

**MATERIALLAR**

UOT: 621.891: 622.67

**МЕХАНОЛЕГИРЛӘНМİŞ КОМПОЗИТЛӘРİN АЛИНМАСИ ВӘ ҚУРУ МҮҺИТДӘ  
ФРИКСИОН-ҮЕҮЙЛМӘ ХАРАКТЕРИСТИКАСИНІН ЕКСПЕРИМЕНТАЛ ТӘДҚИҚИ**

**ӘЛІҮЕВ Ә.М., ҮСУБОВ Ф.Ф**

(Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti)

E-mail: fikratyusub@gmail.com

**ПОЛУЧЕНИЕ МЕХАНОЛЕГИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФРИКЦИОННОГО ИЗНОСА В СУХОЙ СРЕДЕ**

**АЛИЕВ А.М., ЮСУБОВ Ф.Ф.**

(Азербайджанский Государственный Университет

Нефти и Промышленности)

**OBTAINING MECHANOALLOYED COMPOSITES AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION  
OF FRICTIONAL WEAR CHARACTERISTICS IN DRY FRICTION CONDITIONS**

**ALIYEV A.M., YUSUBOV F.F**

(Azerbaijan State Oil and Industry University)

**Xülasə:** Bu məqalə ovuntu metallurgiya metodları vasitəsilə ekoloji təmiz kompozitlərin alınması və tribotexniki xassələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Materialların hazırlanmasında xırdalanma, qarışdırma, presləmə və sintez kimi texnoloji ardıcılıqdan istifadə edilmişdir. Triboloji sınaqlar quru mühitdə MMW-1 vertikal bloka malik sürtünmə qurğusunda “barmaqıq-disk” mexanizmi üzrə aparılmışdır. Əksicim olaraq polad materialından (44-46HRC) hazırlanmış diskdən istifadə edilmişir. Tədqiq edilən nümunələrin müxtəlif yük altında triboloji xarakteristikasında baş verən dəyişikliyi müəyyən edə bilmək üçün sürtünmə yolu və sürəti sabit saxlanılmışdır.

**Açar sözlər:** mexaniki legirləmə, ovuntu metallurgiyası, xırdalanma, qarışdırma, kompozitlər, sürtünmə və yeyilmə

**Аннотация:** Данная статья посвящена приготовлению и изучению триботехнических свойств экологически чистых композитов по методу порошковой металлургии. При изготовлении материалов использовались такие технологические этапы, как: измельчение, смешивание, прессование и синтез. Трибологические испытания проводились в сухой среде с помощью механизма «палец-диск» на машина трения MMW-1 с вертикальным блоком. Как контртело использовался стальной диск (44-46HRC). Для определения изменения трибологических характеристик в исследованных образцах путь трения и скорость при различной нагрузке оставался неизменным.

**Ключевые слова:** механическое легирование, измельчение, смешивания, порошковая металлургия, композиты, трение и износ

**Abstract:** This article is devoted to the preparation of environmentally friendly composites by powder metallurgy and the study of tribological properties. In the development of materials used technologically stages like: grinding, mixing, pressing and synthesis. Tribological tests were carried out in MMW-1 friction machine with vertical block using the “pin-on-disk” mechanism in dry conditions. As a counterbody, steel disc (44-46HRC) was used. To determine changes in the tribological characteristics in the studied samples at different loads, sliding distance and velocity were left unchanged.

**Key words:** mechanical alloying, grinding, mixing, powder metallurgy, composites, friction and wear

**Məsələnin aktuallığı:** Sürtünmə prosesində müxtəlif fiziki-mexaniki təsirlər nəticəsində təmas materiallarının struktur və səth qatının keyfiyyətinin dəyişməsi friksion xassələrin kəskin şəkildə aşağı düşməsinə gətirib çıxarır. Həmçinin belə sistemlərdə termomexaniki təsirlərdən təmas səthlərinin yüksək temperaturadək qızması material strukturunda dəyişikliyə yol açaraq yeyilməyə davamlığın azalmasına səbəb olur [1]. Əvvəllər sadalanan nöqsanlar asbofriksion materialların tətbiqi ilə aradan qaldırılırdı, hazırda isə aparılan tədqiqatlar ekoloji təmiz materialların alınması istiqamətində inkişaf etdirilməkdədir.

**Tədqiqatın məqsədi:** Araşdırmamızda əsas istiqamət olaraq tribotexniki sistemlər üçün yüksək rejimlərdə istismar olunan ekolojoloji cəhətdən təmiz və davamlı friksion materialların hazırlanması götürülmüşdür. Bu məqsədlə ovuntu metallurgiya metodları vasitəsilə cəəd. 1-də verilən komponentlər əsasında nümunələr hazırlanmışdır. Kompozitlərin hazırlanmasında mexaniki legirləmə (ovuntuların xırdalanması və mexaniki olaraq mütənasib qarışdırılması), ikitərəfli sxem üzrə soyuq presləmə (üç mərhələli formada) və bərkidilmə (sintez) kimi texnoloji mərhələlərdən istifadə edilmişdir.

**Materiallar və avadanlıqlar:** Material seçimində barit, fenolformaldehid, vollastonit, aluminium oksid, qalay, qurğuşun, silisium dioksid, mis-qrafit, və müxtəlif tipli əlavə-modifikatorlardan istifadə edilmişdir (cəđ. 1).

Cədvəl 1.

Nümunələrin hazırlanmasında istifadə edilən xam materiallar haqqında məlumatlar

Komponentlər	Kütlə %			Məlumatlar	Hissəciklərin ilkin ölçüsü (~mkm)
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>		
Barit	31	25	17	Щ (ГОСТ 3158-75)	150
Fenolformaldehid	25	25	25	Modifikasiya olunmuş	550
Vollastonit	5	5	5	Ca(OH) <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	250
Aluminium oksid	5	7	7	N612	150
Qalay	10	10	10	Ərinti halında	
Qurğuşun	10	10	10	Ərinti halında (99,4%)	
Silisium dioksid	5	7	7		170
Mis-qrafit	7	9	17	80%Cu20%C	120
Əlavələr (modifikatorlar)	2	2	2	MoS <sub>2</sub> , MgO və tunc qırıntıları	

Barit və fenolformaldehid hazırladığımız kompozisiyalarda əsas kütlə payına malikdirlər. Barit hazırladığımız tərkibdə doludurcu qismində istifadə edilmişdir. Kompozisiya tərkibini müəyyənləşdirən komponentlər arasında ərimə temperaturları bir-birindən kəskin fərqlənən (~200-2072°C) elementlər mövcuddur. Təyin edilmiş bərkimə temperaturu bu səbəbdən aşağı dərəcədə (190°C) götürülsə də, fenolformaldehid tikici (əlaqələndirici) rolunu oynayaraq materialların inteqrasiyasını təmin etmişdir. Lakin çox kövrək olması və insan orqanizmi üçün zərərli təsirləri olduğundan [2] tərkib seçimində tərəfimizdən modifikasiya edilmiş fenol-formaldehiddən istifadə edilmişdir [3]. Tərkibdə digər yer tutan materiallar qalay və qurğuşundur. Bu materialların tərkibə daxil edilməsinin əsas səbəbi aşağı ərimə temperaturuna malik olan metal elementlərinin boşluğunu doldurmaq olmuşdur. Kompozisiya qatılan digər vacib element olan mis-qrafit hissəcikləri, xam qrafitdən fərqli olaraq sürüşmə müqavimətini artırdığı üçün material seçimində istifadə edilmişdir [4]. Struktur xassələrini yaxşılaşdırmaq üçün az miqdarda MoS<sub>2</sub>, MgO və tuncdan istifadə edilmişdir. Kiçik hissəciklər formasında doğranmış tunc qırıntılarının tərkibə əlavə olunmasında məqsəd istiliyə qarşı davamlığın artırılması olmuşdur. Həmçinin istidən yumşalmış tunc hissəciklərinin səpələnmiş barit və qatran komponentləri ilə bərk sürtgü xüsusiyyətlərini təmin edən bilən friksion qat yaratdığı məlumdur [5].

Xırdalanma vibrasiyalı MJI-1 markalı laboratoriya dəyirmanında aparılmışdır. Xırdalanma silindir formalı paslanmayan metal materialdan hazırlanmış konteynerin (h=50mm, d=65mm) içərisində diametri 6 və 12 mm olan polad kürələrlə həyata keçirilmişdir. Kürələrin ovuntunlarla olan kütləsi 10:1 nisbətində götürülmüşdür. Xırdalanma prosesi müxtəlif mərhələlərlə yerinə yetirilmişdir. Müddətindən asılı olmaqla aparılmış xırdalanma prosesin nəticələri cəđ. 2-də qeyd olunmuşdur.

Cədvəl 2.

Xırdalanma rejimləri və təqribi qiymətlər

Kürəciklərin diametri, mm	Kürəcikləri sayı	Xırdalanma			
		İlkin ölçü (~mkm)	Sonrakı ölçü (~mkm)		
			2 saat	6 saat	12 saat
6	10	250	240	240	230
6	5	250	250	250	240
12	10	250	220	180	100
12	5	250	230	230	230

Müxtəlif hissəcikləri birlikdə xırdalamaq effektiv olmadığı üçün komponentlər (cəđ.1-də elementlərin ilkin ölçüsü verilmişdir) əvvəlcə ayrı-ayrılıqda xırdalandıqdan sonra bütün materiallar konteynerə tökülərək birlikdə yenidən xırdalanmaya sövq edilmişdir (cəđ.2). Hissəciklərin ümumi ölçüsü ~100 mkm olduğdan sonra mexaniki qatışdırma yerinə yetirilmişdir. Ən səmərəli nəticə 12 saat müddətində diametri 12 mm olan (10 ədəd) kürəciklərlə aparılmış xırdalanma olmuşdur.

Mexaniki legirləmənin əsas xüsusiyyətlərindən biri yüksək enerjidir: xırdalayıcı və ya qatışdırıcı qurğunun hərəkəti hesabına yaranan enerji ovuntu elementlərinə ötürülür. Adi kürəcikli dəyirmanlarda

vibrasiya hesabına bu enerjini almaq mümkün olmadığından planetar quruluşlu dəyirmanlardan istifadə olunur [6]. Nümunələrin xırdalanmasında istifadə olunmuş dəyirman planetar deyil, stasionar quruluşa malik olduğu üçün ovuntuların əlavə olaraq mexaniki qatışdırıcı qurğuda yenidən qarışdırılmasına ehtiyac yaranmışdır. Sadə quruluşuna və effektivliyinə görə tərəfimizdən hazırlanmış barabanı olan qatışdırma qurğusundan istifadə edilmişdir. Ölçüləri  $d=50$  mm,  $l=90$  mm olan silindir formalı baraban tezliyi 2700 dövr/dəq olan elektrik mühərikinə birləşdirilərək fırlanma hərəkəti alınmışdır. Baraban materialı olaraq, asan təmizlənməsi və kimyəvi təsirlərə qarşı təhlükəsiz olması səbəbilə silindirik plastik qab seçilmişdir. Dövrələrin sayını tənzimləmək üçün laboratoriya transformatorundan istifadə edilmişdir. Aparılmış eksperimentlərdən 16 saat müddətində 60 dövr/dəq. sürətlə aparılan qatışdırma daha effektiv nəticə vermişdir.

Kompozisiya müxtəlif elementlərdən ibarət olduğundan nəmliyi aradan qaldırmaq üçün əvvəlcə qarışdırılmış ovuntular sobada ("Snol" markalı)  $70^{\circ}\text{C}$  temperaturda 1 saat saxlanılmaqla qurudulmuş, presləmə əməliyyatları hidravliki presdə ikitərəfli sxem üzrə hazırlanmış pres-formada otaq temperaturunda yerinə yetirilmişdir. Sürtünməni azaltmaq üçün pres-formanın divarları sink stearatla yağlanmışdır. Preslənmə 3 mərhələ üzrə yerinə yetirilmişdir:

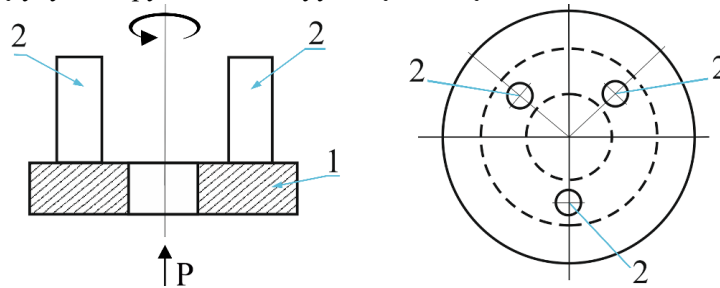
1. İlk mərhələdə əvvəlcədən qızdırılmış məmulatlar 10MPa təzyiq altında preslənmiş;
2. 2-ci mərhələdə isə yenidən  $100^{\circ}\text{C}$ -dək qızdırılan məmulatlar 20MPa təzyiq altında preslənmiş;
3. Növbəti mərhələdə isə  $100^{\circ}\text{C}$ -dək qızdırılan məmulatlar 30MPa təzyiq altında preslənmişdir

Preslənmə rejimində sıxılan nümunələrə təzyiğin birbaşa deyil, tədricən artırılaraq verilmə qaydası gözlənilmişdir. Komponentlərin plastikliyini və axma qabiliyyətini artırmaq, məmulun preslənmə və formalaşma xüsusiyyətini yaxşılaşdırmaq məqsədilə alınmış bircins qatışıqlar hər preslənmə mərhələsindən öncə sobada  $100^{\circ}\text{C}$ -də 20 dəq. müddətində qızdırılmışdır. Eyni zamanda presləmənin mərhələlə aparılması fenol və formaldehidin polikondensləşməsi prosesində su buxar və digər qazlar daxili zonalardan çıxma bilməsinə şərait yaratmışdır.

Bərkimə prosesi  $190^{\circ}\text{C}$  temperaturda mufel sobasında 5 saat müddətində yerinə yetirilmişdir. Daha sonra bişirilmiş nümunələr otaq temperaturunda soyudulmuşdur.

Sürtünmə sınaqlarının aparılması üçün hər alınmış kompozitdən  $h=12,8$ mm,  $d=4,7$  mm ölçüdə 3 ədəd silindirik formalı nümunələr kəsilib hazırlanmış, hamar və eynicinsli səth almaq üçün nümunələrin səthi 100, 1000 və 2000 ölçülü SiC kağızı ilə paradaqlama dəzgahında cilalanmışdır. Cilanma həm də diskin üzərində perpendikulyar formada yerləşdirilmiş nümunələrin səthinin diskin səthi ilə tam görüşməsinə təmin etmək üçün istifadə edilmişdir.

Triboloji sınaqlar şaquli yükvermə blokuna malik universal MMW-1 qurğusunda "barmaqciq-disk" mexanizmi üzrə aparılmışdır (Şək.1). Qurğunun iş prinsipi tərpnəmz disk üzərində eyni vaxtda 3 ədəd silindirik nümunənin sürtünməsinə əsaslanır. Sürtünmə əməliyyatı şək.1-də təqdim olunan sxemə əsasən qurğunun aşağı hissəsində olan mühərrikin hərəkətiylə diskə verilən yüklə, yuxarı hissədə saat əqrəbi istiqamətində fırlanan tərtibata yerləşdirilmiş nümunələrlə təması vasitəsilə həyata keçirilir. Tədqiqatlarda xarici diametri 31.6 mm, daxili diametri 16 mm qalınlığı isə 7,8mm polad disk (səth hamarlığı:  $0.2\mu\text{m}$ ) əksisim olaraq istifadə edilmişdir. Hər sınaqdan öncə yağlanmanı qarşısını almaq üçün disk və nümunələrin səthi etil spirti ilə təmizlənməmişdir. Eksperimentlərdən əvvəl və sonra nümunələrin kütləsi 0,1mq dəqiqlikli elektron tərəzidə ölçülmüş yeyilmə qiymətləri müəyyənləşdirilmişdir.



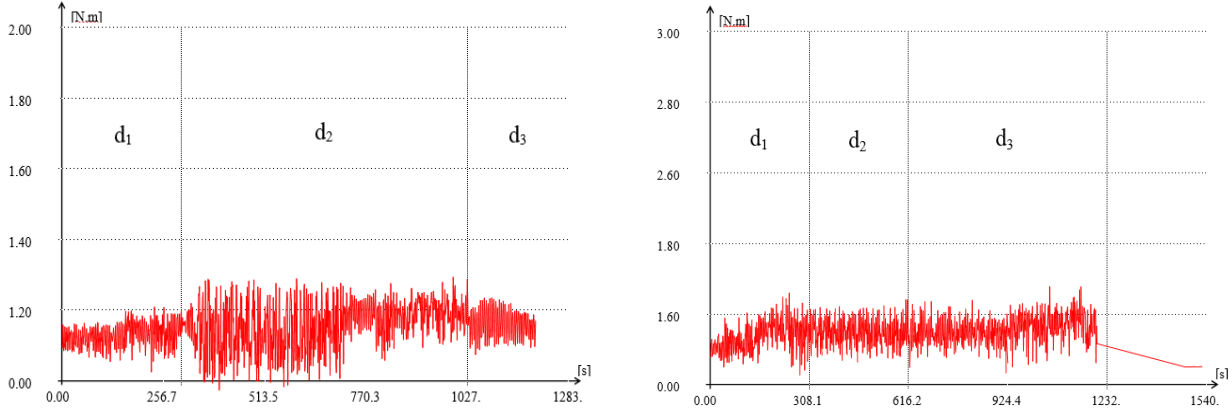
Şək.1. Nümunə ilə diskin yerləşmə və təmas sxemləri: 1 – disk; 2 – nümunə

**Alınmış nəticələrin müzakirəsi:** Tədqiq edilən nümunələrin müxtəlif yük altında triboloji xarakteristikasında baş verə biləcək dəyişikliyi müəyyən edə bilmək üçün sürtünmə yolu və sürəti sabit saxlanılmışdır (müvafiq olaraq, 254,4m və 1069 dövr/dəq). Cihazdan alınmış rəqəmlər əsasında sürtünmə əmsalı qiymətlərinin müxtəlif yüklərdən asılı olaraq maksimum, minimum və orta qiymətləri cə. 3-də qeyd olunmuşdur. Yeyilmə intensivliyinin hesablanmasında isə aşağıdakı düsturdan istifadə edilmişdir:

$$J = \frac{m_1 - m_2}{\tau}$$

Burada,  $m_1$  və  $m_2$  müvafiq olaraq yeyilmədən əvvəl və sonra olan kütlə (qramla),  $\tau$ - eksperimentin müddəti (saatla),  $J$ - isə yeyilmə intensivliyidir (q/saat)

Ən yüksək sürtünmə əmsalı qiymətləri  $K_2$  nümunəsində qeydə alınmışdır. Nəticələrin təhlili göstərmişdir ki,  $K_2$  nümunəsi üçün 300N yük altında sürtünmə ən zəif olduğu halda, daha yuxarı yükdə (500N) bu göstərici ən yüksək olmuşdur.



a) b)  
Şək.2. a)  $K_1$  (300N) və b)  $K_2$  (500N) nümunələrinin sürtünmə məsafəsindən asılı olaraq sürtünmə fəaliyyətinin dəyişməsi

Bu halı  $K_2$  materialının strukturu ilə izah etmək olar: kontakt səhrlərində yük və sürtünmə məsafəsindən asılı olaraq temperaturun dəyişməsi onun strukturunda dəyişikliyə səbəb olaraq cütün friksion xarakteristikasına ciddi təsir göstərir.  $K_2$  nümunəsində də müşahidə olunan bu dəyişiklik, baxılan materialın müəyyən temperatur həddi daxilində friksion xassələrinin azaldığını göstərir. Şək 2b-də  $K_2$  materialının sürtünmə fəaliyyətindən asılı olaraq triboloji xarakteristikası verilmişdir. Göründüyü kimi, d2 diapozonunda sürtünmə prosesi ən stabil fazaya daxil olmuşdur. Ümumilikdə,  $K_1$  və  $K_2$  nümunələrinin sürtünmə əmsalı qiymətinin 0,3 ətrafında olması mis-qrafitin tərkibinin 7-10 kt.% -də materialların sürtünmə xassəsini yaxşılaşdırmasını göstərir. Mis-qrafitin tərkibdə çoxluq təşkil etməsi istilik keçiriciliyin artırmasına da təsir göstərə bilər.

Cədvəl 3.

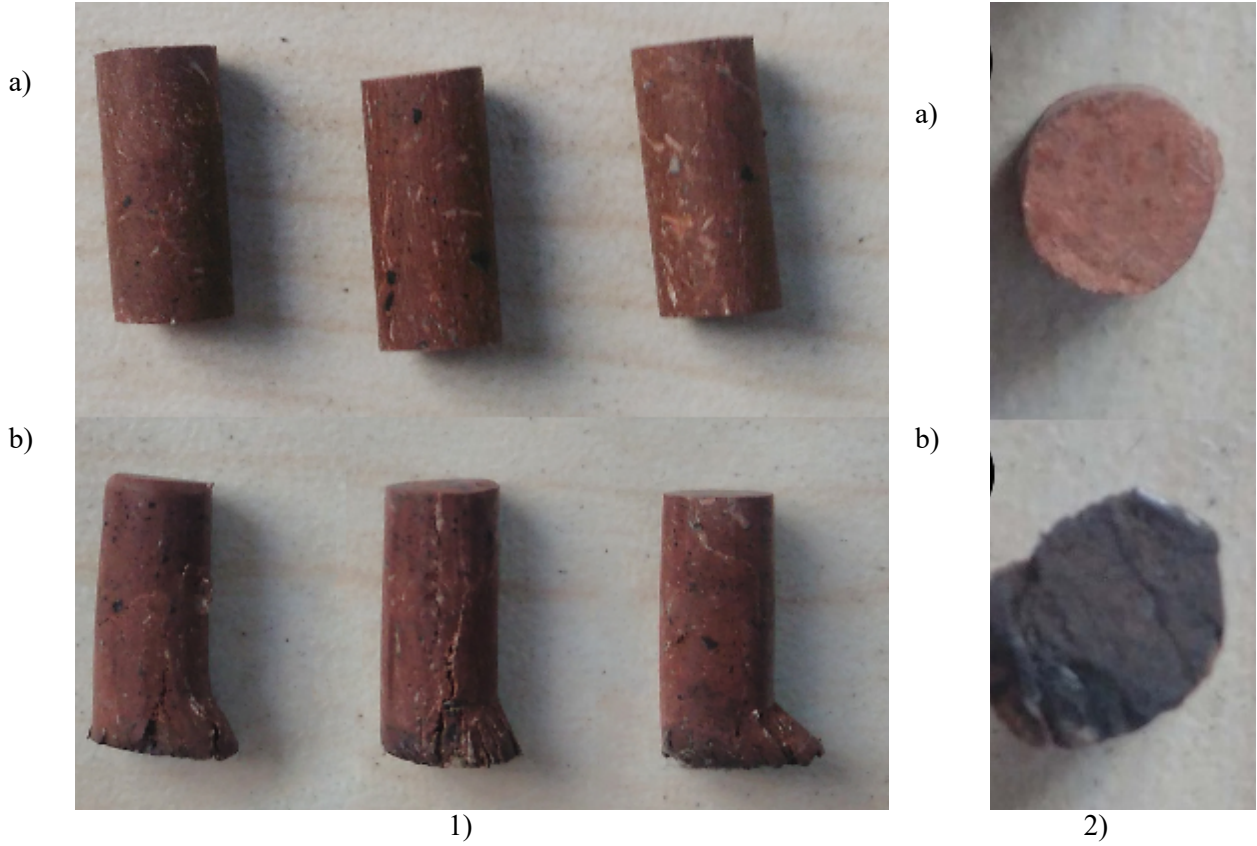
Sürtünmə və yeyilmə sınağının nəticələri

Göstəricilər		$K_1$			$K_2$			$K_3$		
		100N	300N	500N	100N	300N	500N	100N	300N	500N
f	mak.	0.34	0.47	0.35	0.35	0.34	0.44	0.24	0.32	0.25
	min.	0.22	0.12	0.16	0.29	0.27	0.28	0.13	0.24	0.15
	orta	0.32	0.33	0.18	0.34	0.31	0.36	0.21	0.28	0.17
J (q/saat)		0.004	0.007	0.086	0.002	0.011	1.1306	0.005	0.073	0.721

$K_1$  nümunəsində 300N yük altında (0.12 və 0,47) bu qədər fərqlərin olması qızma nəticəsində materialın forma və ölçüsünün dəyişməsidir.

Şək.3-də  $K_1$  nümunəsinin sınaqdan sonra çəkilməmiş təsvirlərindən sürtünmə səthinin yanaraq formasını dəyişməsinə görmək mümkündür. Çox aşağı (və ya yüksək sürtünmə əmsalı) qiymətlərin alınması da bu səbəblə bağlıdır. İstidən sıxılma nəticəsində nümunənin hündürlüyünün dəyişməsi ilə əksicəmə toxunuş ya qişməyə ya da tamamilə pozulur ki, sensorlar bu məlumatı qeydəalıcı cihaza mənfi rəqəmlə ötürür (Şək 2a-da

d1-dən d2-ə keçid diapozonunda bu hal baş vermiş, d3-dən başlayaraq proses sona çatmış və stabilləşmə başlamışdır).



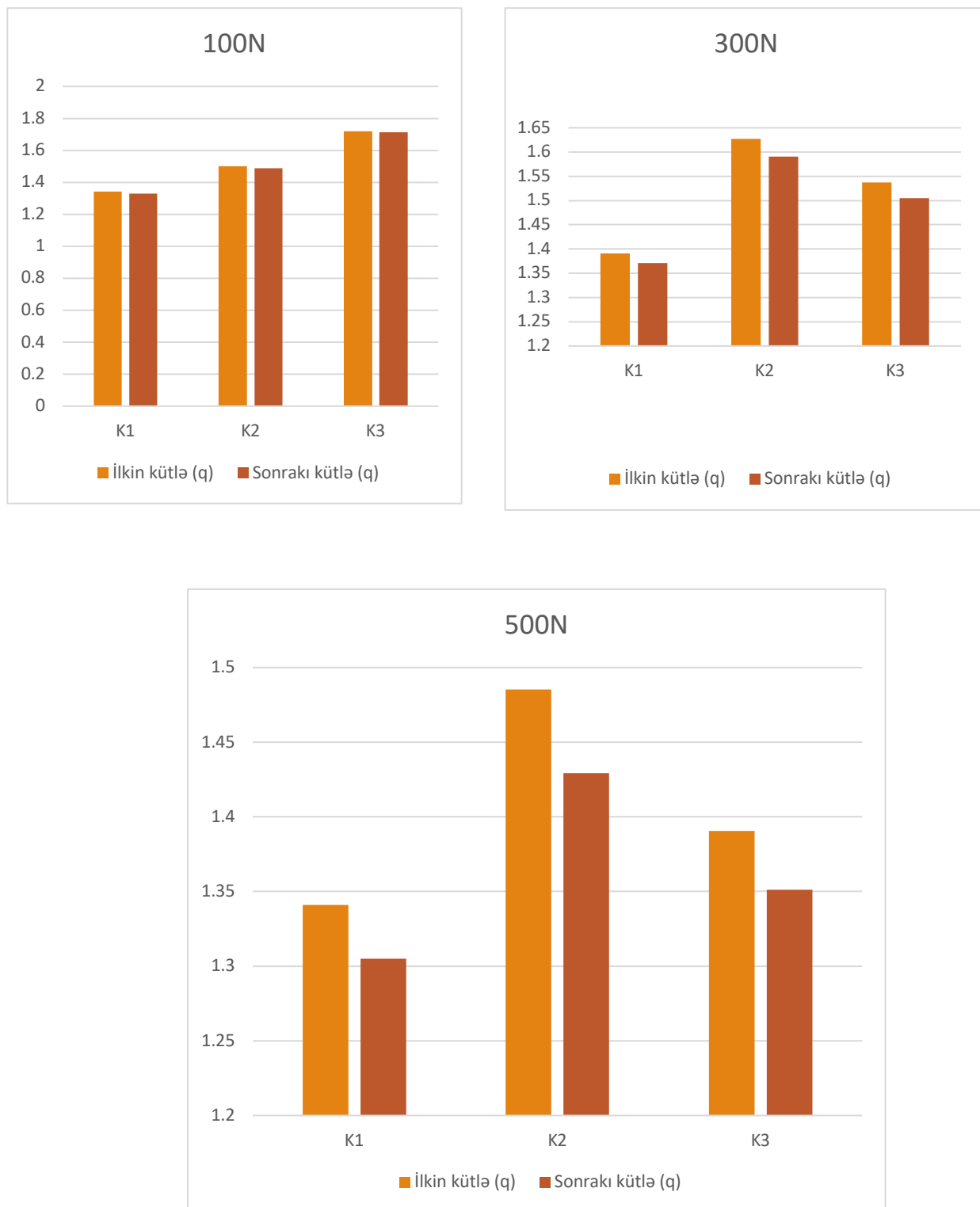
Şək.3. Qızma nəticəsində material strukturunda baş verən dəyişikliklər  
1) yan görünüş, 2) təmas səthi  
a) sınaqdan əvvəl b) sınaqdan sonra

$K_1$  materialında mis-qrafitin boşluğunu doldurmaq üçün baritin miqdarı artırılrsa da, görünür bu, istilikkeçiriciliyə effektiv təsir göstərə bilməmişdir. Cədvəl 3-dən görüldüyü kimi  $K_1$  nümunəsi istiliyə davamlı olmasa da, yeyilmə intensivliyi digər nümunələrdən çox aşağıdır.

Şək.4-də qrafiklərdə nümunələrin sınaqlardan öncə və sonrakı kütlələri müqayisəli verilmişdir.

Yükdən asılı olaraq yeyilmənin çoxalması qanunuyğunluğu bütün nümunələr üçün keçərli olsa da, ən yüksək yeyilmə intensivliyi 500N yüklə  $K_2$  nümunəsində qeydə alınmışdır, lakin proses stabil getdiyindən sürtünmə əmsalı qiymətləri də öz stabilliyini qoruya bilməmişdir (şək.2b). Həmçinin sınaqların nəticələri yükün artması ilə sürtünmə əmsalı qiymətlərinin dəyişməsi arasında hər hansı bir spesifik əlaqənin olmadığını göstərdi.  $K_1$  və  $K_3$  kompozitlərində 500N yük altında sürtünmə əmsalı aşağı düşsə də,  $K_2$  materialında əksinə olaraq ən yüksək rəqəm qeydə alınmışdır. Apardığımız araşdırmalar yeni məsələləri ortaya çıxararaq baxılan

materialların daha geniş tədqiqinə zəmin yaradır. Bu araşdırmalar xüsusilə də, termomexaniki xassələr baxımından K<sub>2</sub> kompozisiyasının daha ətraflı tədqiqata ehtiyacı olduğunu göstərdi.



Şək.4. Nümunələrin sınaqlardan əvvəl və sonrakı kütlə fərqləri



**Nəticələr:**

• Müəyyən edilmişdir ki, baritin miqdarı 25%-dən yuxarı olan nümunələrdə yeyilmə müqaviməti yüksəkdir, mis-qrafitin miqdarı 10%-a yaxın olduqda sürtünmə əmsalını yaxşılaşdırır, yüksək olduqda səmərəli sayılmır. Barit və mis-qrafit birgə sürtünmə əmsalının stabiliyini təmin edir.

• Sınaq edilmiş nümunələr içərisində  $K_2$  materialı ən yüksək və stabil sürtünmə əmsalına malikdir,  $K_1$  nümunəsinin istilik keçiriciliyi aşağı olduğu üçün kontakt səthinin qızması nəticəsində formasını dəyişir və beləliklə də tribotexniki xassələrdə qeyri-stabillik yaranır.

**Ədəbiyyat**

1. Bharat Bhushan. Principles and Applications of Tribology, Second Edition, John Wiley & Sons, 2013, p.1006

2. Мустафаев С.М., Шарифова А.В., Гулиев А.А., Исследования по разработке медь – графитовой композиции с повышенным содержанием графита, Прогрессивні технології і системи машинобудування Вип. 1, 2 (45), 2013, с.187-191

3. Sridhar B.S, Raji George, Saurav Jain, K Chandrakanth. Synthesis of phenol formaldehyde and friction materials reinforced brake liner material, Proceedings of 4th IRF international conference 6th, 2014, p. 73-76

4. Наибова Т.М., Аббасова К.Г., Юсубов Ф.Ф.. Модификация фенолоформальдегидных олигомеров N-метиланилином, Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, Москва 2016, с. 53-56

5. Крагельский И.В. Трение и износ, 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1968. с. 430

6. Thakur Prasad Yadav, Ram Manohar Yadav, Dinesh Pratap Singh. Mechanical Milling: a Top Down Approach for the Synthesis of Nanomaterials and Nanocomposites, Nanoscience and Nanotechnology, Scientific & Academic Publishing, 2012, Vol.2(3), p. 22-48.