

UDK 621.762.4.5.8

## **Cu-Al SİSTEMLİ DİSPERS MÖHKƏMLƏNƏN OVUNTU KOMPOZİSİYA MATERİALLARININ SIXLAŞMASININ BƏZİ QANUNAUYĞUNLUQLARI**

**Yaqubov E.K.**

Gəncə Dövlət Universiteti  
AZ2000, Gəncə şəh., H.Əliyev pr., 429  
E-mail: [emin.yagubov@mail.ru](mailto:emin.yagubov@mail.ru)

**Xülasə.** Cu-Al sistemli dispers möhkəmlənən ovuntu kompozisiya materiallarının sıxlaşma prosesinin tədqiqi aparılmış və sıxlaşma xarakterində bəzi müddəaların dəqiqləşdirilməsinə dair problemlər ümumilikdə nəzərdən keçirilmişdir. Ovuntu kompozisiya materiallarının sıxlaşma prosesi onların ilkin və sonrakı emalında mühüm texniki və texnoloji əhəmiyyətə malik olduğundan bu prosesin bir sıra parametrləri tərəfimizdən təyin edilərək sistemləşdirilmişdir. Dispers səpilmiş materiallarda sıxlaşmanın sıçrayışabənzər xarakterə malik olması müəyyən edilməklə orta sıxlıq kəmiyyətinin ( $\epsilon$ ) təzyiqdən ( $p$ ) asılılığı təyin olunmuşdur. Sıxlaşma prosesinin gedişində aparılan tədqiqatların nəticələri əsasında sıxlığın ölçülməsində səhvlərin paylanma histogramı qurulmuş, tipik sapma hesablanaraq alınmış paylanma uyğunluq kriteriyasının köməyi ilə normallığa yoxlanılmışdır. Sıxlaşmanın sıçrayışşəkilli xarakterinin eksperimental təsdiqi üçün strukturu dispers fazanın strukturuna yaxın olan üç qrup material götürülmüş, hər bir növ materialın sıxlaşma kinetikası orta sıxlıq kəmiyyəti ilə tətbiq olunan təzyiq arasındakı asılılıq şəklində qrafiki təsvir edilmişdir. Aparılan tədqiqatlar dispers ovuntu kompozisiya materiallarının təzyiqlə emalı zamanı baş verən sıxlaşmanın təyin edilməsi baxımından əhəmiyyətli rol oynaya bilər.

**Abstract.** Studies have been carried out to investigate the process of compaction of dispersed reinforcing materials of the Cu-Al system and general issues related to the refinement of some provisions in the nature of compaction have been considered. Since the process of compaction of composite materials is of great technical and technological importance in their primary and subsequent processing, we have established and systematized a number of parameters of this process. When determining the dependence of the average value of density ( $\epsilon$ ) on pressure ( $p$ ), it was found that the compaction process in dispersed materials is of an leap-shaped nature. Based on the results of the studies carried out during the compaction process, a histogram of the distribution of density measurement errors was constructed, and the distribution obtained by calculating the typical deviation was checked for normality using the compatibility criterion.

To experimentally confirm the leap-shaped nature of compaction, three groups of materials were taken, the structure of which is close to the structure of the dispersed phase, and a graph of the compaction kinetics of each type of material was plotted in the form of a relationship between the average density and the applied pressure. The conducted studies can play a significant role in determining the compaction that occurs during the pressure treatment of dispersion-strengthened composite materials.

**Аннотация.** Проведены исследования по изучению процесса уплотнения дисперсных упрочняющих материалов системы Cu-Al и рассмотрены общие вопросы связанные с уточнением некоторых положений в природе уплотнения. Поскольку процесс уплотнения композиционных материалов имеет важное техническое и технологическое значение при их первичной и последующей обработке, нами были установлены и систематизированы ряд параметров этого процесса. При определении зависимости средней величины плотности ( $\epsilon$ ) от давления ( $p$ ) было установлено, что процесс уплотнения в дисперсных материалах носит

*скачкообразный характер. По результатам исследований, проведенных в процессе уплотнения, была построена гистограмма распределения погрешностей измерения плотности, а распределение, полученное путем расчета типичного отклонения, проверено на нормальность с помощью критерия совместимости. Для экспериментального подтверждения скачкообразного характера уплотнения были взяты три группы материалов, структура которых близка к структуре дисперсной фазы, и построен график кинетики уплотнения каждого типа материала в виде зависимости между величиной средней плотности и приложенным давлением. Проведенные исследования могут сыграть значимую роль в определении уплотнения, происходящего при обработке давлением дисперсноупрочненных композиционных материалов.*

**Ключевые слова:** алюминий, медь, металлический порошок, уплотнение, матрица, дисперсный материал

**Açar sözlər:** alüminium, mis, metal ovuntusu, sıxlaşdırma, matrisa, dispers material

**Key words:** aluminum, copper, metal powder, compaction, matrix, particulate material

---

**Giriş.** Fiziki-mexaniki xassələrin orjinal vəhdətində yeni materialların alınması sahəsində ovuntu metallurgiyasının uğurları məlumdur. Lakin elə ovuntu sistemləri var ki, onların sıxlaşma qabiliyyəti hələ də ardıcıl şəkildə öyrənilməmişdir. Belə sistemlərdən biri xüsusi çəkirlərinə görə bir-birindən kəskin fərqlənən mis ( $\gamma = 8,96 \text{ q/sm}^3$ ) və alüminium ( $\gamma = 2,7 \text{ q/sm}^3$ ) əsasında yaradılan kompozisiya materiallarıdır. Belə metallardan dispers materialların presənmə prosesi xeyli yeni qanunauyğunluqların dəqiqləşdirilməsini tələb edir. Lakin nəzərə almaq lazımdır ki, ən müxtəlif növ dispers materialların sıxlaşma prosesləri həm də müəyyən mənada ümumi xarakterə malikdir. Bütün tədqiqatçılar qeyd edirlər ki, belə dispers materialların sıxlaşma prosesi bir neçə mərhələdən ibarətdir. Onların sıxlaşma diaqramları müxtəlif növ eksponensial əyrilər şəklində təqdim olunur. Lakin dispers materialların sıxlaşmasının xüsusi xarakteri ucbatından onların sıxlaşma prosesi təklif olunan model təsvirlərinə nisbətən daha mürəkkəb xarakter daşıyır. Ona görə də Cu-Al sistemi dispers möhkəmlənən materialların sıxlaşma prosesinin tədqiqi və sıxlaşma xarakterində bəzi müddəaların dəqiqləşdirilməsi elmi cəhətdən çox aktualdır.

Tədqiqatın məqsədi müxtəlif xarakterli dispers kompozisiya materiallarından hazırlanan məmulatların təzyiq altında formalaşdırılması zamanı baş verən deformasiyalar nəticəsində müşahidə olunan sıxlaşma prosesinin cərəyan etməsi mexanizminin mərhələli şəkildə araşdırılması, eləcə də prosesin gedişində müşahidə olunan mürəkkəb xarakterli sıçrayışların elmi cəhətdən əsaslandırılmasıdır. Qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün ən müxtəlif növ dispers materialların sıxlaşma prosesləri müqayisəli şəkildə tədqiq edilmişdir.

Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti dispers ovuntu kompozisiya materiallarının təzyiqlə emalı zamanı baş verən sıçrayış xarakterli sıxlaşmanın təyin edilməsinə dair müddəaların əsaslandırılmasından ibarətdir. Belə ki, təzyiqlə emal prosesində baş verən müxtəlif xarakterli deformasiya proseslərindən irəli gələn sıxlaşma kəmiyyətinin düzgün qiymətləndirilməsi qeyd olunan materiallardan müxtəlif təyinatlı məmulatların istehsalında mühüm əhəmiyyət kəsb edən bir məsələdir.

**Tədqiqatın metodikası.** Ovuntu kompozisiya materialları üzərində apardığımız tədqiqatlar zamanı bizim tərəfimizdən müəyyən edilmişdir ki, Cu-Al sistemi dispers materialların sıxlaşma prosesi fasiləsiz-diskret (sıçrayışlı) xarakterə malikdir. Bu tədqiqatımızın məlumatları müxtəlif sahədə dispers materialların sıxlaşmasında digər müəlliflərin eksperimentləri ilə də təsdiqlənir [1-3]. Lakin bu müəlliflər nəticələrin aproksimasiyasında sıxlaşma əyrisini düzləndiriblər və ya hadisəni təsadüfi hesab edərək izah etməmişlər. Bu da göstərilən işlərdə verilmiş diaqram formalarında və sıxlaşma əyrilərində öz əksini tapmışdır (şəkil 1-3). Məmulatların preslənməsində sıxlaşma prosesinin sıçrayışabənzər xarakteri özünü aydın şəkildə biruzə verir. Bu onunla izah olunur ki, təzyiqin müxtəlif zonalarda qeyri-bərabər paylanması ucbatından baş verən deformasiya prosesləri müxtəlif xarakterə malik olur. Bu deformasiyalar məmulatın ümumi həcmində cəmlənir və sıxlaşmanın ümumi xarakterini müəyyənləşdirir.

Dispers səpilmiş materiallarda sıxlaşmanın sıçrayışabənzər xarakteri müvafiq eksperimentlərin həyata keçirilməsindən əldə olunan nəticələrin emalında dəqiq aşkarlanır. Prosesin tədqiqi üçün sadə formalı (düzbucaqlı prizmalar və ya silindirlər) içi boşluqlu pres-qəliblər tətbiq edirik və onların ölçülərini elə seçirik ki, tədqiq etdiyimiz nümunənin sıxlaşdırılmasında aşağıdakı şərt ödənsin:

$$\frac{P_{xyz}}{P_{or}} \cong 1, \quad (1)$$

burada,  $P_{xyz}$  - tədqiq olunan nümunənin istənilən nöqtəsində sıxlaşdırma qüvvəsi;  $P_{or}$  – sıxlaşdırma qüvvəsinin orta qiymətidir.

Bu cür seçim elementar şəkildə dispers səpilmiş kompozisiyanın həcmi hesablamaya imkan verir və əsasən müxtəlif növ deformasiyaların üst-üstə düşməsinə istisna edir. Bu halda sistemin verilmiş parametrlərin təsirinə olan reaksiyası və yaxud asılı dəyişən kimi nümunənin sıxlığı (xüsusi çəkisi) qəbul olunur. [4]-cü işin müəllifinin təcrübəsinə əsaslanaraq tədqiq olunan həcmə təsir edən ilkin amillər kimi aşağıdakıları qeyd etmək mümkündür: kompozisiyanın komponentlərinin ilkin sıxlığı (səpilmə sıxlığı) və sıxlaşdırılan nümunənin ümumi nisbi deformasiyası. Sıxlaşma prosesinə təsir edən bütün digər amillər (yük, zaman, hissəciklərin forması, ölçüləri və s.) ilkin amillərin vasitəsilə dolaysı təsir edən kimi öyrənilir.

Dispers səpilmiş materialların sıxlaşma prosesinin xarakterini digər müəlliflərin [5] tədqiqatlarına əsasən müəyyən etdiyimizə görə əlavə eksperimental sınaqların tətbiqinə ehtiyac olmamışdır. Belə ki, bizim tərəfimizdən eksperimentlərin aparılmasının ənənəvi ardıcıl planı tətbiq edilməklə orta sıxlıq kəmiyyətinin (e) təzyiqdən (p) asıllığı tədqiq olunmuşdur. Sıxlaşma prosesinin sıçrayışabənzər xarakterini aydınlaşdırmaq üçün sıxlığın ölçülməsi intervalı sıçrayışın kəmiyyətindən on dəfə kiçik götürülmüşdür. Məlumdur ki, struktur deformasiyası nəticəsində yaranmış sıxlığın kəmiyyət göstəricisi tam ədədlərdir. Materialın hissəciklərinin məsələlərə axmasına səbəb olan plastik deformasiya halında isə bu göstərici vergüldən sonra birinci rəqəmdir. Ona görə struktur deformasiyasının üstünlük təşkil etdiyi mərhələ ilə plastiki deformasiya mərhələsi arasındakı sıçrayış vergüldən sonra bir rəqəmə malik olan kəmiyyətlə ifadə olunur. Aydındır ki, təzyiqin, nümunənin ölçülərinin və kütləsinin ölçülmə dəqiqliyi vergüldən sonra ikinci işarəyə qədər təmin olunmalıdır.

Yuxarıda qeyd edilənləri nəzərə alaraq avadanlıq və ölçü alətini seçməklə eksperimentin təsadüfi səhvlərinin paylanması qanunauyğunluğunu təyin etdik. Dispers fazanın materialının növü paylanma qanunauyğunluğuna təsir etmir [6]. Ona görə də tədqiqat üçün kompazisiya materialının tərkibində olan istənilən komponenti, məsələn mis ovuntusunu (IIMC-1) seçirik. Bunun üçün sıxlıq kəmiyyəti - tezlik histqramını qururuq (şəkil 1), tipik sapmanı hesablayırıq və alınmış paylanmanı  $\chi^2$  kriteriyasının köməyi ilə normallığa yoxlayırıq. Bizim tədqiqatlarda prespəstahlın ölçmələrinin təsadüfi səhvlərinin paylanması normallığı haqqında hipoteza təsdiqlənir ( $\chi^2=2,36 < [\chi^2]=11,07$ ) [6].  $\chi^2$  uyğunluq kriteriyasının hesablanması cədvəl 1-də verilmişdir.

**Cədvəl 1**

**Uyğunluq kriteriyasının hesablanması**

| İntervallar       | $m_i$    | $t_i$     | $\phi(t_i)$ | $p_i$ | $m_i - np_i$ | $(m_i - np_i)^2 / np_i$ |
|-------------------|----------|-----------|-------------|-------|--------------|-------------------------|
| $(-\infty; 4,86)$ | 1        | -1,667    | -0,4525     | 0,04  | -0,325       | 0,08                    |
| $(4,86; 4,87)$    | 4        | -1,000    | -0,3413     | 0,10  | 0,664        | 0,13                    |
| $(4,87; 4,88)$    | 5        | -0,333    | -0,1293     | 0,20  | -1,36        | 0,30                    |
| $(4,88; 4,89)$    | 9        | 0,333     | 0,1293      | 0,25  | 1,242        | 0,20                    |
| $(4,89; 4,90)$    | 6        | 1,000     | 0,3413      | 0,20  | -0,36        | 0,02                    |
| $(4,90; 4,91)$    | 3        | 1,667     | 0,4525      | 0,10  | -0,336       | 0,03                    |
| $(4,91; 4,92)$    | 1        | 2,333     | 0,4898      | 0,02  | -0,0119      | 0,00                    |
| $(4,92; \infty)$  | 1        | $+\infty$ | 0,5000      | 0,10  | -2,306       | 1,6                     |
| Cəmlər:           | $n = 30$ | -         | -           | 1,00  | -            | $2,36 - \chi^2$         |

Orta kvadratik səhv (tipik sapma) məlum olduğuna görə  $\sigma = 0,015$  (şəkil 1) həqiqi qiymət aşağıdakı şəkil alır [5]:

$m_i$ -i intervala düşən ölçmələrin nəticələrinin sayıdır.

$$|a - \bar{x}| < t(p) \sigma / \sqrt{n}, \quad (2)$$

burada  $a$ –təyin etdiyimiz kəmiyyətin həqiqi qiyməti;  $\bar{x}$  – orta cəbri qiymət;  $t(p) = 1,96$  – ehtimal inteqralı ilə əlaqəli kəmiyyətdir, qiymətləndirmənin etibarlılığı üçün cədvəldən  $p = 0,95$  seçilmişdir [6];  $n$ –seçmə ilə təyin olunan ölçmələrin sayıdır. Son olaraq həqiqi qiymət:

$$|a - \bar{x}| = E \leq 1,69 \cdot 0,015 / \sqrt{4} = 0,0147 \quad (3)$$

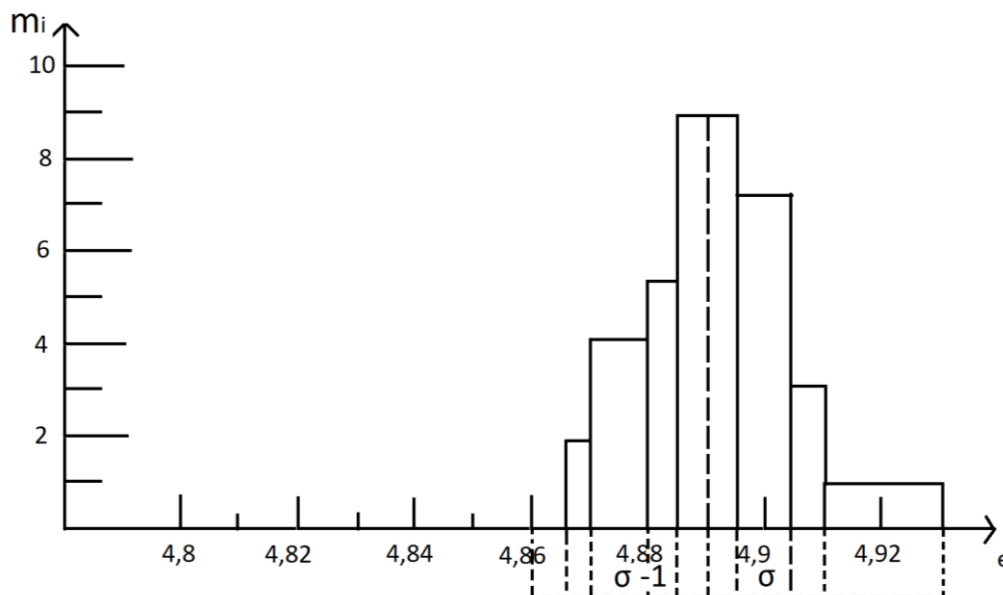
Həqiqi intervalın sərhəddi isə

$$\bar{x} - 0,0147 < a < \bar{x} + 0,0147 \quad (4)$$

olur ki, bu halda eksperimentin nisbi xətası [7]

$$\zeta = \frac{2}{x} \cdot 100\% = \frac{0,0147 \cdot 100\%}{4,885} \approx 0,3\% \quad (5)$$

təşkil edir. Burada,  $\chi=4.885$  (şəkil 1).



**Şəkil 1.** Sıxlığın ölçülməsində səhvlərin paylanma histqramı: material PIMC-1, çəki 50q,  $s = 530\text{mm}^2$  ;  $p_2 = 108\text{N}$ .

Faizlərlə variasiya əmsalının orta qiyməti [7]:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100\% = \frac{0,15 \cdot 100\%}{4,885} = 0,3 \quad (6)$$

Aydındır ki, verilən qiymətə (seçilmiş etibarlılıq  $p = 0,95$  olanda 5% xəyata yol verilir) nisbətən eksperimentin dəqiqliyi 10 dəfə yuxarıdır [5].

Eksperimental nöqtələr arasında intervalların seçimində aşağıdakı prinsiplərdən çıxış etmək lazımdır: səlissə ayrılər 4-5 nöqtədən az olmamaqla qurulur; sınma nöqtələri üç xarakterik nöqtədən az olmamaqla yoxlanmalıdır.

Eksperimental məlumatlar üzrə qrafiklərin qurulması Y.M. Blanterin işində [8] ifadə olunan bir sıra qaydalar əsasında aparılır. Sıxlaşmanın sıçrayışşəkilli xarakterinin eksperimental təsdiqi üçün strukturu dispers fazanın strukturuna yaxın olan üç qrup material götürülmüşdür: plastik-mis ovuntusu PIMC-1 və alüminium ovuntusu; orta sərtlikli ПЖ2М3 markalı dəmir ovuntusu və 12Х18Н10Т markalı paslanmayan polad ovuntusu.

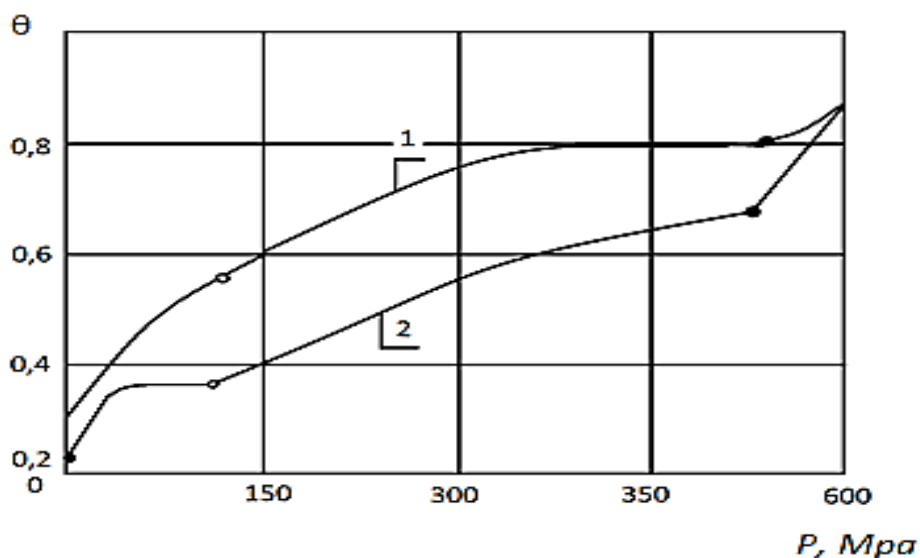
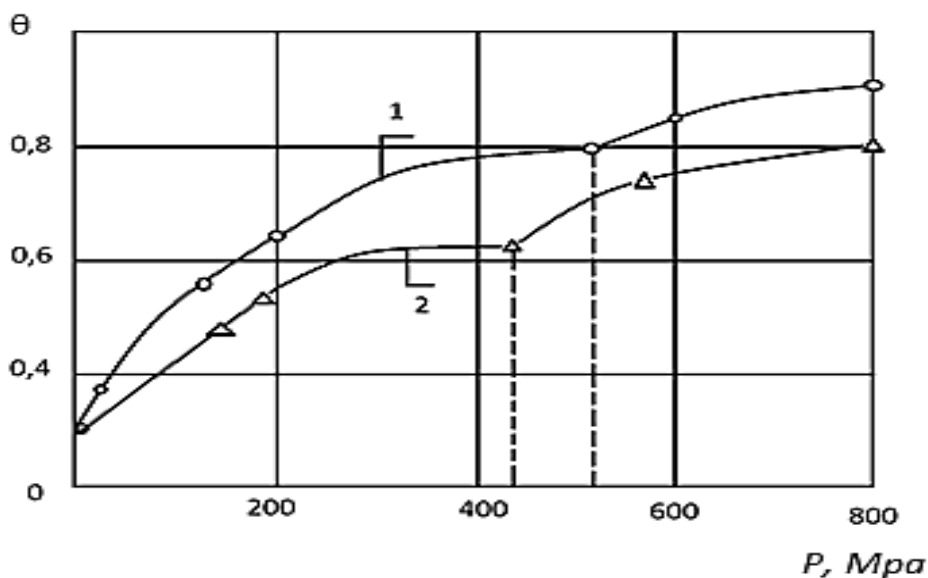
Sıxlaşma prosesinin tədqiqində alınmış eksperimental nəticələr və digər müəlliflərin [1,2,9,10] məlumatlarının təhlili dispers səpilmiş materialların sıxlaşmasının aşağıda təsvir olunan ümumi

qanunauyğunluğunu təsdiq edir (şəkil 2-4 və cədvəl 2). Bütün hallarda sıxlaşma prosesi pres-qəlibə tökülmüş materialdan yaranan cəsədin elastiki deformasiyası hesabına başlayır.

Cədvəl 2

Eksperimentlərin nəticələri

| Dispers material | Keçidlər    |              |             |              |             |              |
|------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                  | I           |              | II          |              | III         |              |
|                  | Təzyiq, MPa | Nisbi sıxlıq | Təzyiq, MPa | Nisbi sıxlıq | Təzyiq, MPa | Nisbi sıxlıq |
| Mis              | 0           | 0,22         | 100         | 0,5          | 550         | 0,82         |
| Alüminium        | 0           | 0,18         | 80          | 0,6          | 550         | 0,65         |
| Dəmir            | 0           | 0,3          | 425         | 0,62         | -           | -            |
| Polad            | 0           | 0,3          | 525         | 0,76         | -           | -            |

Şəkil 2. Metal ovuntularının sıxlaşma kinetikası ( $P, \text{MPa}$ ): 1-mis ovuntusu; 2-alüminium ovuntusuŞəkil 3. Metal ovuntularının sıxlaşma kinetikası ( $P, \text{MPa}$ ): 1-polad ovuntusu; 2-dəmir ovuntusu

Şəkil 2 və 3-dən göründüyü kimi, presləmə təzyiqinin qəbul etdiyimiz diapazonunda mis və alüminium ovuntularının bir vəziyyətdən digərinə keçidi iki dəfə 100 və 550 MPa-a yaxın təzyiqlərdə müşahidə olunur. Birinci sıçrayışdan sonra materialın vəziyyəti rabitələnmiş briketin yaranması ilə səciyyələnmişdir. Daha yüksək möhkəmlik həddinə malik olan dəmir və polad ovuntuları üçün isə birinci keçid 400Mpa-dan yuxarı təzyiqdə baş vermişdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, müəyyən edilmiş bu qanunauyğunluq yalnız dispres materiallar üçün spesifik deyil. Monolit materialların da hər bir vəziyyətdən digərinə keçidi sıxlığın dəyişməsinin sıçrayışları ilə müşayiət olunur [11]. Nəticə etibarilə deyə bilərik ki, istənilən materialın sıxlaşma prosesləri ümumi qanunauyğunluqlara tabe olur və fasiləsiz-diskret xarakter daşıyır.

**Nəticə.** 1. Cu-Al sistemi dispres materialların sıxlaşmasının bəzi qanunauyğunluqları dəqiqləşdirilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, dispres səpilmiş materialların sıxlaşma prosesləri monoloit materialların ümumi qanunauyğunluqlarına tabe olmaqla yanaşı fasiləsiz-diskret (sıçrayışabənzər) xarakter daşıyır. Sıxlığın ölçülməsində səthlərin paylanma histoqramını qurmaq olur. Səthlərin paylanma histoqramı göstərir ki, eksperimentlərin dəqiqiliyi verilən qiymətdən 10 dəfə yuxarıdır.

1. Metal ovuntularının sıxlaşma kinetikasi tədqiq olunmuşdur. Müqayisə üçün 4 ovuntu – mis, alüminium, polad və dəmir ovuntularının sıxlaşma kinetikasi öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bütün baxılan materialların ovuntuları üçün sıxlaşma pres-qəlibə tökülmüş ovuntunun yaratdığı cəsədin elastik deformasiyasından başlayır. Sonrakı təzyiq altında sıxlaşdırmada cəsədin hissəciklərinin yerdəyişməsi onun möhkəmlik həddini üstələyən yük altında baş verir.

2. Sıxlaşdırmada Cu və Al ovuntularının bir vəziyyətdən digərinə keçidi 2 dəfə-100 və 550 Mpa yaxın təzyiqlərdə baş verir. Birinci sıçrayışdan sonra materialın vəziyyəti briketin yaranması ilə müşayiət olunur. Daha sərt materiallarda (polad və dəmir) halın dəyişməsi daha yuxarı təzyiqdə, yəni 400 Mpa-da baş verir.

3. Məsələli Cu-Al kompozisiyasının plastiklik kriteriyası tədqiq olunmuşdur. Məsələli materialın deformasiyasında müxtəlif alimlərin tərtib etdiyi sıxlaşma modelləri və plastiklik kriteriyalarının təhlili aparılmışdır. Baxılan plastiklik kriteriyalarının hansının məsələli plastik kompozisiyaların (Cu-Al sistemində) real davranışına daha çox uyğun gəlməsi məsləsinin real cavabının əlavə aparılan eksperiment nəticəsində mümkün olması dəqiqləşdirilmişdir.

4. Aparılmış nəzəri və eksperimental tədqiqatlar Cu-Al sistemli yeni tip ovuntu kompozitlərinin istehsal texnologiyalarının iqtisadi cəhətdən daha səmərəli işlənməsinə imkan vermişdir. İşlənmiş kompozisiya materialları konstruksiya, antifriksion, elektrotexniki, korroziyaya davamlı materiallar kimi müxtəlif sənaye sahələri üçün tövsiyə olunurlar. Bu kompozitlərin tətbiqi konstruksiyaların metal tutumunu xeyli azaltmağa, onların iş qabiliyyətini və xüsusən etibarlılığını əhəmiyyətli artırmağa imkan verir.

### **Ədəbiyyat**

1. Paramanand R., Ramakrishnan P. Effect of powder characteristics on compact-ion parameters and ejection pressure of compacts // Ibid.–2010–23, № 3–p. 120-125.
2. James P.J. The green strength of die pressed zinc powder // Ibid.–2017–20. N 1. –p.21-25.
3. Пластическая деформация при прессовании порошков пластичных металлов/ И.Ф. Мартынова, В.В.Скорород, С.М.Солонин // – Москва: Порошковая металлургия, 2004, № 3/4 , с. 40 – 46.
4. Зайков М.А., Некоторые особенности уплотнения дисперсных сыпучих материалов / М.А.Зайков, Ю.М.Шуляков, Ю.В.Трухин //Известия. Сев.Кавк.Научн. центра высш. школы. Серия технических наук, 2004, №4, с. 66- 68.
5. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Москва: «Мир», 2002, 382 с.
6. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное пособие / Москва: «Наука», 2011, 192 с.

7. Fischmeister H.F., Arzt E. Densification of powders by particle deformation// Ibid.–2013–26 N 2. –p.82-88.
8. Блантер М.Е. методика исследования металлов и обработка опытных данных / М.Е.Блантер. – Москва: Металлургия, 1982, 444 с.
9. Moon I.H., Kim K.H. Relationship between compacting pressure green density and green strength of copper powder compact // Powd. Met –2014–27. N 2– P. 80-84
10. Мамедов А.Т. Разработка технологии прессования изделий повышенной плотности с применением методов дренажирования // Порошковая металлургия, 1994, (Сообщение 1) № 5/6. С. 34 – 39. (Сообщение 2) №7/8, с. 19 – 26. (Сообщение 3) №9/10 с.4 – 10. (Сообщение 4) № 11/12, с. 1 – 6.
11. Карев М. А. Металлы под высоким давлением / Москва: «Знание», 2007, 48 с.

*Мəqalə qəbul olunub: 10.04.23*  
*Təvsiyə edib: prof. İsmayilov N.Ş.*