

SƏTHLƏRİN MÖHKƏMLƏNDİRİLMƏSİNDƏ PLASTİKİ DEFORMASIYA ÜSULLARININ TƏTBİQİ



Sevinc Həsənova,

Azərbaycan Kooperasiya Universitetinin müəllimi,

texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru

e-mail: sewramgasanova@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0000-4392-7672>

<https://doi.org/10.30546/2706-7858.2026.1.252>

UOT: 62: 621

Xülasə. *Məqalədə plastiki deformasiya üsulları ilə səthlərin möhkəmləndirilməsi texnologiyalarının fiziki və texnoloji xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Kalibrləmə, diyirlətmə, dornalama və basıb-italəmə kimi metodların tətbiqi zamanı materialların səth bərkliyinin, ölçü dəqiqliyinin, yorulma möhkəmliyinin və dözümlülük həddinin artması göstərilmişdir. Həmçinin müxtəlif konstruksiya materiallarının (polad, çuqun, alüminium və mis ərintiləri) plastiki emalı nəticəsində əldə edilən səth keyfiyyəti, enerji sərfi və iqtisadi səmərəlilik göstəriciləri müqayisə olunmuşdur. Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, plastiki deformasiya ilə səth möhkəmləndirmə metodları məmulatların uzunömürlülüynü və istismar etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.*

Açar sözlər: *plastiki deformasiya, səthin möhkəmləndirilməsi, kalibrləmə, dornalama, basıb-italəmə, səthin bərkliyi.*

Keywords: *plastic deformation, surface hardening, calibration, rolling, simple pressing, surface hardness.*

Ключевые слова: *пластическая деформация, упрочнение поверхности, калибрование, дорнование, простое прессование, твердость поверхности.*

Müasir maşınqayırma və metal emalı sənayesində məmulatların istismar etibarlılığının, ölçü dəqiqliyinin və uzunömürlülüynün artırılması əsas prioritetlərdən biridir. Bu baxımdan detalların yalnız həndəsi ölçülərinin deyil, eyni zamanda səth qatının fiziki-mexaniki xassələrinin yaxşılaşdırılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Təcrübə göstərir ki, bir çox maşın hissələrinin sıradan çıxması, əsasən səth qatında

yaranan yorulma çatları, yeyilmə və plastik deformasiyalarla bağlıdır. Ona görə də səthin möhkəmləndirilməsi və tamamlayıcı emal metodlarının tətbiqi maşın detallarının istismar göstəricilərinin yüksəldilməsində həlledici rol oynayır.

Təqdim olunan məqalədə təzyiqlə emalın və şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə metodlarının mahiyyəti, tətbiq sahələri, texnoloji imkanları və əldə edilən əsas nəticələr ədəbiyyat mənbələrinin təhlili əsasında ümumiləşdirilir.

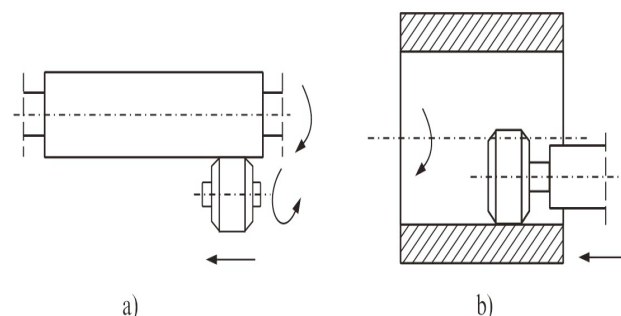
Təzyiqlə emal və şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə metodları metalın kəsilmədən plastik deformasiyaya uğradılması hesabına həm material sərfinin azalmasına, həm də səthin bərkliyinin, yorulma möhkəmliyinin və kontakt davamlılığının artmasına imkan verir. Basıbitələmə, çəkmə, dornalama, diyircəklərlə və kürələrlə üstdiyirlətmə, içdiyirlətmə, eləcə də rotasion üstsıxma kimi proseslər geniş nomenklaturalı detalların yüksək dəqiqliklə və məhsuldarlıqla hazırlanmasına şərait yaradır.

Problemin aktuallığı. Maşınqayırma və metal emalı sənayesində detalların istismar şəraitinin ağırlaşması, yüklərin və sürətlərin artması səth qatının möhkəmləndirilməsini xüsusi aktualıq kəsb edən məsələyə çevirmişdir. Təcrübə göstərir ki, bir çox maşın və mexanizmlərin etibarlılığı, əsasən detalların səth qatının vəziyyəti ilə müəyyən olunur. Kəsmə ilə emal üsulları yüksək dəqiqlik təmin etsə də, material sərfinin artması səth qatında qalıq dartılma gərginliklərinin yaranması və yorulma möhkəmliyinin azalması kimi çatışmazlıqlara malikdir. Bu baxımdan metalın kəsilmədən plastik deformasiyaya uğradılması əsasında həyata keçirilən təzyiqlə emal və şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə metodlarının tədqiqi və tətbiqi müasir sənaye üçün aktual elmi-texniki problem hesab olunur.

Problemin praktiki əhəmiyyəti. Aparılan tədqiqatların nəticələri təzyiqlə emal və şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə metodlarının maşınqayırma, dağ-mədən, energetika və nəqliyyat sahələrində geniş tətbiq imkanlarını nümayiş etdirir. Diyircəklərlə və kürələrlə üstdiyirlətmə, içdiyirlətmə, dornalama və basıbitələmə proseslərindən istifadə etməklə detalların ölçü dəqiqliyinin artırılması, səthin nahamarlığının azaldılması və möhkəmləndirilmiş qatın formalaşdırılması mümkündür. Bu metodların tətbiqi nəticəsində metal sərfi azalır, alət və enerji xərcləri optimallaşdırılır, məmulatların maya dəyəri aşağı düşür və istismar müddəti əhəmiyyətli dərəcədə artır. Əldə olunan nəticələr istehsalatda mövcud texnoloji proseslərin təkmilləşdirilməsi və yeni resursqənaətlı texnologiyaların işlənilib hazırlanması üçün praktiki əhəmiyyət daşıyır.

Təzyiqlə emalın məlum möhkəmləndirici metodlarının içərisində ovuntu məmulatlarının ölçü dəqiqliyini artırın kalibrləmə geniş yayılmışdır.

Məmulatların gərginlik – deformasiya halı nöqtəyi-nəzərindən o çəkmə (xarici ölçüləri kalibrlədikdə) və dornalama (məmulatların daxili ölçülərini kalibrlədikdə) əməliyyatlarına uyğun gəlir.

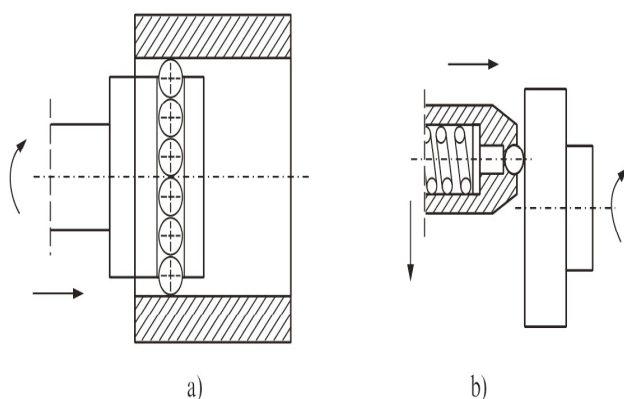


Şəkil 1. Diyircəklərlə üstdiyirlətmə (a) və içdiyirlətmə (b)

Şəkil 1 a və b-də məmulatların diyircəklərlə üstdiyirləndirilməsi və içdiyirləndirilməsi **şəkil 2 a** və **b**-də isə kürələrlə həmin əməliyyatların aparılması göstərilmişdir. Diyircəklərlə kalibrləməklə dəzgahların istiqamətləndiricilərini, gövdələrini, pazlarını, lövhələrini, diametri 1000 mm-dək olan valları, hidrosilindrlərin ştoklarını, stəkanların təpələri, pistonları, radiuslu qanovları və haşiyələri emal edirlər [1, s.50-52]. Emalın dəqiqliyi 2-3-cü sinfə uyğun gəlir, nahamarlıqların hündürlüyü isə $Ra=0,63-0,05$ olur. Həndəsi forma təhrif olunmur, döyənəkləmənin dərinliyi isə 0,2-30 mm hədlərində olur. Metalın səthinin bərkliyi 40-50% artır [2, s.23-24]. Valların hamar sahələrinin üstdiyirləndirilməsi valların dözümlülük həddini 20-40% artırır. Çuqun və polad dirsəkli valların haşiyələrinin emalı ilə onların yorulma möhkəmliyinin 50-100% artırılmasına nail olunur [3, s.18]. Kömür kombaynlarının və doğruyıcı maşınların gövdə detallarında yastıqların deşiklərinin, kanat barabanlarının quyruqlarının, nəzarətçi detalların, distasion oymaqların, koleylərin və digər detalların emalından sonra onların uzunömürlülüyü 1,5-2 dəfə artır [4, s.10]. Döyənəkləmə dərinliyi 0,1 mm-dək olan nazik zolağın kəsilməsi üçün 5X13ГC poladından olan disk budaqlarının üstdiyirləndirilməsi onların dözümlülüyünü 1,66 dəfə artırır [5, s.41-42]. Haşiyəli emaldan sonra möhkəmləndirilmiş qatının dərinliyi 0,7-0,8 mm olan 38XC markalı poladın dözümlülük həddi 1,7 dəfə böyüyür [6, s.264-268].

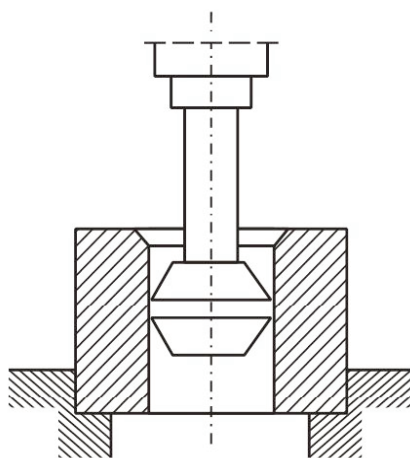
Kürə vasitəsilə üstdiyirlətmə ilə istiqamətləndirici sürüngəclər, oxlar, dirsəkli və torsion val-

lar, sapfalar, gövdə detalları, pistonlar, stəkanlar, içyayma ilə silindrlər, pnevmatik silindrlərin və daxiliyanma mühərriklərinin qılzaları, az sərtlikli qılzaları və silindrləri emal olunur [1, s.50-52]. Bu məqsədlə 5-30 mm diametrli kürələr istifadə olunur. Emal dəqiqliyi 1-3-cü siniflərə, səthin dəqiqliyi isə 7-11-ci siniflərə uyğun gəlir. Döyənəkləmə dərinliyi və səth bərkliyinin göstəriciləri isə diyircəklərlə emal prosesindəkinə uyğundur.



Şəkil 2. Kürələrlə içdiyirlətmə (a) və üstdiyirlətmə (b)

Məsaməli məmulatların emalında həm də dornalama (dartma, deşmə) geniş tətbiq olunur (**şəkil 3**). Bu üsul ilə oymaqları, hidrosilindrləri, pnevmoşaşınların lülələrini, dişli çarxları, nazik çarxları, yastıqları, şatunları emal edirlər. Dəqiqlik 30-60% artır. İqtisadi cəhətdən məqsəduyğun sinif kimi ikinci sinif sayılır. Mikronahamarlıqların nail olunan hündürlüyü $Ra=0,32-0,16$ -dır [2, s. 23-24].



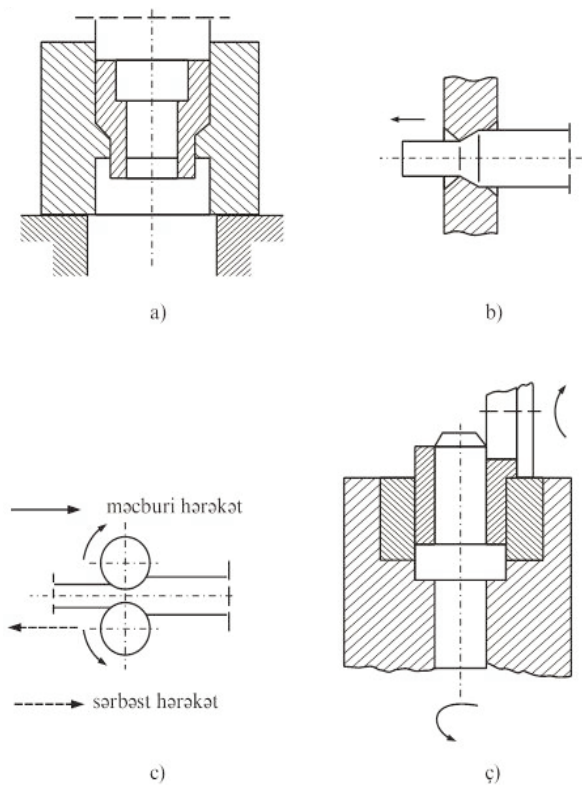
Şəkil 3. Dornalama (dartma, deşmə)

Ortakarbonlu poladdan hidrosilindrlərin qılzalarının dəşiklərinin (diametri 36, uzunluğu 340 mm) dartmaqla emalı metal sərfini 25%, alətə tələbat xərclərini isə 5 dəfə azaldır, məmulatın maya dəyərini 32% aşağı salır. Traktor tırtıllarının bəndlərinin oymaqlarının (polad 20Г) dartma ilə emalında yüklənmə qabiliyyətinin iki dəfə artmasına nail olunur. Daxiliyanma mühərriklərinin ovuntu üzükələrinin dəşiklərinin deşilməsi uzunömürlülüüyü 1,7 dəfə artırır [4, s.12].

Şəkildəyişdirici metodlar kimi – basıbitələmə, çəkmə, diyircəklərlə diyirlətmə, içdiyirlətmə, sferohərəkətləndirici ştamplama (üstdiyirlətmə ilə ştamplama, yivin yayılması, rotasion üstsıxma) sayılırlar. Basıbitələmə metodları ilə mürəkkəb formalı detalları, o cümlədən kar pazları, kənar hissələrdə və flansda çıxıntılarla, kar boşluqlarla, həm də dairəvi olmayan formalı detalları hazırlayırlar [1]. Emal edilən materiallara alüminium və onun ərintiləri – AO, AMu, AMr, AMr5, D16, həmçinin mis və onun ərintiləri MO, M1, Л62-Л90, БрХ, poladları 08-35Г, 16ХГ, 15Х, 20ХГНМ, nikel ərintiləri HP2, 29 HK-dır. Emal dəqiqliyi 8-10-cu kəvalitə uyğun gəlir. Tökmə və qızmar ştamplama ilə müqayisədə metalın istifadə əmsalı 10-25%, kəsmə ilə emalla müqayisədə 1,5 dəfə və daha çox artır, enerji sərfəli isə uyğun olaraq 10-15% və 40-50% azalır [2, s.23-24].

Çəkmə ilə sadə və mürəkkəb profilləri alırlar. Sağanaqda çəkmə (**şəkil 2, b**) böyük deformasiya dərəcəsinə (40-45% bir gedişdə) təmin edir, pəstahda həddi və eninə müxtəlif divarlılığı ləğv edir. Emal dəqiqliyi 3-5-ci siniflərə, səthin təmizliyi isə 8-9-cu siniflərə uyğun gəlir. Materialın axıcılıq həddi 1,5-dən 2 dəfəyədək, yorulma möhkəmliyi 7-dən 9 dəfəyədək, yeyilməyə-düzümlük isə 2-dən 5 dəfəyədək artır.

Diyircəklərlə diyirlətmə zolaqları, lentləri, və-rəqləri, mürəkkəb profilləri, pilləli və hamar val-ları, oxları, sapfaları, ştiftləri, diyircəkləri (0,5-500 mm diametrli), azmodullu şlisləri, rifleni-yaları emal etməyə imkan verir [1, s.50-52]. Emal dəqiqliyi 2-3-cü siniflərə, səthin təmizliyi isə 8-10-cu siniflərə uyğun gəlir. Son tamamlama və tamamlayıcı pardaxlama ilə müqayisədə əmək məhsuldarlığı 5-15 dəfə artır.



Şəkil 4. Şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə metodları

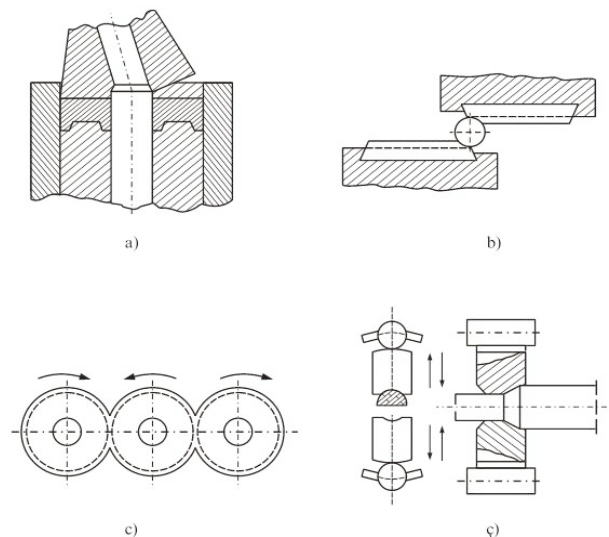
a – basıbtələmə; b – çəkmə; j – diyircəklərlə diyirlətmə; ç – üst diyirlətmə

Yivi diyirlətməklə (**şəkil 4 a, b**) vintlərdə, boltlarda, şpilkalarda və qaykalarda diametri 0,3-dən 150 mm-dək yivlər alırlar [7]. Materialın bu halda ilkin bərkliyi 1200-3400 MPa və möhkəmlilik həddi isə 1000-1200 MPa olmalıdır. Yivaçanlarla diametri 2-dən 25 mm-dək, diyircəklərlə isə 0,3-dən 120 mm-dək detalları üst diyirlətmək olur. Oxboyu gedişli pəstahlarda 3-5 mm addım alırlar. Yivdiyirlədən başlıqların istifadəsi ilə diametri 6-30 mm olan boltları, vintləri, şpilkaları emal edirlər. Emal dəqiqliyi 1-3-cü siniflərə, səthin təmizliyi isə 6-8-ci siniflərə uyğun gəlir. Kəsmə və pardaxlama əvəzinə 18XBA poladından olan şpilkalarda 27x2 yivinin diyirlədilmədə yorulma möhkəmliyini 2-3,5 dəfə artırır [6]].

Dişlərin diyirlədilməsi ilə (**şəkil 4, c**) misdən, bürüncdən, duralüminiumdan düzünə və vintvari dişli (modul 1,5 mm-dək) çarxlar hazırlayırlar. Dəqiqlik ГОСТ 2789-59 üzrə 7-ci dərəcəyə, emal dəqiqliyi isə 8-10-cu siniflərə uyğun gəlir. Plastik deformasiyanın ən böyük effektivə detalların rotasion üstsıxmasında nail olunur (**şəkil 4, ç**). Bu metodla silindrik və profilili səthli diametri 2-dən 30 mm-dək olan valları, ştokları emal edirlər.

Bundan əlavə, boruları, müxtəlif formalı deşiklərlə və xarici səthlə (diametri 3-dən 150 mm-dək) boş detalları, şlis vallarını almaq mümkün olur [7]. Diametri 30 mm-dək olan azkarbonlu poladlardan, müxtəlif legirli poladlardan (xrommanqanlı, xrom nikelli, xrom molibdenli), alət poladlarından (1% volfram və vanadium tərkibli) pəstahlar yaxşı emal olunur. Emal dəqiqliyi 2-4-cü siniflərə, səthin təmizliyi isə 7-9-cu siniflərə uyğun gəlir.

Plastiki deformasiya etməklə detalların səthinə emal etmək üçün tamamlama metodları aşağıdakılardır: rotasion möhkəmləndirmə (diyircəklərlə və kürələrlə), naxışlama və qırma ilə möhkəmləndirmə. Rotasion möhkəmləndirməklə valları, oxları, ştanqları, böyük diametrlı boruvari detalları emal edirlər. Bu məqsədlə 5-dən 16 mm-dək diametrlı diyircəkləri və kürələri tətbiq edirlər. Emal təmizliyi 7-10-cu siniflərə uyğun gəlir [7]. Silumini emal etdikdə döyənəklənmiş səthin bərkliyi orta hesabla 50%, 25 markalı poladınkı 45%, çuqununku 30-60%, bürüncünkü isə 60% artır. Döyənəkləmədə 0,6-0,8 mm, hətta 3 mm və daha çox dərinliyə nail olmaq olar. Detaiların xidmət müddəti 1,5-2 dəfə böyüyür [8]. Səthin kələkötürlülüüyü $Ra=5-2$ mkm-dən $Ra=0,5-0,1$ mkm-dək azalır. Yayılmış səthlərin kontakt sərtliyi frezlənmiş səthlə müqayisədə 3 dəfə və pardaxlanmış səthlə müqayisədə isə 2,2-2,4 dəfə



Şəkil 5. Şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə metodları:

a – sferohərəkətverici ştamplama (üstdiyirlətməklə ştamplama) b – yivin diyirlədilməsi; j – dislərin diyirlədilməsi; ç – rotasion üstsıxma

yüksəkdir [9]. İlk matensit strukturlu detalların üst diyirlətmədən sonra yeyilməsi 12-16%, sorbit strukturlularınkı isə 8-10% aşağıdır. Yastıqların uzunömürlülüüyü (qanovları kürələrlə 2300 MPa təzyiqlə üstüyaydıqda) orta hesabla iki dəfə artır [8].

Naxışlamamı (*şəkil 5, b*) çuqun və polad val-ların haşiyə zonasında və aparan çarxların dişlə-rinin çökəkliklərində metalın döyənəklənməsi üçün istifadə edirlər. Onu titrəyən diyircəklərlə, çərcivələrlə həyata keçirirlər. Döyənəklənmənin dərinliyi 2,0-3,0 mm-dək ola bilər. Mikrobərklik isə 30-50% artır. Titrəyişli diyircəklə naxışlama çuqun dirsəkli valların (diametr 175 mm) haşı-yələrinin yükəgötürmə qabiliyyətini 2,3 dəfə artırır. 40XH poladından və yüksəkmöhkəm çuqun-dan olan pilləli valların (diametr 175 mm) dö-zümlülük həddi möhkəmləndirilməmiş vallarla müqayisədə 1,5 dəfədən çox yüksəlir. Onların aparan çarxlarının dişlərinin çökəkliklərinin çə-kiclə naxışlanması əyilmədə dözümlülük həddini 40-50% artırır. Qızma ilə möhkəmləndirməni qızmar ştamlama puansonlarının, əyici matris-lərin, soyuq ştamların işçi hissələrinin, şatun-ların döyənəklənməsi üçün istifadə edirlər [7]. Döyənəklənmiş qatın dərinliyi 0,5-0,7 mm-ə çatır, mikrobərklik isə 40% artır. Qırmaşırnağı ilə döyənəklənmədən sonra 17XGT markalı sement-ləndirilmiş poladdan olan çarxların dişlərinin dö-zümlülük həddi döyənəklənməmiş səthlə mü-qayisədə 62% yüksəlir [10, 11].

Nəticə. Aparılmış təhlillər və ədəbiyyat mənbələrinin ümumiləşdirilməsi göstərir ki, təzyiqlə emal və şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə me-todları maşınqayırma detallarının keyfiyyət gös-təricilərinin yüksəldilməsində yüksək səmərə-liliyə malikdir. Diyircəklərlə və kürələrlə üstdi-yirlətmə, içdiyirlətmə, dornalama, çəkmə və ba-sıbitələmə prosesləri nəticəsində detalların səth qatında əlverişli sıxılma gərginlikləri formalaşır, səthin bərkliyi və yorulma möhkəmliyi əhəmi-yətli dərəcədə artır. Müəyyən edilmişdir ki, bu metodların tətbiqi ilə məmulatların ölçü dəqiq-liyi və səth keyfiyyəti yüksəlir, həndəsi forma təhrif olunmur və möhkəmləndirilmiş qatın də-rinliyi istismar tələblərinə uyğun şəkildə təmin edilir. Eyni zamanda metal sərfinin, alət və enerji xərclərinin azalması bu texnologiyaların iqtisadi baxımdan da məqsədəuyğun olduğunu təsdiq-

ləyir. Əldə olunan nəticələr təzyiqlə emal və şəkildəyişdirici möhkəmləndirmə metodlarının kəsmə ilə emala alternativ və onu tamamlayan müasir texnoloji həll kimi qiymətləndirilməsinə əsas verir. Bu metodların istehsalatda daha geniş tətbiqi maşın və mexanizmlərin etibarlılığının, uzunömürlülüüyünün və ümumi texniki-iqtisadi göstəricilərinin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat

1. Hummel O.H. Pulvermetallurgie gebrineh-liche, werkst off konstr. Elem. Meth., 2002, 9, №11, p.50-52.
2. Петров А.К. и др. Свойства заготовок из быстрорежущей стали, изготовленных ме-тодом горячей экструзии распыленного по-рошка. //Порошковая металлургия, 2008, №1/2, с.23-24.
3. Zhang Z., Li X., Wang Y. Peening Tech-niques for Surface Modification: Processes, Pro-perties, and Applications. Materials, 2021, 14(14), p.3841 s.
4. Guo P., Liu X., Niu Y., Yang Y. Surface Technology: Ultrasound-Assisted Roll Harde-ning for Gear Teeth. Surface Technology, 2025, 54(19), pp.163-172.
5. Зайцев Г.З. Эффективность применения упрочняющего поверхностного пластического деформирования на машиностроительных пред-приятиях. Москва, ЦНИИТМаш, 1992, 12 с.
6. Мамедов А.Т., Джафарова С.А. Влияние температуры спекания на свойства образцов из частично легированного порошка на осно-ве железа марки ультрапак. (ученные запис-ки) АзТУ, 2007, №3, с.41-42.
7. Kond J., Japi H., Tabata J. Funtal ocbifum-maru jakin J.Jap.Sok. powder and powder Met. 2003, 23, №8, pp.264-268.
8. Проскуряков Ю.Г. Упрочняющие ме-тоды обработки: Справ. Москва, Машино-строение, 1965, 208 с.
9. Паншев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим де-формированием. Москва, Машиностроение, 1978, 152 с.
10. Штейнберг Я.И. Упрочняюще-отде-лочная обработка деталей машин поверхно-стным пластическим деформированием. Москва,

Машиностроение, 1973, 40 с.

11. Жилинский В.А., Зозуля В.Д. Некоторые результаты исследований путем увеличения долговечности электродвигателей бытовых машин и приборов подшипниками из спеченных материалов. // Электротехн. пром-сть. Сер. Бытовая электротехника. 1975, с.16-19.

S.Hasanova

**Application of plastic deformation
methods in strengthening surface**

Abstract

The article investigates the physical and technological characteristics of surface strengthening technologies based on plastic deformation methods. During the application of such methods as calibration, rolling, burnishing, and shot peening, an increase in the surface hardness, dimensional accuracy, fatigue strength and endurance limit of materials has been demonstrated. In addition, the surface quality, energy consumption, and economic efficiency indicators obtained as a result of plastic processing of various structural materials (steel, cast iron, aluminum, and copper alloys) have been compared. The research results indicate that surface strengthening methods based on plastic defor-

mation significantly increase the durability and operational reliability of manufactured products.

С.Гасанова

**Применение методов пластической
деформации при упрочнении
поверхностей**

Аннотация

В статье исследованы физические и технологические особенности технологий упрочнения поверхностей методами пластической деформации. Показано, что при применении таких методов, как калибрование, накатывание, дорнование и дробеструйная обработка, повышаются поверхностная твёрдость, точность размеров, усталостная прочность и предел выносливости материалов. Кроме того, проведено сравнение показателей качества поверхности, энергозатрат и экономической эффективности, получаемых в результате пластической обработки различных конструкционных материалов (стали, чугуна, алюминия и медных сплавов). В результате исследования установлено, что методы упрочнения поверхности пластической деформацией значительно повышают долговечность и эксплуатационную надёжность изделий.