г.Шанова. Основы температурных измерений, Москва, Энергоатомиздат, (1992) 304.
14. E.Bardal, G.Xie, O.Ohashi, M.Song, K.Furiya, T.Noda. Behavior of oxide film at the interface between particles in sintered Al powders by pulse electric-current sintering Corrosion and Protection, London, Springer Science, Metallurgical and Materials Transactions A, 34 (2003) 699-703.
15. E.Pert, Y.Carmel, A.Birnboim, T.Olorunloyemi, D.Gershon, J.Calame. Temperature Measurements during Microwave Processing, The Significance of Thermocouple Effects, Journal of the American Ceramic Society, 84 (2001) 1981-1986.
16. R.C.Lide. Handbook of Chemistry and Physics 79th Edition, A Ready-Reference Book of Chemical, Boca Raton, CRC Press, Boca Raton, (1998) 237-242.
17. G.A.Sweet, M.Brochu, R.L.Jr.Ilexemer, I.W.Donaldson, D.P.Bishop. Microstructure and mechanical properties of air atomized aluminum powder consolidated via spark plasma sintering, Materials Science and Engineering, A, 608 (2014) 273-282.
18. E.Hug, N.Bellido. Brittleness study of intermetallic (Cu/Al) layers in copper-clad aluminium thin wires, Materials Science and Engineering, A, 22-23 (2011) 7103-7106.
19. C.Y.Chen, W.S.Hwang. Effect of Annealing on the Interfacial Structure of Aluminum-Copper Joints, Materials Transactions, 48 (2007) 1938-1947.
20. M.Kubota. Properties of nano-structured pure Al produced by mechanical grinding and spark plasma sintering, Journal of Alloys and Compounds, 434-435 (2007) 294-297.

**FEATURES OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF POWDER ALUMINUM COMPOSITIONS  
SINTERED BY DIFFERENT METHODS**

**E.K.YAGUBOV**

The influence of the parameters of the heating mode on the structure and mechanical properties of the material during sintering of samples from powder materials based on Al containing 20% Cu and 15% Mn has been considered. The samples were sintered at 525°C by conventional, microwave and spark plasma methods. Based on the results obtained have been noted that the samples prepared by the spark plasma method had higher mechanical characteristics than the samples prepared by the other two methods. On the basis of microstructural studies performed using optical microscopy, it was concluded that due to the properties of high-speed heating of the spark plasma device, the microstructure of the sample obtained here was of a higher quality than others.

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ПОРОШКОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ,  
СПЕЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ**

**Э.К.ЯГУБОВ**

Рассмотрено влияние параметров режима нагрева на структуру и механические свойства материала при спекании образцов из порошковых материалов на основе Al, содержащих 20% Cu и 15% Mn. Образцы спекались при 525°C обычным, микроволновым и искровым плазменным методами. На основании микроструктурных исследований, выполненных методом оптической микроскопии, показано, что микроструктура образцов, полученных искровым плазменным спеканием, более мелкозерниста и однородна. На основании полученных результатов установлено, что образцы, приготовленные искровым плазменным методом, обладают более высокими механическими характеристиками.