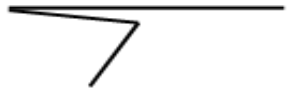
F.M. Şirzadov

MAŞINLARIN ETİBARLILIĞININ TEXNOLOJİ TƏMİNATI

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi

Bakı Mühəndislik Universiteti



F.M. ŞİRZADOV

MAŞINLARIN ETİBARLILIĞININ TEXNOLOJİ TƏMİNATI

(Dərs vəsaiti)

Bakı Mühəndislik Universitetinin 04.01.2018- ci il tarixli 609 nömrəli əmri ilə təsdiq edilmişdir.

BAKI – 2018

UOT 621.89:621.7.

Rəyçilər: Bakı Mühəndislik Universitetinin, “Mexanika Mühəndisliyi” kafedrasının müdiri **dos., t.f.d. Y.Ə. Babayev;**
Azərbaycan Texniki Universitetinin “Tribotexnika” elmi-tədqiqat laboratoriyasının müdiri, **prof., t.e.d. Ə.H. Sadıxov.**

F.M. Şirzadov. Maşınların etibarlılığının texnoloji təminatı. Dərs vəsaiti, Bakı- BMU 2018. 219 s.

Dərs vəsaiti 060630 – “Mexanika mühəndisliyi” ixtisası (proqramı) üzrə magistr hazırlığı üçün nəzərdə tutulmuş, “Maşınların etibarlılığının texnoloji təminatı” fənninin tədris proqramına müvafiq olaraq yazılmışdır. Burada tribotexniki səthlər almaq üçün materiallar, mütərəqqi texnologiyalar haqda məlumat verilmiş, aparılmış eksperimentlərin nəticələri qiymətləndirilmiş və üsulların tətbiqinin aktuallığı əsaslandırılmışdır.

Kitab maşınqayırma və materiallar texnologiyası istiqamətində təhsil alan və işləyən oxucular üçün tövsiyyə oluna bilər.

Dərs vəsaiti Bakı Mühəndislik Universitinein “Mexanika Mühəndisliyi” kafedrasında hazırlanmışdır.

BMU - 2018

Ön söz

Maşınların etibarlılığının və uzunömürlülüyünün artırılması xalaq təsərrüfatının mühüm məsələlərindən biridir. Bazarda olan rəqabətlə mübarizə aparmaq üçün tribotexniki problemlərələ sıx əlaqədə olan güc sıxlığını, uzunömürlülüyü və etibarlılığı artırmağa, müasir maşınqayırmada ixrac qazlarının ətraf mühitə zərərli təsirlərini və səs-küyün emissiasını, enerji və yağ sərfini, istehsal xərclərini, kütləni azaltmağa olan tələblər durmadan artmaqdadır. Bununla əlaqədar olaraq, elmi-texniki nailiyyətlər və artan enerji xərcləri mütəxəsislərdən maşınların və qurğuların müasirləşdirilməsini tələb edir ki, bununla da onların istehsalına çəkilən ümumi xərclərin azaldılması, iqtisadi səmərəliliyin yüksəldilməsi, funksiyaların avtomatlaşdırılması və sonda etibarlılığın yüksəldilməsi daimi olaraq öyrənilməli və inkişaf etdirilməlidir.

Mütəxəsislərdən daha çox biliklər tələb edən və maşınların etibarlılığının təminatında əhəmiyyətli rol oynayan texnologiyanın vəzifəsi hər bir bölməni ayrı-ayrılıqda abstrakt deyil, tədqiq olunan bölmələrə sistemli yanaşmalıdır. Yəni bu sestəmə daxil olan, ayrı-ayrı sahələr və bu sahələr arasındakı qarşılıqlı təsir, çıxış funksiyasının səmərəliliyi nöqteyi-nəzərdən işlənməlidir.

Dərs vəsaiti 2005-2012 ci illərdə Almanıyanın Berlin Texniki Universitetində və "BAM"- da („Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung", yəni „Materialların tədqiqi və sınağı üçün federal institut") işlədiyim və təhisl aldığm dövrdə toplanan materiallar əsasında tərtib olunmuşdur.

Dərs vəsaiti ilə maraqlanan oxuculara təşəkkürümüzü bildirir, onlara inkişaf və uğurlar arzu edirik!

Giriş

Texniki hissələrin sıradan çıxmasının əsas səbəbi gərgin vəziyyətrdə olan tribotexniki səthlərin korroziya və sürtünməsi ilə əlaqədar olan dağılmasıdır.

Dünya enerji resurslarının təxminən üçdə bir hissəsi sürtünmənin dəf olunmasına sərf olunur. Bu enerji sürtünmə səthlərində digər enerji növlərinə çevrilərək, sonda səthin dağılmasına səbəb olur. Belə ki, sıradan çıxan maşınların 90%- ə qədəri əsəsən onların tribotexniki səthlərinin yeyilməsi hesabına baş verir ki, bunun da yaratdığı mənfi nəticələrin aradan qaldırılması üçün, maşının istismarı dövründə çəkilən xərclər bir çox hallarda onların istehsal xərclərindən yüksək olur.

Ümumiyyətlə, tribotexniki problemlərin həlli üçün, müasir tribotüxnikanı beş əsas sahəyə bölürlər:

1. Yeyilmə;
2. Yeyilməsizlik;
3. Sürtünməyə işləyən detalların etibarlılıq və uzunömürlülüyünü artırmaq üçün konstruktiv tədbirlər;
4. ***Sürtünməyə işləyən detalların etibarlılıq və uzunömürlülüyünü artırmaq üçün texnoloji tədbirlər;***
5. Uzunömürlülüyə yeyilmənin təsirini nəzərə alaraq, maşınların istismar xüsusiyyətlərinin yüksəldilməsi.

Sürtünən maşın hissələrinin etibarlılıq və uzunömürlüyünü artırmaq üçün ***texnoloji tədbirlər***, sürtünən cütlərdə tələb olunan xüsusiyyətlərə malik material və örtüklərin alınmasını əhatə edir. ***"Maşınların etibarlılığının texnoloji təminatı"*** fənni bu sahəyə aid olub, onlun tədqiqat obyekti tələb olunan xüsusiyyətlərə malik tribotexniki səth alınması üçün, material və texnologiyalardır.

Texniki hissələrin səthlərinin gərgin vəziyyətləri ilə əlaqədar olaraq, səth təbəqəsində tətbiq olunan materiala yüksək tələblər qoyulur. Hissələrin yeyilməyə davamlılığının təminatı, ilkin olaraq onlarda nisbətən iqtisadi baxımdan səmərəli üsullarla əldə olunan materialların tətbiqi ilə həyata keçirilir ki, bu da məsələnin konstruktiv həllində öz əksini tapır. Yeni maşınların layihələndirilməsində və mövcud maşınların müasirləşdirilməsində materiallara daha da yüksək tələblər qoyulduğundan, istismar şərtlərini təmin edən yeni xüsusiyyətlərə malik materialların axtarılması tələb olunur ki, buradan da texnoloji tədbirlərin tətbiqi potensialı yaranır.

İlk növbədə mütəxəsislər çalışırlar ki, materialın düzgün seçimi ilə tribotexniki problemin həllini tapsınlar. Bu mümkün olmadıqda səthləri mexaniki, termiki, kimyəvi, kimyəvi-termiki və s. üsullarla emal edib, tribotexniki xüsusiyyətlərin yüksəldilməsinə üstünlük verilir. Örtükçəkmə üsulu bu xüsusiyyətlərin artırılması üçün texnoloji xərclər baxımdan ən

sonuncu olsa da, keyfiyyət baxımıdan ən yüksəyidir. Məsələn, bahalı materialların bütün hissənin həcmində tətbiqi material xərclərini artırır. Texnoloji üsullarla yalnız səthdə bu cür materialların alınması, material xərclərini azaltsa da, texnoloji prosesin xərclərini artırır. Tribotexniki xüsusiyyətlərin yüksəldilməsi üçün çəkilən xərclər əsas olmayib, məsul hissənin istismarından əldə olunan səmərə də nəzərə alınmalıdır.

Qeyd olunduğu kimi, texnikanın etibarlılığı və uzunömürlülüyü, ona daxil olan hissələrin gərgin vəziyyətdə olan səthlərinin quruluş və xüsusiyyətlərindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Bu səbəbdən son zamanlar hissələrin səthlərində texnoloji üsullarla yeyilməyədavamlı təbəqələrin alınması ilə optimal gərginlik vəziyyətinin yaradılması mühim əhəmiyyət kəsb edir. Belə örtüklərin alınması üçün tətbiq olunan material və texnologiyalar haqda dərsliyin ayrı-ayrı fəsillərində ətraflı məlumat veriləcəkdir.

1. Maşınların etibarlılığı, etibarlılığa təsir edən amillər və etibarlılığın təminatı

1.1. Etibarlılıq anlayışı və etibarlılıq göstəriciləri

Etibarlılıq ehtimala görə təyin olunub, hər hansı bir texniki hissənin və ya sistemin məlum funksiyasını, tələb olunan vaxt intervalı və ya tələb olunan iş miqdarında (məsələn: yürüş məsafəsi, dövrlər sayı, daşıma miqadrı, dəzgahda istehsal olunan detalların sayı və s.), verilmiş funksiya və gərginlik şərtləri altında, istismar parametrlərini texniki pasportda göstərilmiş hədlərdə saxlamaqla, imtinasız yerinə yetirməsidir. Məmulun etibarlılığı şərtlərinə onun imtinasızlığı, təmirəyararlılığı və onun hissələrinin saxlanma və uzunömürlülüyü aiddir.

Ümumiyyətlə, texnikanın əhəmiyyətli inkişafı - istehsalın avtomatlşadırılması, nəqliyyatın və işçi proseslərin səmərəliliyinin artırılması, gücün konsentrasiyasının yüksəldilməsi və s. etibarlılığa olan tələblə məhdudlaşdırılır.

Müasir texniki vasitələr qarşılıqlı əlaqədə olan müxtəlif mexanizmlərdən, aparat və qurğulardan ibarətdir. Məsələn, müasir avtomatlaşdırılmış yayma komplekslərində milyonlarla detallar işlənir. Müasir raketləri radioidarəedici sistemlər on milyonlarla elementlərdən ibarətdir ki, bu da nə zamansa on və ya yüz detaldan ibarət olmuşdur. Rezevrləşdirilməmiş hər

hansı bir belə mürəkkəb sistemin məsul elementlərindən birinin işdən imtina etməsi, bütün sistemin işinin pozulmasına gətirib çıxara bilər. Bununla, qurğunun məhsulu qüsurlu alınar, əhalinin enerji təchizatı dayanar (qaz, işıq, su) və bəzən insan həyatı üçün təhlükəli olan qəza baş verə bilər.

Maşınların etibarlılığının və uzunömürlülüyünün artırılması xalq təsərrüfatının mühüm məsələlərindən biridir. Bir sıra etibarsız maşın parkının iş qabiliyyətinin bərpası və təmirinə ayrılan xərclər maşının istehsal xərclərindən yüksək olur.

Etibarlılıq növbəti hadisə və vəziyyətlə xarakterizə olunur.

İş qabiliyyəti– məmulun vəziyyəti olub, texniki sənədlərdə verilmiş funksiyalarını normal yerinə yetirmə qabiliyyətdir. İstismar göstəricilərinə bilavasitə təsir etməyən hal bura aid deyildir. Məsələn, rəngin zədələnməsi və s.

Sazlıq– məmulun vəziyyəti olub, əsas tələblərlə yanaşı köməkçi tələblərə də cavab verməlidir. Saz məmul mütləq iş qabiliyyətlidir.

Nasazlıq– məmulun texniki parametrlərdən ən azı birinin sənəddə olan tələblərə uyğun gəlməyən vəziyyətidir.

İmtina– iş qabiliyyətinin tamamiylə itirilməsi hadisəsidir. İmtinalar fiziki təbiətinə uyğun olaraq, detalın və ya onun səthinin dağılması ilə əlaqəli ola (normal yeyilmə, ovulma, korroziyadan köhnəlmə) və ya olmaya bilər (yanacaq kanalının tutulması,

birləşmənin boşalması, elektrik kontaktlarının çirklənməsi və ya boşalması). Bu cür hallar baş verəndə, onlar üç variantla aradan qaldırılır:

I. Detalın dəyişdirilməsi;
II. Nizamlama və ya təmizləmə;
III. Bərpa.

İmtinanın baş vermə xarakterinə görə onlar qəfləti (məsələn: sınma) və tədrici (məsələn: yeyilmə, köhnəlmə, korroziya, yapışma, çirklənmə) olurlar. Aradan qaldırılma mümkünlüyünə görə aradanqaldırılabilən və -bilməyən olurlar. Aradanqaldırılabilən imtina əvəzetmə ilə müqayisədə səmərəsizdirsə, onda o aradanqaldırılabilməyən hesab olunur.

İmtinasızlıq (və ya qısa sözlə etibarlılıq) – məcburi fasilələr olmadan müəyyən olunmuş işləmə vaxtı ərzində iş qabiliyyətini saxlama xüsusiyyətidir. İmtinasızlığın əsas göstəricisi verilmiş vaxt intervalında və ya verilmiş iş həcmində imtinasız işlərin ehtimalıdır. Bərpaolunabilməyən məmullar üçün bundan əlavə imtinanın intensivliyi nəzərə alınır. Bu göstərici bərpaolunabilməyən məmulun vahid zamanda imtina ehtimalıdır və buna qədər imtina baş vermir.

Uzunömürlülük – texniki qulluq və təmir fasilələrinin olması ilə məmulun həd vəziyyətlərinə qədər uzun müddət iş qabiliyyətini saxlama xüsusiyyətidir. Məmulun həd vəziyyətinə çatması ilə onun növbəti müddətə istismarı mümkün deyil, çünki

səmərəlilik və təhlükəsizlik azalır. Bərpa olunmayan məmullar üçün uzunömürlülük və imtinasızlıq praktik olaraq eyni anlamdadır.

Təmirəyararlılıq – məmulun iş qabiliyyətinin yenidən bərpa olunma göstəricisi olub, burada imtina və nasazlığın müyyən olunması və aradan qaldırılması texniki qulluq (TQ) və təmir yolu ilə həyata keçirilir.

Mürəkkəb sistemlərdə imtinanın səbəbinin və imtina edən elementlərin tapılması çətindir. Belə qüsurların tapılması sistemin işinin ümumi bərpa vaxtının 50%-ni alır. Bu səbəbdən imtina edən elementlərin tapılmasını yüngülləşdirmək üçün konstruksiyada yeni mürəkkəb avtomatik sistem quraşdırılır.

İmtinaya qədərki iş həcmi – təmirolunabilən məmulun imtinalararası iş həcminin orta qiymətidir (bu göstərici xüsusən tədrici imtinalar üçün vacibdir).

İmtinaların tezliyi (və ya imtinalar axınının parametri) – baxılmış zaman anında təmir olunan məmulun vahid zamanda imtinalarının orta miqdarıdır (təmirolunabilməyən məmulların imtina intensivliyinə uyğundur, amma – növbəti imtinalar da bura daxildir).

Saxlanma qabiliyyəti- məmulun saxlanma müddəti ərzində və nəqlindən sonra tələb olunan istismar göstəricilərini saxlama xüsusiyyətidir. Bu xüsusiyyət praktik olaraq, cihazlar üçün böyük əhəmiyyətlidir. Məsələn: II Dünya meharibəsində təxminən 50% radioelektron cihazlar və onların hissələri saxlanma dövründə sıradan çıxmışdır.

Detalların, qovşaqların və maşın aqreqatının uzunömürlülüyünün əsas göstəriciləri: orta resurs, yəni həddvəziyyətinə qədər orta iş həcmi; qamma – faizli resurs (γ), yəni verilmiş növ məmulun faizlə orta şərti miqdarına bərabər və ya ondan üstün resursdur. Belə ki, resurs- adətən dağılmama ehtimalının verilmiş qiymətində məmulun uzunömürlülüyünü xarakteriza edir. Qamma- faizli resurs tez-tez başqa detal üzərində oturan diyirlənmə yastıqlarının əsas hesabi göstəriciləridir. Seriyalı və kütləvi istehsal olunan məmullarda əsasən diyirlənmə yadtıqlarında tez-tez 90%- li resurs istifadə olunur. Məsul məmulların yastıqları üçün γ- resurs 95% və daha çox seçilir. Əgər imtina insan həyatı üçün təhlükəli olarsa, onda γ- resurs 100%-ə yaxınlaşır. Traktorun əsas aqreqatı üçün 80% resurs qəbul olunur.

Maşın üçün uzunömürlülüyün əsas göstəricisi xidmət müddətidir. Yəni, istismarın təqvimə görə sərhəd vəziyyətinə qədər ya da hesabdan silinməyə qədərki davam etmə müddətidir. Birinci əsaslı təmirə və ya orta təmirə, mənəvi köhnəlməyə və silinməyə qədərki xidmət müddətiləri fərqləndirilir.

Avtomatik xətlər və başqa mürəkkəb sistemlər üçün etibarlılığın əsas kompleks göstəricisi texniki istifadə əmsalıdır. Texniki istifadə əmsalı vahid zamanda məmulun cəm iş həcminin, təmir və TQ zamanı bütün boş dayanma vaxtlarının çəminə nisbətidir.

1.2. Ehtimal nəzəriyyəsinə əsasən etibarlılığın qiymətləndirilməsi

Qəbul olunmuş t zaman ərzində tədqiq olunan N_Σ sayda elementlərin sınaq nəticələrinə baxaq. Tədqiqatın sonunda N_s qədər element saz qalır (imtina etmir) və N_{im} sayda element isə imtina edir. Onda imtinaların nisbi sayı üçün yazmaq olar:

$$Q(t) = N_{im} / N_\Sigma \qquad (1.1.)$$

Əgər aparılan tədqiqat, etibarlılığın proqnozlaşdırılması üçün seçmə xarakterli olarsa, onda $Q(t)$ imtina ehtimalının qiymətləndirilməsi kimi və ya N_Σ- kifayət qədər böyükdürsə, onda "imtina ehtimalı" kimi hesab oluna bilər. Belə ki, imtinasız iş ehtimalı üçün yazmaq olar:

$$P(t) = N_s / N_\Sigma = (N_\Sigma - N_{im}) / N_\Sigma = 1 - N_{im} / N_\Sigma = 1 - Q(t) \qquad (1.2.)$$

İmtinasız iş və imtina ehtimalı qarşılıqlı əks hadisələrdir. Bu ehtimalın cəmi vahidə bərabərdir

$$P(t) + Q(t) = 1 \qquad (1.3.)$$

Yuxarıdakı ifadələrə aydınlıq gətirək. Yeni maşınlar üçün $(t = 0)$ imtinaların sayı $N_{im} = 0$, olduğundan, imtinasız iş ehtimalı $P(0) = 1$, imtina ehtimalı isə $Q(0) = 0$ olur.

Uzun müddət istismar olunmuş maşın parkı üçün $(t = \infty)$, imtina etmiş maşınların sayı cəm maşınların sayına bərabər olduğundan $N_{im} = N_\Sigma$, imtinasız iş ehtimalı $P(\infty) = 0$, imtina ehtimalı isə $Q(\infty) = 1$ olur.

İmtina ehtimalının sıxlığı və ya vahid zamana görə imtina ehtimalı, ehtimal funksiyasının zamana görə törəməsindən təyin olunur. Belə ki,

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{1}{N_{\Sigma}} \cdot \frac{dN_{im}}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} \qquad (1.4.)$$

İmtinaların ehtimalı və imtinasız iş ehtimalının sıxlıq funksiyası üçün yazmaq olar

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt\,,\ Q'_{t=\infty} = \int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \qquad (1.5.)$$

buradan

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \qquad (1.6.)$$

Ehtimal nəzəriyyəsində ehtimallar sıxlığının inteqrallanması ümumi halda paylanma funksiyası adlanır.

İmtinaların intensivliyi, yəni vahid zamanda imtinalar ehtimalı üçün (şərt belədir ki, bu vaxta qədər imtina baş vermir)

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_s} \cdot \frac{dN_{im}}{dt} \qquad (1.7.)$$

(1.7.) ifadəsindən göründüyü kimi $\lambda(t)$, dt zamanında artan imtinaların sayının bu zamanda saz elementlərin sayına nisbətinə bərabərdir.

İmtinalar ehtimalının sıxlığı elementlərin ilkin sayına, imtina intensivliyi isə saz elementlərin sayına aiddir. Yeyilmə nəticəsində imtina edən maşınlar üçün əsasən imtinaların ehtimalının sıxlıq əyrisi

maksimuma, imtinaların intensivliyi əyrisi isə fasiləsiz qalxma kimi xarakterlərə malikdir.

Imtinasız iş ehtimalı ifadəsini imtinaların intensivliyindən alırıq. Belə ki, (1.7.) ifadəsini $\frac{N_s}{N_{im}}$ - ə vurub, $\frac{dP(t)}{dt}$ nisbəti üçün yaza bilərik

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{N_s}{N_{im}} \cdot \frac{1}{N_s} \cdot \frac{dN_{im}}{dt} = -P(t)\lambda(t) \qquad (1.8.)$$

Dəyişmə və inteqrallamadan sonra yazmaq olar

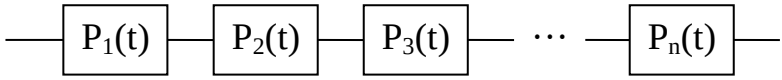
$$\frac{dP(t)}{P(t)} - \lambda(t)dt\,,\ \ell nP(t) = \int_0^t \lambda(t)dt \qquad (1.9.)$$

və yaxud

$$P(t) = \ell^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \qquad (1.10.)$$

Sistemin etibarlılığının yoxlanılması onun çoxşaxəliliyi səbəbindən mürəkkəb və iqtisadi baxımdan çox bahadır. Bu səbəbdən sistemin etibarlılığı ayrı-ayrı elementlərin etibarlılığının hesablanması ilə təyin olunur.

Rezervləşdirilməmiş maşınlarda vahid elementlər ardıcıl yerləşir və bir elementin sıradan çıxması bütün sistemin sıradan çıxmasına səbəb olur (şək. 1.1.). Bu halda imtinalar sərbəst hesab olunmur.



Şəkil 1.1. Ardıcıl elementlərdən ibarət olan sistem.

Sistemin imtinasız iş ehtimalı, ehtimalın artımı teoreminə əsasən, ardıcıl düzülmüş vahid elementlərin imtinasız iş ehtimallarının hasilinə bərabərdir:

$$P_{cp}(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t)...P_n(t) \qquad (1.11.)$$

Əgər $P_1(t) = P_2(t) = ...P_n(t)$, onda $P_{cp}(t) = P_i^n(t)$ yazmaq olar. (1.11.) ifadəsinə əsasən mütəkkəb sistemlərin etibarlılığı azalır. Məsələn, əgər sistem 10 elementdən ibarətdirsə və hər elementin imtinasız iş ehtimalı 0.9 olarsa (diyircəkli yastıqlarda), onda ümumi imtinasız iş ehtimalı azalacaqdır. Belə ki, $0.9^{10} = 0.35$ olur.

Adətən, elementlərin imtinasız iş ehtimalı kifayət qədər yüksəkdir. Buna görə də yuxarıdakı ifadəni imtinalar ehtimalına görə yaxınlaşma nəzəriyyəsinə əsaslanaraq, yazmaq olar

$$P_{cp}(t) = [1 - Q_1(t)][1 - Q_2(t)]...[1 - Q_n t] \approx 1 - [Q_1(t) + Q_2(t) + ...Q_n(t)]$$

və ya

$$P_{cp}(t) = 1 - nQ_1(t) \qquad (1.12.)$$

İmtinasız iş ehtimalının istənilən zaman intervalında həlli vacibdir. Ehtimalın artması teoreminə əsasən imtinasız iş ehtimalı belə təyin olunur

$$P(T+t) = P(T) \cdot P(t) \quad \text{və ya} \quad P(t) = \frac{P(T+t)}{P(T)} \qquad (1.13.)$$

burada $P(t)$, $P(T)$ və $P(T+t)$ uyğun olaraq, t, T və $(T+t)$ zaman müddətində imtinasız iş ehtimalıdır.

1.3. Qəfləti imtina

Normal istismar dövründə qəfləti imtina, böyük həcmli, təsadüfi və əlverişsiz amillərlə müəyyən olunur. Təsadüf onunla bağlıdır ki, hadisənin səbəbi bizim üçün qaranlıq qalır. Yəni, maşının normal istismarı dövründə, imtina yeyilmə ilə baş vermir və etibarlılıq qəfləti baş verən imtina ilə xarakterikdir. Bu imtinalar bir çox əhəmiyyətsiz hadisələrin təsirindən yaranır və buna görə də sabit intensivliyə (tezliyə) malik olub, məmulun say artımından asılı deyildir. Bunu belə yazmaq olar

$$\lambda(t) = \lambda = 1/t_{cp} = const \qquad (1.14.)$$

t_{cp} – imtina vaxtının orta qiymətidir (adətən saatla). Əgər, λ $^{\text{imtina}}/_{\text{saat}}$- la ifadə olunarsa, onda kəsirin qiyməti azalır və imtinasız iş ehtimalı üçün yazmaq olar

$$P(t) = \ell^{-\int_0^t \lambda dt} = \ell^{-\lambda t} \qquad (1.15.)$$

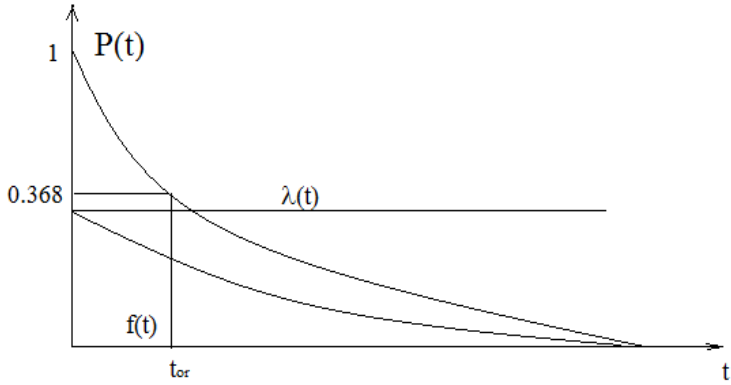
Belə ki, bu funksiya eksponensial qanunla paylanır və normal istismar şəraitində istənilən bərabər zaman intervalı üçün eynidir.

İmtinalar ehtimalının sıxlığı üçün yazmaq olar:

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \lambda \ell^{-\lambda t} \qquad (1.16.)$$

İmtinasız iş ehtimalının $P(t)$ və qəfləti imtina ehtimalın intensivliyinin $\lambda(t)$ və sıxlığının $f(t)$ zamandan asılı olaraq dəyişmə qrafikləri şək. 1.2.- də

təqdim olunmuşdur. Şəkildən göründüyü kimi qəfləti imtina intensivliyi zamandan asılı olaraq, sabit qaldığı halda imtinasız iş ehtimalı və qəfləti imtina ehtimalı eksponensial qanunla azalır. $\lambda t = t / t_{cp} = 1$ olduqda, $P(t) = 0{,}368$ qiymətini alır.



Şəkil 1.2. İmtinasız iş ehtimalının- $P(t)$, ehtimalın intensivliyinin- $\lambda(t)$ və sıxlığının - $f(t)$ zamandan asılılığı.

1.4. Tədrici imtina

Tədrici imtinalar, həmçinin yeyilmə imtinası kimi də təqdim olunur. Materialın yeyilməsi texniki sistemin etibarlılığına təsir edən vacib amil olub, hissələrin zədələnməsinə və tribotexniki sistemlərdə forma və materiya dəyişmələrinə səbəb olur və bu

dəyişmə hissənin və funksiyanın müəyyən müsaidəsini keçərsə, bütün texniki sistemin dayanmasına gətirib çıxarır.

Yeyilmə prosesinin zamana görə dəyişməsi əsasn üç faza ilə xarakterizqa olunur:

IV. İlkin yeyilmə, azalan yeyilmə sürəti ilə baş verir;

V. Sabit yeyilmə, sabit yeyilmə sürəti ilə baş verir;

VI. Artan yeyilmə, yüksək yeyilmə sürəti ilə baş verir.

Təsadüfi eksperimentlərin ümumi nəzəri modelləşdirilməsi və etibarlılıq parametrlərinin qiymətləndirilməsi üçün, ehtimalın paylanmasıda müxtəlif riyazi ifadələr tətbiq olunur. Tribotexnikada tədrici (yeyilmə) imtinalar üçün vacib olan paylanma funksiyalarını qısa olaraq, nəzərdən keçirək.

Normal paylanma. Burada tədrici imtinalar üçün elə bir paylanma qanunu lazımdır ki, bu qanun əvvəlcə imtina ehtimalının aşağı sıxlığını, sonra artmasını və nəhayət azalmanı ifadə etsin ki, bu da saz elementlərin sayının azalması ilə bağlıdır.

Normal qanuna əsasən imtinanın paylanma sıxlığı və tezliyi üçün yazmaq olar:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,\ell^{-(t-t_{cp})^2/2S^2} \qquad (1.17.)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-\Phi\left[\left(t-t_{cp}\right)/\sigma\right]} \qquad (1.18.)$$

(1.17.) və (1.18.) ifadələri Φ- standart normal paylanma göstəricisinə və iki məchula malikdir:

- Riyazi gözləmə və ya imtinaya qədər orta iş

$$t_{cp} = \sum t_i / N_\Sigma \qquad (1.19.)$$

- Orta kvadratık meyllənmə

$$\sigma = \sqrt{\sum (t_i - t_{cp})^2 / (N_\Sigma - 1)} \qquad (1.20.)$$

Normal paylanma ilə bir çox yeyilmə nəticəsində imtina halları xarakteriza oluna bilər. Bu hal xüsusən çoxlu zədələnmə proseslərinin üst-üstə düşməsi halında tətbiq olunur (məsələn, sürüşmə yeyilməsində).

Eksponensial paylanma. Burada sıradançıxma tezliyi- $\lambda(t)$, sıradançıxma vaxtının paylanma sıxlığı- $f(t)$, imtinasız iş ehtimalı- $P(t)$ və sıradançıxmaya qədər orta imtinasız vaxt $MTTF$ ("mean time to failure") üçün növbəti ifadələri yazmaq olar:

$$\begin{gathered} \lambda(t) \to \lambda = const \\ f(t) = \lambda \cdot exp(-\lambda t) \\ P(t) = \exp(-\lambda t) \\ MTTF = 1/\lambda \end{gathered} \qquad (1.21.)$$

Eksponensial paylanma ilə xarakteriza olunan texniki tətbiqlərdə imtina tezliyi zamandan asılı deyildir. Bu da o deməkdir ki, funksional iş ərzində, zədələr akkumulasiya olmadan (məslən, yorulma effekti olmadan) imtina təsadüfi hadisə kimi baş verir. Məsələn, bu halda materiallar və hissələr kövrəklikdən sınma səbəbindən imtina edə bilər.

Normal loqarefmik paylanma. Bu paylanma müsbət zaman oxunda yerləşir və o yerlərdə baş verir ki, statik qeyri-asılı hadisələrin böyük sayı birgə multiplikativ təsir edir. İmtina tezliyi hər hansı bir maksimuma qədər artır və sonra nisbətən sürətlə sıfıra qədər azalır. Buradan bu funksiya extrem gərginlik vəziyyətində yaşama ehtimalının modelləşdirilməsində tətbiq olunur (məsələn: qısa zamanda etibarlılıq sınağı üçün). Normal loqarefmik paylanamnı riyazi şəkildə belə ifadə etmək olar:

$$f(t)=\frac{1}{t\cdot\sigma\cdot\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t)-t_{cp}}{\sigma}\right)^2\right\}$$

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{1-\Phi\left[\left(\ln(t)-t_{cp}\right)/\sigma\right]} \qquad (1.22.)$$

$$P(t)=1-\Phi\left[\frac{\ln(t)-t_{cp}}{\sigma}\right]$$

$$MTTF=\exp\left(\frac{t_{cp}+\sigma^2}{2}\right)$$

Vaybul-paylanması. Xarakteristik uzunömürlülük (t_0) və sabit forma parametrlərindən (C), ibarət iki parametrli ən sadə paylanma formasıdır. C=1 olduqda eksponensial paylanma, C>1 olduqda kəskin yeyilmə, C<1 olduqda azalan yeyilmə baş verir. Səthinin ovulması ilə sıradan çıxan diyircəkli yastıqlar Vaybul-paylanması ilə təsvir olunur və bunu riyazi şəkildə aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

$$\lambda(t)=\frac{C}{t_0}\cdot t^{C-1}$$

$$f(t)=\frac{C}{t_0}\cdot t^{C-1}\,exp\left(-\frac{t^C}{t_0}\right) \qquad (1.23.)$$

$$R(t)=exp\left(-\frac{t^C}{t_0}\right)$$

$$MTTF=t_0^{1/C}\cdot\Gamma\left(\frac{C+1}{C}\right)$$

Qamma-paylanması. Bu funksiya eksponensial paylanma qanununa tabedir. Bunu belə izah etmək olar ki, hissə və ya texniki sistem x-ci gərginlik impulsunda imtina edir və bu da C parametri ilə poyson-paylanması kimi təsvir olunur.

$$f(t)=C\cdot\frac{(C\cdot t)^{x-1}}{\Gamma(x)}exp(-C\cdot t),$$

$$\lambda(t)=C\cdot t^{x-1}\,exp\frac{-C\cdot t}{[\Gamma(x)-\Gamma(x,C\cdot t)]} \qquad (1.24.)$$

$$R(t)=\frac{\Gamma(x)-\Gamma(x,C\cdot t)}{\Gamma(x)}$$

$$MTTF=x/C$$

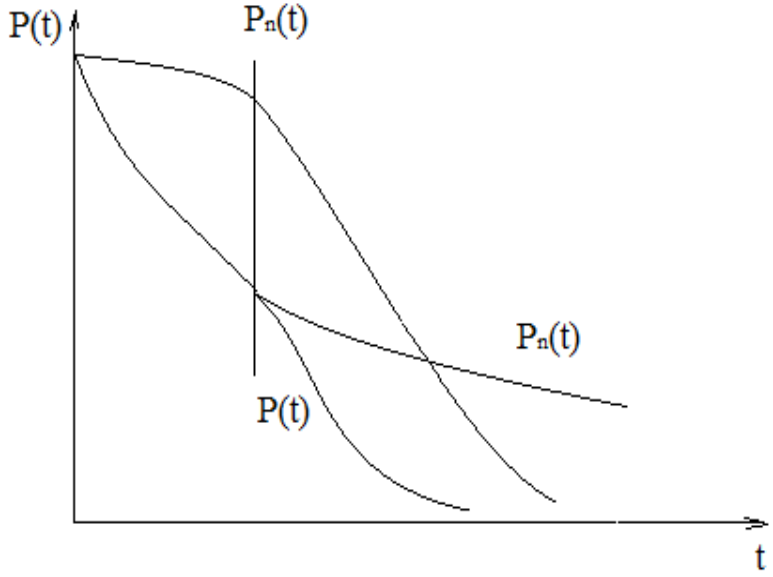
burada $\Gamma(x)$- Qamma funksiyasıdır.

Qəfləti və tədrici imtinaların birgə təsiri zamanı etibarlılıq. Ehtimalın artması teoreminə əsasən t periodu ərzində qəfləti və tədrici hadisələrin iminasız iş ehtimalı belə təyin olunur

$$P(t)=P_b(t)P_i(t) \qquad (1.25.)$$

$P_b(t) = \ell^{-\lambda t}$ və $P_i(t) = \frac{P(T+t)}{P(t)}$ uyğun olaraq, qəfləti və tədrici (yeyilmə) imtinaların baş verməməsi ehtimalıdır.

Aşağıdakı şəkildə imtinasız iş ehtimalının əyriləri verilmişdir.

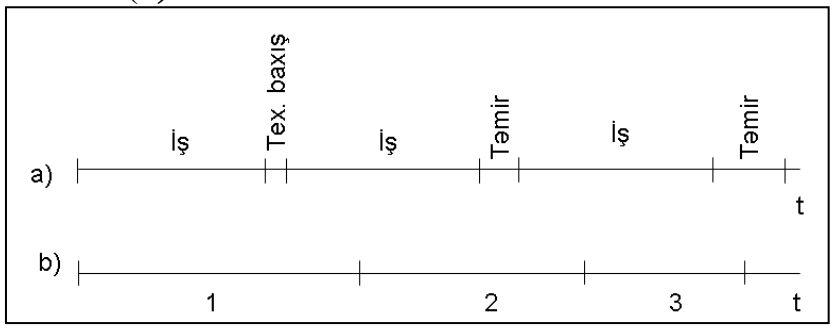


Şəkil 1.3. Qəfləti və tədrici hadisələrin iminasız iş ehtimalı.

Tədrici (yeyilmə) imtinaların intensivliyi az olanda, P(t) və $P_b(t)$ əyriləri üst – üstə düşür və sonrakı azalmada qəflətən enir (şək. 1.3.). Bu zaman yeyilmə imtinalarının ehtimalı, qəfləti imtinaların ehtimalından dəfələrlə böyük olur.

1.5. Bərpa olunan məmulun etibarlılığı

Bərpa olunmayan məmullar üçün birinci imtina, bərpa olunan məmullar üçün isə birinci və növbəti imtinalar nəzərdə tutulur. Bərpa olunmayan məmula aid bütün müzakirələr bərpa olunan məmulun birinci imtinasına aid oluna bilər. Bərpa olunan məmulun iş və istismar qrafikləri şək. 1.4.- də göstərilmişdir. Birinci qrafik iş dövrünü, təmir və profilaktiki (baxış) tədbirləri (şək. 1.4.,*a*), ikinci isə yalnız iş dövrünü göstərir (şək. 1.4.,*b*). Zaman keçdikcə təmirlərarası iş dövrü qısalır (*b*), təmir və profilaktiki tədbirlər dövrü isə artır (*a*).



Şəkil . 1.4. Bərpa olunan məmulun iş və istismar qrafiki.

Bərpa olunan məmullarda imtinasızlıq xüsusiyyəti bir məmula aid imtinaların orta sayı- m_{cpoT}, həmçinin imtinaların tezliyi ilə və ya imtina axınının parametri- $\Lambda(t) = \frac{dm_{cp.oT}(dt)}{dt}$ ilə xarakterizə olunur.

İmtinaların tezliyi imtinaların intensivliyinə analojidir, amma bu hal növbəti imtinanı da nəzərə alır. Mürəkkəb məmulda (sistemdə) imtinaların tezliyinin yekun qiyməti imtinaların tezliklərinin cəmi ilə ifadə olunur.

$$\Lambda(t) = \Lambda_1(t) + \Lambda_2(t) + ... \qquad (1.26.)$$

Məmulun imtinaya qədər orta işi üçün yazmaq olar:

$$T_{cp} = 1/\Lambda;\ 1/T_{cp} = \frac{1}{t_{cp_1}} + \frac{1}{t_{cp_2}} + ... \qquad (1.27.)$$

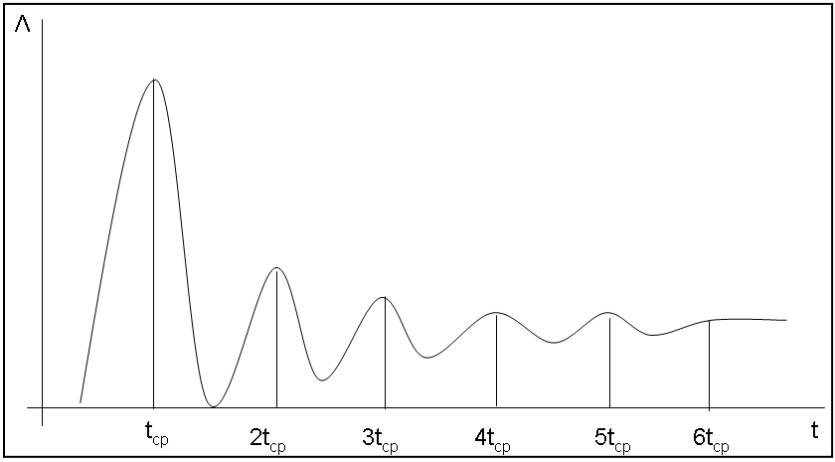
Qəbul edək ki, yeyilmə (tədrici) imtinasının qarşısını almaq üçün detalın profilaktiki tədbirdə dəyişdirilməsi nəzərə alınmır və element onun imtinasından sonra dəyişdirilir. Zamana görə imtina tezliyinin qrafikində birinci, ikinci və üçüncü nəsil elementlərin orta xidmət müddətinə uyğun maksimumlar müşahidə olunur. Hər növbəti nəslin dispersiyası əvvəlki ilə müqayisədə qəflətən artır (şək. 1.5.).

Imtinaların tezliyinin ($\Lambda(t) = \Lambda = 1/t_{cp}$) əyrisi bir-birilərinin üzərinə toplanır və imtinalar tezliyinin cəm qiyməti sabitə yaxınlaşaraq, qəfləti imtinaların fəaliyyəti dövründən çox böyük alınır.

Burada əsas göstərici texniki istifadə əmsalıdır. n elementdən ibarət bir əmsallı sistem üçün yazmaq olar

$$\eta_{CT} = \frac{T_{pab}}{T_{pab} + T_{pr}} = \frac{1}{1 + \frac{T_{pr}}{T_{pab}}} = \frac{1}{1 + \frac{n(1-\eta)}{\eta}} \qquad (1.28.)$$

burada T_{pab}- iş vaxtı, T_{pr}- boş qalma vaxtıdır. Məxrəcdə olan ikinci toplanan (n(1-η)/η) nisbi boş dayanma vaxtını xarakteriza edir; (1-η)- bir elementin nisbi boş dayanma vaxtıdır; 1/η- təmir zamanı məmulun imtina etmədiyini nəzərə alır.

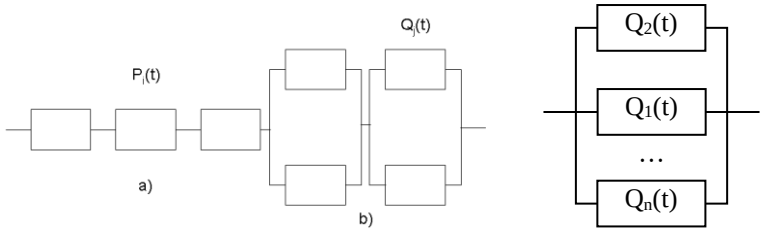


Şəkil 1.5. Zamana görə imtina tezliyi.

1.6. Rezervli sistemin etibarlılığı

Çoxlu elementlərdən ibarət olan sistemin etibarlılığı azalır və belə bir sistemin yüksək etibarlılığı tələb olunduqda, rezervləşdirmə tətbiq olunur (şək. 1.6.). Buna misal olaraq, maşında 3 növ tormoz sisteminin, təyyarədə 4 mühərrikin tətbiqini,

elevatorların paralel işləməsi və ya rezerv saxlayıb, pik saatında qoşulmasını göstərmək olar. Rezervləşdirmə ilə imtinaları bir neçə dəfə azaltmaq olar.



Şəkil 1.6. Rezervləşdirmə. a- rezervsiz ardıcıl əlaqə, b- parallel qoşmaqla ardıcıl elementin rezervləşdirilməsi, c- elementlərin parallel qoşulması ilə rezervləşdirmə.

Rezervləşdirmə zamanı sistemdə baş verən imtinalar ehtimalı belə təyin olunur:

$$Q_{st}(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t).....Q_n(t) = \prod_1^n Q_i(t) \qquad (1.29.)$$

İmtinasız iş ehtimalı üçün yazmaq olar:

$$P_{st}(t) = 1 - Q_{st}(t) \qquad (1.30.)$$

Maşınların etibarlılığını qiymətləndirən zaman əsas diqqət imtinaların təsnifinə ayrılmalıdır. Məsələn, yükgötürmə qabiliyyəti 8t olan avtomobilin 100min.km yürüşündən sonra yaranan imtinaların 40%-i yeyilmədən, 20%-i plastik deformasiyadan, 18%-i yorulmadan, 12%-i tempraturdan baş verir.

1.7. Maşınların etibarlılığının yüksəldilməsi üsulları

Maşınların etibarlılığının təminatı mərhələlərini şərti olaraq üç qrupa bölmək olar:

1. Konstruktiv;
2. Texnoloji və;
3. İstismar.

Konstruktiv üsullar maşınların layihələndirilməsi zamanı tətbiq olunur və burada növbəti məsələlər həll olunmalıdır:

- Ən yüksək yeyilməyədavamlılığı nəzərə alaraq, mexanizmin prinsipal sxeminin optimal seçilməsi;
- Açıq sürtünmə cütlərindən qapalı cütlərə keçmək;
- Səthdə təzyiqin azaldılmasını və bərabər paylanmasını təmin etmək;
- Xarici sürtünmənin daxili sürtünmə ilə əvəz olunması;
- Antifriksion cütlərin materiallarının düzgün seçilməsi;
- Sürüşmə sürtünməsinin diyirlənmə sürtünməsi ilə əvəz olunmsı və s.

Növbəti üsul texnoloji tədbirlərə aiddirlər. Bu üsul sürtünmə cütlərinin adheziyaya meylini və yeyilməsini azalda biləcək, maşın hissələrinin səthlərində tələb olunan xüsusiyyətli təbəqənin yaradılmasına əsaslanır:

- İlk növbədə verilmiş üsula, materialın emalı növünün və səthin kələ - kötürlüyünün düzgün seçilməsini aid etmək lazımdır;
- Sürtünmə səthlərinin tribotexniki xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırmaq üçün, səthi emal etmək və ya səthə örtük çəkmək və s.

Maşınların istismarina düzgün əməl etmədikdə, hətta konstruktiv və texnoloji baxımdan yüksək etibarlılığa malik olan hissələr qisa müddət ərzində sıradan çıxırlar. Buna görə də maşınların istismarı istehsalçı zavod tərəfindən tərtib olunmuş, texniki pasport və istismar qaydalarına əsaslanmalıdır. Etibarlılığın təminatının istismar göstəricilərinə aiddir:

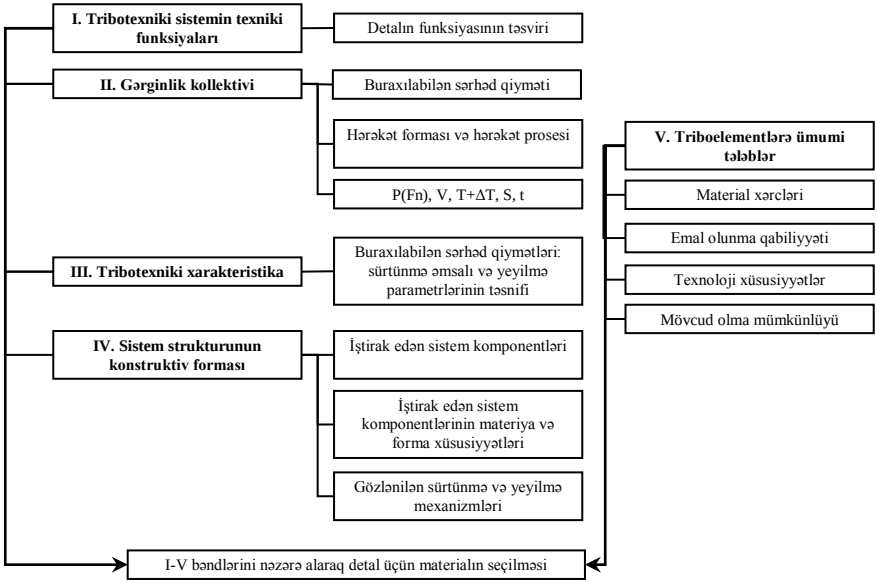
- İstismar zamanı yağlanmanın düzgün aparılması;
- Nizamlama və təmir əməliyyatı;
- İşəsalmadan əvvəl optimal temperatur və ya maşının soyuq vəziyyətində optimal dövrlər sayı və s.

2. Tribotexniki materiallar və səthin emalı texnologiyası

2.1. Materialın seçilməsində sistem metodu

Materialın seçilməsinin ümumi sistem metodikasına əsasən tribotexniki hissələr üçün material seçilməsi metodikası şək. 2.1.- də təqdim olunmuş, sadə sxemə əsaslanır. Seçmə metodikasında aşağıdakı ümumi baxışlar nəzərə alınmalıdır:

I. qabaqcadan verilmiş ***texniki funksiya*** əsasında, axtarılan detalın materialının funksional təsviri verilir və onun aid olduğu, material qrupları müəyyənləşdirilir. Məsələn: yastıqlar üçün materiallar, kontakt materialları, alət poladları və s.;
II. burada ***gərginlik kollektivinə*** daxil olan parametrlərin buraxılabilən sərhəd qiymətləri, o cümlədən hərəkət forması, hərəkətin növü və həqiqi gərginlik parametrləri müəyyən olunmalıdır. Bunlara səthə düşən təzyiq, sürüşmə sürəti, temperatur, sürtünmə yolu, gərginlik müddəti və s. daxildir;



Şəkil 2.1. Tribotexniki detallar üçün ilkin materialın seçilməsində sadələşdirilmiş sistem metodikası.

III. ***Tribotexniki xarakteristikanın*** işlənməsində tribotexniki xüsusiyyətlər, yəni sürtünmə və yeyilmənin miqdarının icazə verilən sərhəd parametrləri təsnif olunmalıdır;

IV. ***Sistemin strukturuna kostruktiv forma*** verməklə, sistem komponentləri və onlar arasındankı qarşılıqlı təsirlər tərtib olunur. Burada iştirak edən sistem komponentləri, onların material və forma xüsusiyyətləri, gözlənilən sürtünmə və yeyilmə prosesləri mütləq nəzərə alınmalıdır;

V. I və IV qrupa daxil olan parametrlərlə yanaşı, əlbəttə ki, hər bir material üçün ***triboelementə olan ümumi tələblər*** nəzərə alınmalıdır. Bu tələblərə

material xərcləri, emal oluna bilmə qabiliyyəti, texnoloji xüsusiyyətlər və əldə edilə bilmə mümkünlüyü və müddəti aiddir.

2.2. Materiala ümumi texnoloji tələblər

Bir çox maşın detalları və onların iş şəraiti, hissələri həm tökmə və həm də deformasiya oluna bilən materiallardan hazırlamağa imkan verir. Belə halda iqdisadi göstəricilər əhəmiyyətli rol oynayır. Məsələn, tökmə üsulu ilə emal olunan valların qiyməti ştamplama ilə emal olunan vallarla müqayisədə 2-3 dəfə azdır.

Məlumdur ki, mürəkkəb formalı çoxsaylı qabırğa və arakəsmələrdən ibarət olan detallar tökmə materialı tələb edir. Stasionar maşınlarda gövdə detalları tökmə üsulu ilə alınır və bu hissələr maşının materialının 80-85%-ni təşkil edir. Nazık divarlı detallar (lövhələr və lövhə konstruksiyaları, nazik divarlı borular, tavr, tirlər və s.) təzyiqlə emal oluna bilən materialları tələb edir.

Poladların kəsici alətlə emal olunabilmə xüsusiyyəti adətən kəsmə sürəti və səthin kələ-kötürlüyü baxımından qiymətləndirilir. Adi konstruksiya poladlarında markanın seçilməsində emal olunma xüsusiyyəti əsas rol oynamır. Kəsmə

sürətini təyin edən əsas mexaniki xüsusiyyət, möhkəmlik həddidir. Avtomat poladların kəsmə sürəti, orta karbonlu poladlara nisbətən 20% yüksəkdir. Hər şeydən əvvəl nəzərə alınır ki, legirləyici elementlərdən karbon kəsmə sürətini azaldır (yalnız 0,5%- ə gədər hədlərdə, növbəti artım təsir etmir). Karbondan sonra kəsmə sürətinə silisiumun təsiri nəzərə alınmalıdır. Mangan və nikel praktik olaraq, kəsmə sürətinə təsir etmir. Emal üçün daha çox ərverişsiz olanı özlülü austesnit poladıdır. Martensit strukturunda emal nailiyyətlə yerinə yetirilir.

Alətlərin dözümlülüyü emal olunan materialda qeyri-metal qarışığın təsirindən xeyli azalır. Poladın tərkibinə yüzdə bir faizlə qurğuşun qoşduqda, onun emal olunabilmə qabiliyyəti yaxşılaşır. Məsələn, dişli çarxın materialına qurğuşun əlavə etdikdə, dişkəsən alətin uzunömürlülüyü dəfələrlə artır.

Maşın detallarının etibarlılıq və uzunömürlülüyünün azalmasının əsas səbəblərindən biri pardaqlamadan alınan yanmaların və çatların olmasıdır. Legirləyici poladlardan olan hissələrin emalı təcrübəsinə əsasən, detalın pardaqlanması zamanı yanması ilə əyilmədə möhkəmlik həddi 25% azala, çatlar isə üç dəfə arta bilər. 12X2H4A poladından (HRC-60-61) olan nümunənin pardaqlanma təcrübəsinə əsasən, pardaqdan yanma bərkliyinin 10 vahid azalması kontakt uzunömürlülüyünü 8 dəfə, möhkəmlik həddini 25% azaldır. Poladların temperatura qarşı dözümlülüyünün

artırılması, parlaqlamada yanmaya müqaviməti və eləcədə etibarlılıq və uzunömürlülüyü yüksəldir.

Lifli metal materiallar daha da prespektivlidir. Burada yüksək möhkəmlikli liflərdən olan kompozisiya yumşaq əsasda (matriksdə) yerləşir. Əsas yükü liflər qəbul edir, yumşaq matriks isə yükün burada paylanmasını təmin edir. Kompozisiya materialları yüksək möhkəmliyə malik olub, strukturla əlaqədar olaraq, gərginliklərin konsentrasiyasına az həssasdır.

Bir detalın müxtəlif hissələri iş qabiliyyətinin müxtəlif kriteriyalarına malikdir. Məsələn, əsas gövdə möhkəmlik və sərtlik kriteriyalarına aid olunur. Səth təbəqəsi isə yeyilməyə və korroziyaya qarşı davamlılıq kriteriyalarına aiddir.

Normal temperaturda və atmosfer təzyiqində işləyən detalların materiallarına olan tələblərə aşağıdakıları aid etmək olar:

1. Materialların möhkəmliyinin artırılması;
2. Materialın gərginliklərin konsentrasiyasına olan meylini azaltmaq (yəni, çatların yayılmasına müqaviməti artırmaq);
3. Bircinsliyini yüksəltmək;
4. Yüngül konstruksiya baxımından, xüsusi möhkəm materiallar yaratmaqla hissələrin en kəsiyini və ya kontakt sahəsini azaltmaq;
5. Kompozisiya materiallarını tətbiq etmək;
6. Materialın elastikliyinin stabilliyini təmin etmək;

7. Yaxşı texnoloji xüsusiyyətə, stabilliyə, yüksək elastiklik moduluna malik ucuz materialların yaradılması;
8. Yeyilməyə, xüsusən adheziyaya qarşı yüksək müqavimətə malik friksion və antifriksion materialların yaradılması;
9. Yeyilməyən materialın inkişaf etdirilməsi.

2.3. Yeyilmə və yeyilmənin azaldılması tədbirləri

Yeyilmə mexanizmi kimi, triboloji sistemin kontakt sahəsində baş verən fiziki və kimyəvi qarşılıqlı təsirlər təsvir olunur. Bunlar da dissipasiyalı (enerjinin başqa enerjiyə çevrilməsi) elementar hadisələrlə nəticələnir və nəhayət materiya və forma dəyişmələrinə gətirib çıxarır.

Yeyilmə prosesi kontakt sahəsində zaman və məkanca stoxastik paylanmış mikrokontaktlarda baş verir və yeyilmənin miqdarı triboloji sistemin strukturundan və həmçinin gərginlik kollektivindən asılıdır.

Tribotexniki sistemin növündən və kinematikasından asılı olaraq yeyilməni aşağıdakı növlərə bölürlər:

- Bağlı sistem strukturuna malik tribosistemlərdə aşağıdakı növ yeyilmələr baş verə bilər:
  - sürüşmə yeyilməsi;
  - diyirlənmə yeyilməsi;
  - zərbəli yeyilmə;
  - titrəyişli yeyilmə;
  - mikrokəsmə ilə yeyilmə (qarşı tərəfin kəsilməsi).
- Açıq sistem strukturuna malik tirbosistemlərdə aşağıdakı növ yeyilmələr baş verə bilər:
  - mikrokəsmə ilə yeyilmə (hissəciklə kəsilməsi);
  - şırnaqlı (səthə qarşı zərbəli axın) yeyilmə;
  - erroziyalı yeyilmə (axınlı yeyilmə).

Bütün yeyilmə növlərində, səthin ovulması, abraziv, adheziya, tribokimyəvi reaksiyalar kimi yeyilmə mexanizmləri baş verə bilər.

Yeyilmə növünün və yeyilmə mexanizminin müxtəlifliyindən, həmçinin buna aid olan parametr və təsir faktorlarından asılı olaraq, yeyilmənin azaldılması tədbirləri xüsusi olaraq vahid hala yönəldilməlidir.

İlk növbədə tribokontaktın ləvğ olunması, yəni xarici sürtünmənin daxili sürtünmə ilə əvəz olunması məsələsinə baxılır (məsələn, axının, elastiki bərk cisimin tətbiqi). Bu mümkün olmadıqda, yeyilməni azalda bilən tədbirlər ya gərginlik kollektivinin modifikasiyası- məsələn: səth təzyiqinin azaldılması, kinematikanan yaxşılaşdırılması (sürüşmə əvəzinə

diyirlənmə) və yaxud da tribosistemin strukturuna uyğun konstruksiya, material seçimi və ya yağlama ilə təsir etmək lazımdır. Həmçinin, yeyilmədən qorunmaq üçün təsir edən yeilmə mexanizminə məqsədli təsir xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

Yeyilmənin qarşısının alınması tədbirlərini nəzərdən keçirək:

Abraziv yeyilməyə qarşı materialın davamlılığının artırılması üçün ilk növbədə onun bərkliyini abrazivin bərkliyini nəzərə almaqla, artırmaq lazımdır. Bu zaman material seçimi üçün aşağıdakılar vacibdir:

- gərgin vəziyyətdə olan materialın bərkliyi qarşı tərəfin bərkliyindən 1,3 dəfə çox olmalıdır;
- tərkibdə bərk fazalar olmalıdır. Məsələn: sərt matriksdə karbidlərin olması;
- əgər, müdaxilə edən tərəf materialdan bərkdirsə, onda materialın sərtliyini artırmaq lazımdır.

Səthin ***ovulmasının*** qarşısının alınması üçün növbəti tədbirlər təklif olunmuşdur:

- yüksək bərkliyə və sərtliyə malik materiallar tətbiq etmək;
- materialın bircinsliyini yüksəltmək (məsələn: diyircəkli yastıq poladları);
- səthdə sıxıcı qalıq gərginlikləri artırmaq (məsələn: sementləmə, azotlama və s.).

Tribotexniki səthlərin ***adheziyanın*** təsirindən yeyilməsinin qarşısını almaq üçün növbəti tədbirlər təklif olunmuşdur:

- yağlamanın tətbiqi və yağlama keyfiyyətinin yüksəldilməsi;
- ağır gərginlikli vəziyyətdə səthdə yaranan absorbsiya və reaksiya təbəqəsinin (şemisorpsiya) dağılmasının qarşısının alınması tədbirləri;
- ağır yüklənmələrdə tərkibində EP- aşqarı olan (Extreme Pressure – ağır təzyiq) yağların tətbiqi;
- metal/metal tribotexniki cütündən imtina edərək, plastik/metal, keramik/metal, plastik/plastik, keramik/keramik, plastik/keramik cütlərinə üstünlük vermək;
- metal cütlərdə, üzləri mərkəzləşmiş deyil, həcmi mərkəzləşmiş və heksoqonal quruluşlu qəfəsə malik metalların, həmçinin heterogen quruluşlu materialların (qeyri-bircins, müxtəlif fazalı) tətbiqi.

Tribotexniki cütlərin istismarı zamanı, kontakt səthlərində ***tribokimyəvi*** reaksiyaların qarşısının alınması üçün növbəti tədbirlər vacibdir:

- heç bir metal, ən son anda nəcib metal, bunların əvəzinə plastik və keramik materialların tətbiqi;
- güclə birləşmələr əvəzinə, forma ilə birləşmələr tətbiq etmək (məsələn: kardan valının yan səthində pazlarla birləşmə);
- aralıq və ətraf mühit materialları heç bir oksidləşdirici tərkibə malik olmamalıdır;
- hidrodinamiki yağlamanın tətbiqi.

Məlumdur ki, materialın yeyilməsində bir və ya bir neçə yeyilmə mexanizmi **üstünlük** təşkil edə bilər.

Buna görə də materialın yeyilməyə davamlılığının yüksəldilməsində məsələyə sistemli baxılmalıdır.

Yeyilmənin mexanizminə təsir etməklə yanaşı, həmçinin növbəti tədbirlər də təklif olunmuşdur:

Tribokontaktın ləvğ olunması ilə yeyilmənin azaldılması tədbirlərinə aiddir:

- xarici sürtünmənin daxili sürtünmə ilə əvəz olunması. Maye və ya elastik bərk cisimin tətbiqi;
- mexatronik aktorlar, yəni tribokontaktların yükdaşıyan elektromaqnit sahəsi ilə əvəz olunması;
- pnevmatik yastıqların tətbiqi ilə quru sürtünmənin aradan qaldırılması.

Gərginlik kollektivinin təsirlərini və sonda yeyilmənin azaldılmasına növbəti modifikasiyalar təklif olunmuşdur:

- kinematika
- yük və səth təzyiqi;
- termiki təsir və temperatur;
- gərginliyin davametmə müddəti.

Yeyilməyə davamlılıq, başqa yayılmış mexaniki xassələrlə müqayisədə daha yüksək dərəcədə bərkliklə təyin olunur və bərkliyin artması ilə əhəmiyyətli dərəcədə artır.

Abraziv yeyilmə zamanı yeyilməyə davamlılıq M.M. Xruşova görə materialın təbii bərkliyindən asılı olub, koordinat mənbəsindən keçən düz xətlə ifadə olunur. Amma, termiki və kimyəvi-termiki üsullarla

emal olunmuş detalların yeyilməyə davamlılığı, bərkliyin artması ilə xətti artsa da, koordinat başlanğıcından keçməyib, bir az maili olur. Belə ki, materialların bərkliyi eyni olduğu halda, təbii bərk material bərkidilmiş materiala nisbətən daha da yeyilməyə davamlıdır.

Adheziyaya müqavimət, kontaktda olan materialların kimyəvi oxşarlığının az olması, onların bərkliyi və istismarda əmələ gələn qoruyucu təbəqənin mövcudluğu ilə bağlıdır. Kontakt cütlərinin hər ikisi yüksək bərkliyə və ya biri maximum bərk, o biri isə yumşaq antifriksion materiala malik olduqda yüksək yeyilməyə davamlılığa nail olunur. Məsələn, yastıq materiallarının iş şəraitinə uyğun olaraq, ona növbəti tələblər irəli sürülür:

1. valın materialı ilə yağ cütündə aşağı sürtünmə əmsalı;
2. yeyilmə və adheziyaya yüksək müqavimət;
3. kifayət qədər yorulma möhkəmliyi (dəyişən yük altında).

Bu kompleks tələbatı təmin etmək üçün yağın yağlama qabiliyyəti, korroziyaya qarşı davamlılıq, materialın istilik keçiriciliyi və elastiklik xarakteristikaları yüksək olmalıdır. Antifriksion ərintilər üçün müxtəlif bərklikli struktur səmərəlidir, amma mütləq deyildir. Belə strukturada daşıyıcı çıxıntılar üzərində yumşaq tərkib, bərk yağlamanı

təmin edir və yağın dövriyyəsi şəraitində mikrokanallar əmələ gəlir. Yeyilmə prosesinə, bərk detalın mikroçıxıntılarnın materialı plastik kəsməsi kimi baxdıqda, yeyilməni azaltmaq üçün əsasın axıcılıq həddi ilə əlaqədar kəsilməyə müqaviməti azaltmaq məqsədəuyğundur. Yəni, daha sərt əsas üzərində nazik yamşaq təbəqə tətbiq etmək lazımdır.

Antifriksion materiallardan fərqli olaraq, friksion materiallar yüksək sürtünmə əmsalına, yüksək temperaturlarda stabilliyə, yeyilməyə davamlılığa və yapışmaya müqavimətə malik olmalıdırlar. Burada metal-keramik materiallar daha prespektivlidir.

2.4. Səth təbəqəsi və səthin emalı texnologiyaları

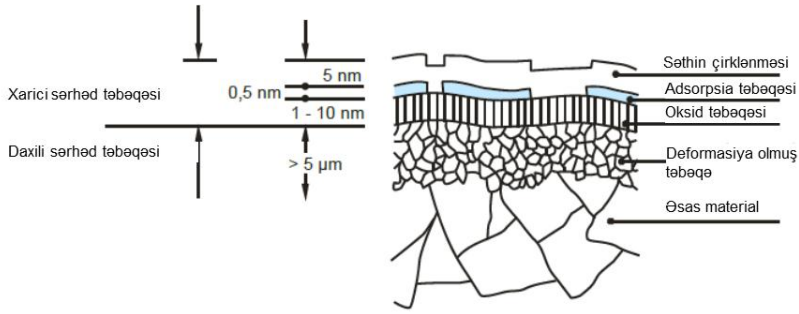
Texniki səthlər texniki detalların həndəsi sətlərini təsvir edirlər. Səthlərdə olan kristal qəfəsin atomları bütün tərəflərdən qəfəs atomları ilə əhatə olunmadığından, səthdə potensial yaranır ki, bu da ətraf mühitlə qarşılıqlı təsirə səbəb olur. Metal materiallarda havada olan oksigenin təsiri ilə onların səthində oksid təbəqəsi və bunun da üzərində qaz və ya maye formalı çirklər fiziki və ya kimyəvi üsullarla səthlə qarşılıqlı təsirdə olur (fisiki və ya kimyəvi absorpsiya olunmuş təbəqə). Bundan əlavə səthin

hazırlanma üsulu da nəzərə alınmalıdır. Gərginlikli emal olunmuş və deformasiya etmiş səthlər əsas materialla müqayisədə aşağıdakı dəyişikliklərə məruz qalırıar:

- müxtəlif bərkliklər;
- qalıq gərginliklərin yaranması;
- sərhədlə əsas material arasında homogen toxumanın əmələ gəlməsi.

Metal materialın üzərində texniki səthin əmələ gəlməsi sadə formada şək. 2.2.- də verilmişdir. Texniki səthin xarakteriza olunması üçün, daxildən xaricə üç sahə - əsas material, daxili və xarici təbəqələr fərqləndirilir.

Daxili sərhəd təbəqəsi hazırlama üsulundan asılı olaraq, əsas materialdan fərqlənən deformasiya və bərkimə zonalarından, xarici sərhəd təbəqəsi isə əsasən əsas materialdan fərqlənən tərkibə malik olub, oksid, adsorpsia və çirklənmələrdən ibarətdir.



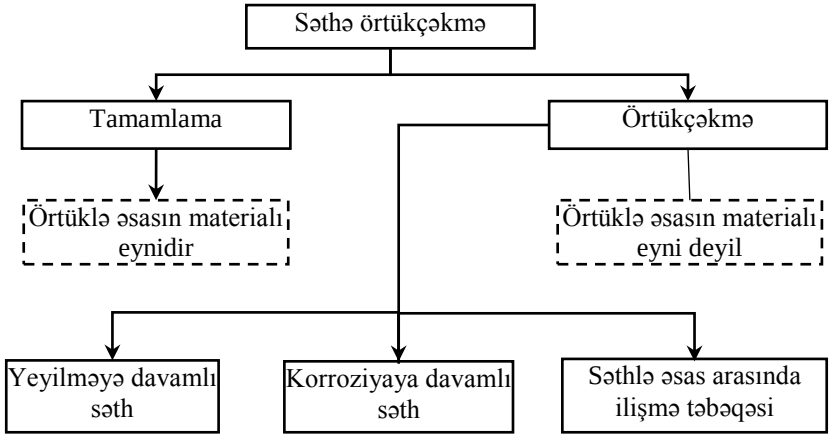
Şəkil 2.2. Texniki səthin quruluşu: metal səthin en kəsiyinin sxematik təsviri.

Materialların yeyilməyə davamlılığının yüksəldilməsi üçün səthi əsasən mexaniki (diyircək və ya kürə ilə diyirlədərək emal, döyəcləmə, qırma axın, hidroqırma axınlı, hidroabraziv və s.), termiki (yüksək tezlikli cərəyan və oksigen-asetilen alovunda trablama və s.) və kimyəvi-termiki (tablama ilə sementləmə, azotlama, sianidləmə, nitrosementləmə və s.) üsullarla emal edirlər.

Səthi emal, həcmi emalla müqayisədə xeyli səmərəlidir. Həcmi emal zərbə özülüyünün azalması və kontakt gərginliklərinə həsaslığın artmasına səbəb olur. Səthi möhkəmləndirmənin səmərəliliyi səth qatının möhkəmləndirilməsi və səth təbəqəsində sıxıcı qalıq gərginliklərin yaranması ilə bağlıdır. Səthlərində gərginliklər konsentrasiyası yarana bilən detalların səthi möhkəmliyinin artırılması xüsusən əhəmiyyətlidir. Səthi bərkidilmiş detalın möhkəmliyi, həcmi bərkitməyə uğradılmış detalın möhkəmlyinə nisbətən çox alına bilər. Belə ki, sementlənmiş dişli çarxların əyilmədə yorulma möhkəmliyi həcmi tablama ilə emal olunan dişli çarxlara nisbətən 30-40% çoxdur.

Bir çox hallarda bahalı materialların tribocütlərin bütün həcmində tətbiqi texniki-iqtisadi baxımdan səmərəli olmur və səthin məqsədəyönlü dəyişdirilməsi üçün tətbiq olunan digər səth texnologiyaları effekt vermir. Belə olan halda, səthə örtükçəkmə üsullarına üstünlük verərək, yalnız səth təbəqəsinə tələb olunan keyfiyyətdə bahalı örtüklər çəkilir. Materialların

səthinə örtükçəkmə məqsədləri şək. 2.3.- də təqdim olunmuşdur.



Şəkil 2.3. Örtükçəkmə məqsədləri.

Səthə eyni tərkibli materialın çəkilməsi tamamlama əməliyyatı kimi qəbul olunur. Səthə əsasdan fərqlənən başqa tərkibli örtüklərin çəkilməsi, təbəqənin funksiyasından asılı olaraq, səthlə əsas/başqa səth arasındakı ilişməni yaxşılaşdırmaq, yeyilməyə və korroziyaya qarşı davamlılığı artırmaq məqsədi ilə aparıla bilər (şək. 2.3.).

Qeyd olunmuş üsullara aid texnika və texnologiya haqda ətraflı məlumatlar ayrı-ayrı fəsillərdə veriləcəkdir.

Səthin emalı üsulundan və emal mühitindən asılı olaraq, səthi qoruma təbəqələri metalloidlərdən, metallardan, ərintilərdən, intermetallik birləşmələrdən,

qeyri-metal birləşmələrdən və bunların kombinasiyasından ola bilər.

Qoruyucu səthin funksional fəaliyyətininin keyifiyyətini qiymətləndirmək üçün əsasən onun kimyəvi tərkibini, faza dəyişməsini, mikrostrukturunu, strukturunu, teksturunu (kristallaşma zamanı dənəciklərin və ya qəfəsdə atomların orientasiyasını), elastiklik modulunu, eninə poyson əmsalını, istilik keçirmə qabiliyyətini, istidən genişlənmə əmsalını, qalıq gərginliklərini, plastikliyini, əsasla ilişmə möhkəmliyini, qalınlığını, bərkliyini, kələ-kötürlüyünü nəzərə almaq vacibdir.

Bunlardan əlavə bəzən səthin parlaqlığı, elektrik keçirmə qabiliyyəti və başqa xüsusiyyətlıri də səthin funksional elementlərinə aid ola bilər.

Faza dəyişmələrinə və quruluşlarına görə növbəti örtük növləri fərqləndirilə bilər:

- mono təbəqələr (məsələn: xrom, nikel, mis və s);
- çoxtəbəqəli örtüklər (məsələn: *titan karbid-titan nitrid-alüminium oxid-* dən ibarət üçtəbəqəli örtük);
- tərkibində bərk ərinti hissəcikləri olan örtüklər (məsələn: nikel-silisium-örtükləri və ya karbidlərlə bərk legirləmə);
- əlaqələndiricili bərk ərintilər (məsələn: volfram karbid-kobalt-örtükləri).

3. Yüksək tezlikli cərəyanın tətbiqi ilə detalların emalı texnologiyası

3.1. Yüksək tezlikli cərəyanın tətbiqi ilə detalların emalının aktuallığı

Praktikada daha çox yüksək tezlikli cərəyanın (YTC) təsiri altında, yalnız detalın səthi induksiya üsulu ilə qızdırıb, tablama əməliyyatı aparmaqla emal edirlər. Çünki, səthin yüksək tezlikli cərəyanla tablanması, həcmi tablamaya və digər səthi tablama üsullarına nisbətən bir sıra əhəmiyyətli üstünlüklərə malikdir. Bunlara aşağıdakılar aiddir:

- nisbətən kiçik əmək tutumu və yüksək məhsuldarlıq;
- prosesin mexanikləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması mümkünlüyü;
- tablama istehsal axınını pozmadan, mexaniki sexdə yerinə yetirilə bilər və bu halda detalların termiki emal sexinə daşınması və qaytarılmasına ehtiyac olmur;
- karbonun yanmasının, oksidləşmənin və posanın əmələ gəlməsinin baş verməməsi;
- minimal deformasiya və qabarmalar;
- səthdə yüksək sıxıcı (<700-800MPa), özəkdə isə dartıcı ((<300-400MPa) qalıq gərginliklər detalın yorulmaya müqavimətini artırır;

- tablanmış təbəqənin dərinliyinin kifayət qədər dəqiqliklə tənzimlənməsi;
- emal olunan detalın bərkliyi, yeyilməyə davamlılıq və möhkəmlik həddi artır;
- materialın daxili özlülüyünü saxlayaraq zərbəşəkilli yükləri yaxşı qəbul edir;
- səthin bərkliyi onun kimyəvi tərkibini dəyişmədən aparıldığından, səth təbəqəsi əsasla yaxşı ilışməyə malik olub, digər üsullarla alınan təbəqələrlə müqayisədə az kövrəkliyə malik olurlar;
- iqtisadi baxımdan nisbətən səmərəli poladların istifadə mümkünlüyü.

3.2. Yüksək tezlikli cərəyanla materialların emalı fizikası

Yüksək tezlikli cərəyanla (YTC) materialın emalında enerjinin 90%- i "Skin-effekti"nə görə, səth üzrə nazik a- təbəqəsində toplana bilər ki, bu təbəqənin də qalınlığı cərəyanın tezliyindən (f), detalın (mühitin) maqnit nüfuzluğundan (μ) və onun elektrik müqavimətindən (ρ) asılıdır.

$$a = 5 \cdot 10^6 \sqrt{\rho / \mu \cdot f} \qquad (3.1.)$$

Cərəyanın səthə nüfuzetmə dərinliyi temperaturun artması ilə artır. Xüsusən material "Kuri-temperaturu"nu (768^0C) keçdikdə, onun maqnit nüfuzluğunun azalması ilə o, ferromaqnit vəziyyətindən paramaqnit vəziyyətinə keçir ($\mu = 1$) və yuxarıda verilmiş tənliyə əsasən cərəyanın materiala nüfuz etmə dərinliyi kəskin artır.

İnduksiya cərəyanının əmələ gəlməsinə və burada baş verən proseslərə aydınlıq gətirək. Maqnit vektoru potensialına əsasən növbəti bərabərlikləri yaza bilərik

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{A} &= \vec{B} \\ \nabla \cdot \vec{A} &= 0 \\ \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \end{aligned} \qquad (3.2.)$$

Bu bərabərlikləri "Maksvel-tənliyi"ndə nəzərə alsaq, onda

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{j} - \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \qquad (3.3.)$$

burada, j - induktordan axan cərəyanın sıxlığı (A/m^2), $\sigma(\partial A/\partial t)$- materiala induksiya olunan cərəyandır (A/m^2).

Müxtəlif sahələr üçün aşağıdakı ifadələri yaza bilərilk:

- İnduktorun ətrafında yaranan sahə üçün

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = 0 \qquad (3.4.)$$

- İnduktorda yaranan sahə üçün

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = j \qquad (3.5.)$$

- Materialda yaranan sahə üçün

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \qquad (3.6.)$$

Qızdırılan səthə təsir edən Lorens qüvvəsi induktor və induksiya cərəyanının, termoelektrik potensial fərqindən nəticələnə bilər. "Maksvel tənliyi"nə görə vahid həcmdə təsir edən maqnit qüvvəsi üçün aşağıdakı ifadəni yaza bilərik

$$F = j \times B = \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times B) \times B = -\nabla \left(\frac{B^2}{2\mu_0} \right) + \frac{1}{\mu_0} (B \cdot \nabla) B \qquad (3.7.)$$

burada, j - cərəyanın sıxlığı, B - maqnit induksiyasıdır. Sağ tərəfdəki birinci toplanan $\nabla\left(B^2 / 2\mu_0\right)$ maqnit sıxma qradienti adlandırılır. Ikinci toplanan- $(B \cdot \nabla) B / \mu_0$ maqnit gərginliyini ifadə edir. Materialda mövcud olan cərəyanın sıxlığı isə aşağıdakı tənlliklə təyin olunur:

$$j = \sigma\left(E + S \cdot \nabla T + u \times B\right) \qquad (3.8.)$$

burada, E - elektrik sahəsi, σ - elektrik keçiriciliyi, S - termoelektrik potensial tenzoru, ∇T - materialda temperatur qradientidir. Cərəyanın sıxlığını ifadə edən toplananlar $\sigma \cdot E$, $\sigma(S \cdot \nabla T)$ və $u \times B$ uyğun olaraq materiala verilən əlavə cərəyandan, termoelektrik potensial fərqindən və materialın maqnit sahəsində hərəkətindən yaranır. Termoelektrik potensial temperaturdan başqa, həmçinin materialın tərkibindən və strukturundan asılıdır.

3.3. Yüksək tezlikli cərəyanla materialın emalına metallurji baxış

Materialı böyük sürətlə qızdırma zamanı (50-350^{0}C/s) perlitin austenitə çevrilməsi yüksək temperaturlarda baş verdiyindən, YTC- la tablama temperaturu sobada tablama temperaturundan yüksəkdir. Çünki, soyutma sürəti 1.5-3^{0}C/s təşkil edir. Məsələn, 250^{0}C/s sürətlə qızdırdıqda tablama temperaturu 900^{0}C, 500^{0}C/s sürətlə qızdırdıqda isə 1000^{0}C qəbul olunur. YTC- la tablamadan sonra detal aşağı temperaturda 160-200^{0}C- də tabəksiltməyə uğradılır.

Polad 40, 45, 40X, 45X, 40XH və s. YTC- la tablandırılaraq, onların bərkliyi yüksəldilir (HRC50-

60), yeyilməyə davamlılıq və xüsusən ovulmaya qarşı müqavimət artırılır.

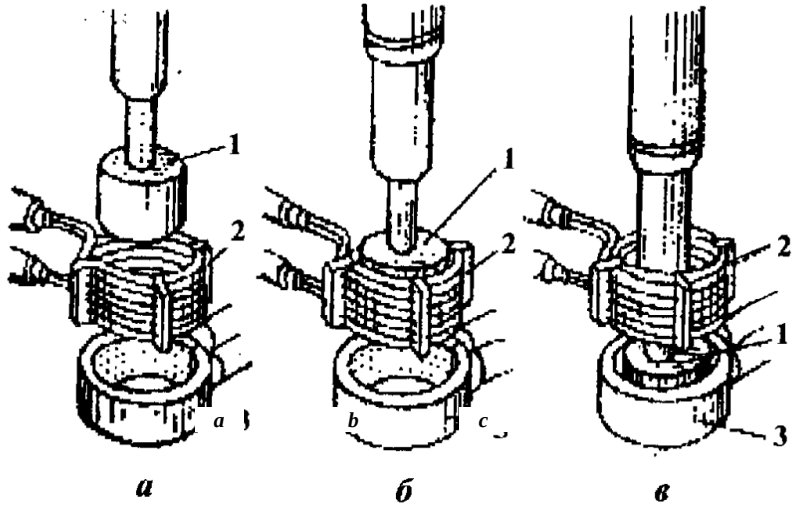
Əgər böyük dərinlikdə tablama tələb olunursa, onda material daha çox qızdırılmalıdır. Bu isə həcmi qızmaya gətirib çixarır. Tablamadan sonra belə detalların səthində martensit strukturu alınır (60HRC). Detalın özəyində isə soyuma sürəti az olduğundan, sorbit və troostit yaranır (HRC30-40, $\sigma_b = 1200 - 1300 MPa$).

3.4. Yüksək tezlikli cərəyanla materialın emal texnologiyası

Yüksək tezlikli cərəyanla materialın tablanması prinsipi adi tablama üsullarına müəyyən dərəcədə uyğun olub, burada tablama texnikası, texnologiyası və metallurji proseslər fərqli olacaqdır.

Ümumiyyətlə, tablama texnoloji əməliyyatı aşağıdakı ardıcıllıqla aparılır (şək. 4.2.):

- yüksək sürətlə qızdırma;
- qızma vəziyyətində qısa müddətli olma;
- yüksək sürətli soyutma.



Şəkil 4.2. Detalın YTC- la tablanması sxemi. *a*- prosesin əsas elementləri (1- detal, 2- induktor, 3- soyuducu maye püsgürdən); *b*- detalın induktorda qızdırılması; *c*- qızdırılmış detalın soyuducu maye ilə püskürdülərək soyudulması.

YTC-la tablama zamanı isti səthə vurulan soyuducu maye (əsasən su) əsasən duş qurğusu ilə (püskürdücü) həyata keçirilir.

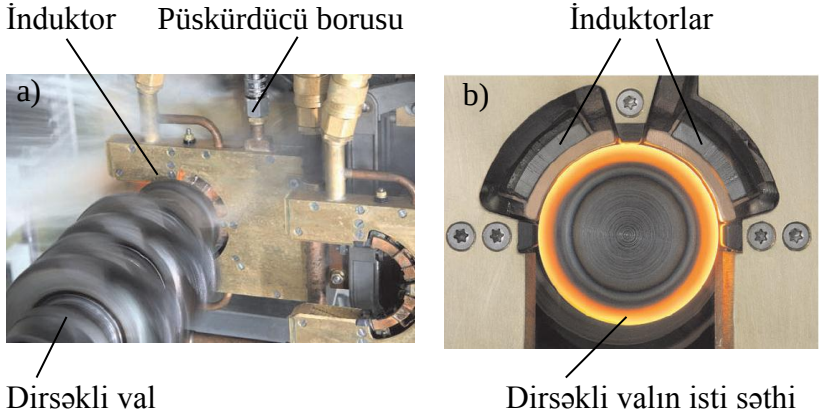
Digər tablama üsulları ilə müqayisədə YTC- la tablamanın texniki üstünlükləri əməliyyatın aşağıdakı üsullarla aparılmasına imkan verir:

1) Bütün səthin eyni zamanda qızdırılması və tablanması. Bu üsul kiçik emal sahəsinə malik detallar üçün tətbiq olunur (məsələn, barmaq, kiçik ölçülü vallar və s.);
2) Ayrı-ayrı sahələrin ardıcıl qızdırılması və soyudulması (məsələn, dirsəkli valın boyuncuqları, diş modulu 6- dan böyük olan

dişli çarxlar, paylayici valların yumruqcuqları və s.);

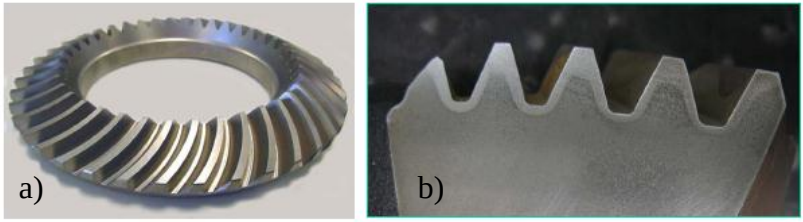
3) Detalın fasiləsiz-ardıcıl qızdırılması və soyudulması. Bu zaman ya detal induktora ya da induktor detala nəzərən hərəkət etdirilir (məsələn, uzun valların və oxların tablanması).

Şək. 4.3.-də dirsəkli valın YTC-la tablanması prosesi təsvir olunmuşdur. Dəzgahda vala fırlanma hərəkəti verilir və induktorlar arasında yerləşdirilmiş emal səthləri lazımi temperatura qədər qızdıqdan sonra induktorlar elektrik dövrəsindən ayrılaraq, isti səthə soyuducu maye püskürdülür.



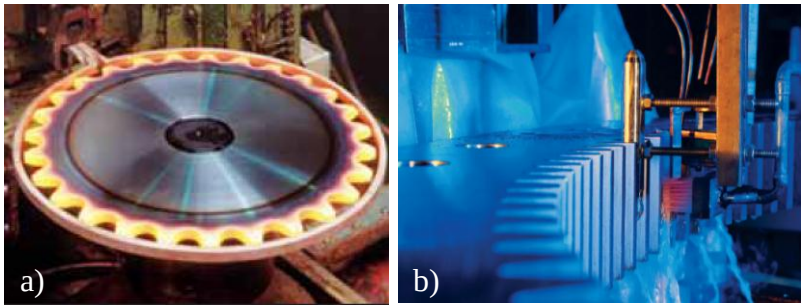
Şəkil 4.3. Dırsəkli valın yastıq boyunlarının YTC- la emalı prosesi (a) və en kəsik üzrə temperaturun yayılması (b).

Şək. 4.4.-də YTC-la tablanmış avtomobilin baş ötürücüsünün aparılan dişli çarxı və onun en kəsiyi təsvir olunmuşdur. Dişlərin en kəsiyində dişlərin səthində tablanmış təbəqəni əsas materialdan ayırd etmək mümkündür.



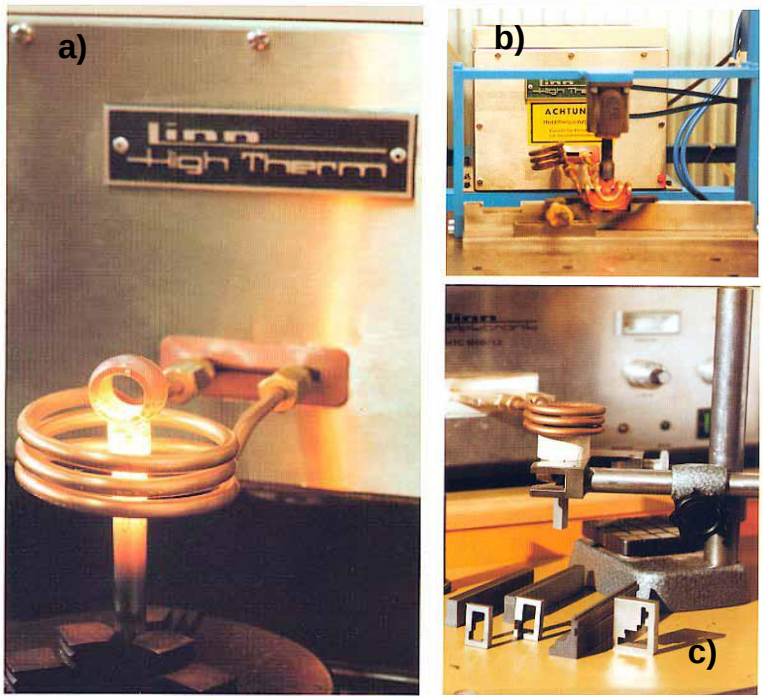
Şəkil 4.4. YTC-la tablanmış dişli çarx (a) və onun en kəsiyi (b).

Şək. 4.5.-də zəncir ulduzcuğunun və kranın döndərici aparılan dişli çarxının YTC-la emal prosesi təsvir olunmuşdur. Ulduzcuq bütünlüklə induktor daxilində yerləşdirilərək bütövlükdə tablandığı halda, kranın böyük dişli çarxının hər bir dişi ayrı-ayrılıqda tablanır.



Şəkil 4.5. Zəncir ulduzunun və böyük ölçüdə olan daxili dişli çarxların YTC- la emalı.

Qeyd olunduğu kimi YTC-la tablama texnologiyası ilə yanaşı, həmçinin detalların səthinə yeyilməyə davamlı təbəqələrin lehimlənməsi, isti oturtma və s. texnoloji proseslər də mümkündür. Şək. 4.6.- da hissələrin lehimlənməsi prosesi təsvir olunmuşdur.

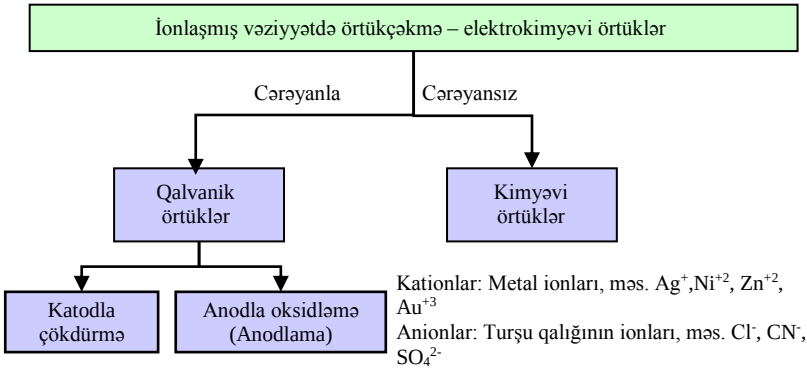


Şəkil 4.6. Lehimləmənin praktikada tətbiqi. a- hidravlik qurğunun borusunun gümüşlə lehimlənməsi; b- alətə yeyilməyə davamlı təbəqənin lehimlənməsi; c- qəliblərin gümüşlə lehimlənməsi.

4. Elektrokimyəvi örtükçəkmə texnologiyası

4.1. Üsulun prinsipi və texnologiyası

Səthin elektrokimyəvi üsullarla emalında məhlul və ya ərinti halında olan ionlaşdırılmış metal və ya birləşmələrdən, xarici cərəyan tətbiq etməklə və ya cərəyansız redoks (reduksiyaedici və oksidləşdirici) reaksiyaları vasitəsi ilə səthə örtük çökdürülür(şək. 4.1.). Burada həm dekorativ və həm də funksional təbəqələr əldə olunur.



Şəkil 4.1. Elektrokimyəvi örtüklər.

Bu üsulla səthi möhkəmləndirilmiş hissələrin daxili tərkibi dəyişmir və elektrolit üsulu ilə örtük çəkilməsi Faradeyin elektroliz qanunlarına əsaslanır.

Katodla çökdürərək, örtükçəkmə zamanı elektrik cərəyanı keçirən məhlulun (elektrolitin) içərisinə örtük

çəkiləcək hissə (katod) və bu hissənin üzərinə çökdürüləcək metalın çubuğu (anod) salınır. Onlardan alçaq gərginlikli sabit cərəyan buraxılır. Elektrolitdə gedən ionlaşma nəticəsində müsbət yüklənmiş ionlar (kationlar) katoda, yəni mənfi qütbə doğru hərəkət edərək onun səthində elektron mübadiləsi hesabına kimyəvi birləşmə əmələ gətirir. Bununla da katod, yəni hissə üzərinə müəyyən qalınlıqda metal təbəqəsi çökdürülür.

Qalvanik və kimyəvi üsullarla detalların səthinə örtükçökdümə əməliyyatı aşağıdakı əsas texnoloji mərhələlərdən ibarət olur:

- materialın örtükçəkmə üçün hazırlanması (təmizləmə, yağsızlaşdırma, aşılama, aktivləşdirmə);
- cərəyan və elektrolitlə təchiz etməklə, örtükçökdürmə prosesi;
- örtükçəkmədən sonrakı emal (yuma, mexaniki emal).
- tullantının təmizlənməsi (ağır metallar, sianid elektrodlar və s.).

Yuxarıda qeyd olunan vahid iş mərhələləri məntiqi olaraq uyğun gəlməli və təhlükəsizlik təmin olunmalıdır.

Elektrokimyəvi üsullarla örtükçəkmə texnologiyası daha geniş şəkildə növbəti əsas və köməkçi əməliyyatdan ibarətdir:

- səthin örtükçəkməyə hazırlanması;
- katodla çökdürmə;
- plastik materiallara örtükçəkmə;
- batırma və kontakt üsulları;
- xarici cərəyan tətbiq etmədən çökdürmə (kimyəvi üsulla);
- anodla oksidləşdimrə (bir qayda olaraq alüminium materiallar - eloksasiya).

Cərəyan keçirməyən əsas materiallarda uyğun ilkin köməkçi emal ilə səthə elektrik keçiricilik qabiliyyəti vermək lazımdır (məsələn: elektroposa, Ag, Cu və ya Pd ilə reduktiv çökdürmə, qrafitləmə və s.).

4.2. Səthin örtükçəkmə üçün hazırlanması

Örtükçökdürmədən əvvəl səth qabarmalardan, çökmələrdən, pasdan, çirkdən, duzdan, yağdan, boyadan və s. təmizlənməlidir. Səthdə olan kobud çirklərin təmizlənməsi aşılama, yandırma, pardaqlama üsulları ilə həyata keçirilir. Narın çirklərin təmizlənməsi isə cilalama, yağsızlaşdırma, turşu ilə təmizləmə kimi əməliyyatla yerinə yetirilir.

Aşılama adi və elektrolitik olmaqla iki üsulla aparıla bilər. Adi aşılama zamanı səthdən pasın, zədələnmiş və çirkli təbəqənin təmizlənməsində detallar əsasən yüksək temperaturlarda qeyri-üzvi

turşular və ya qələvi ilə emal olunur. Buna misin və mis ərintisinin sulfat və azot turşularının qarışığı ilə təmizlənməsini misal göstərmək olar.

Elektrolitik aşılama detalı anod və katod kimi qoşmaqla aparılır. Detalı katod kimi qoşduqda, ilkin təbəqə hidrogenin əmələ gəlməsi ilə partlayışla dağıdılır. Detalı anod kimi qoşduqda isə, əsas materialın güclü həll olması hesabına ilkin materialın təmizlənməsi baş verir.

Səthdən pasın, boyanın və başqa çirklərin qısa bir müddət ərzində təmizlənməsi və hamar səthin alınması (R<3mkm) üçün onu pardaqlayırlar. Pardaqlama və cilalama əməliyyatı süngər daşı, kvars, Al_2O_3 (korund), və SiC tərkibli pardaq dairələri ilə reallaşdırılır.

Səthin elektrolitik üsulla narın təmizlənməsi zamanı qələvi elektrolitlər tətbiq olunaraq, anod və katod üsulu ilə səthdə olan yağ təmizlənə bilər. Bu zaman materialın səthində inkişaf edən qaz onun mexaniki yüklənərək təmizlənməsinə şərait yaradır.

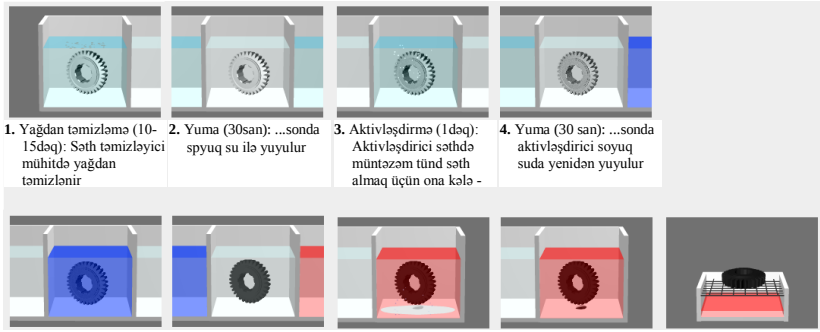
Turşu ilə narın təmizləmədə məqsəd səthdə olan çox nazik oksid, hidrooksid və sulfid təbəqəsinin təmizlənməsi ilə növbəti emal mərhələsi üçün səthin aktivləşdirilməsindən ibarətdir.

Detalı yuma zamanı əvvəlki emal proseslərindən qalan həlledici qalıqlar, səthə yapışan turşu və qələvilər səthdən diqqətlə təmizlənir.

4.3. Kimyəvi üsulla səthə örtükçökdürmə

Kimyəvi örtükçökdürmə üsullarına zağlama və nikelləmə üsullarını misal göstərmək olar. Zağlama sadə, bir-birinin ardınca davam edən 8 mərhələdən ibarətdir (şək. 4.2.). Proses otaq temperaturunda yerinə yetirildiyindən, hər yerdə tətbiq oluna bilir.

Zağlama əməliyyatında ölçülər dəyişmir, detalların hamar, kobud səthlərinə və həmçinin yivlərə, boşluqlara müntəzəm tünd rəng verilir.

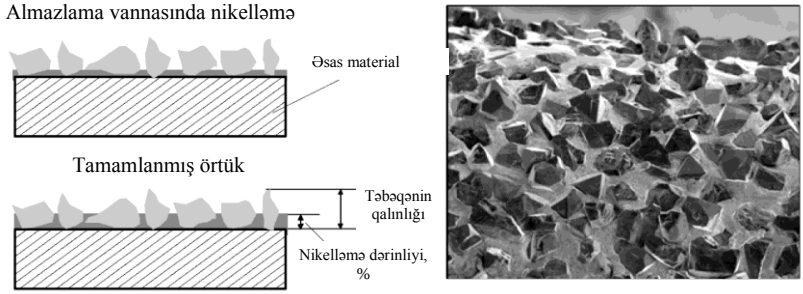


Şəkil 4.2. Kimyəvi zağlama üsulu ilə səthə örtükçökdürmə texnologiyası.

Kimyəvi üsulla səthdə alına biləcək dispersiya örtükləri (şək. 4.3.) növbəti xüsusiyyətlərə malikdirlər:

- vannada suspenziya (heterogen materiyanın qarışığı) şəklində olan, bərk materialların səthə çəkilməsi;

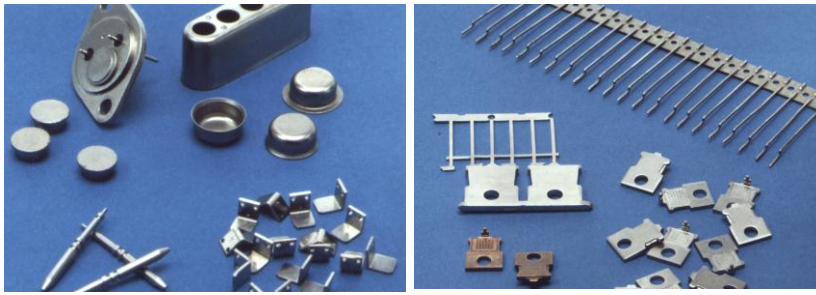
- PTFE bərk yağlayıcı madə kimi çəkilir (özü - özünü yağlayan antifriksion təbəqə);
- bərk materiallar – Al_2O_3, SiO_2 , SiC, və s. yeyilməyə qarşı davamlılığı artırmaq üçün çəkilir;
- ölçünün azalması ilə hissəciklər aqlomerasiyaya meylli olurlar. Yəni, vahid hissəciklər metal matriksdə kifayət qədər yapışmırlar;
- eyni zamanda çoxsaylı çökmə materialları tətbiq oluna bilər (məsələn, almaz, SiC, TiC, WC, mikrokapsullar, MoS2,qrafit, PTFE və s.).



Şəkil 4.3. Kimyəvi üsulla hazırlanmış almaz pardaq dairəsinin dispersiya təbəqəsinin strukturu.

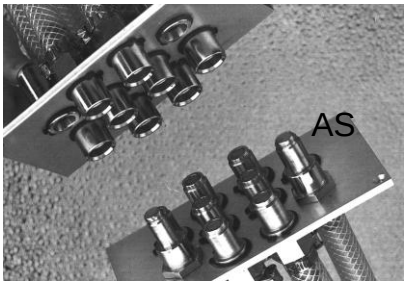
Aşağıdakı şəkillərdə zağlama əməliyyatı ilə səthi emal olunmuş maşın hissələrinə aid nümunələr təsvir olunmuşdur.

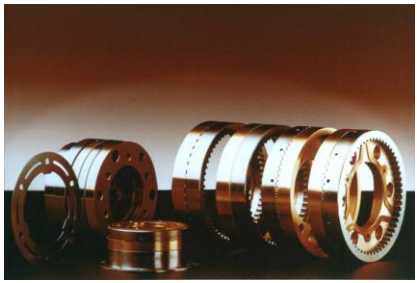
Şəkil 4.4. Zağlanmış maşın hissələrinə aid nümunələr.



Şəkil 4.5. Cu, polad, Al üzərinə lehimlənə bilən korroziyaya davamlı örtüyün kimyəvi üsulla çökdürülməsi.

Şəkil 4.6. 42CrMo4V və C60 poladından hazırlanmış maşın hissəsinin səthinə kimyəvi üsulla yeyilməyə və korroziyaya qarşı davamlı 25 və 50 mkm qalınlıqda təbəqənin çökdürülməsi.





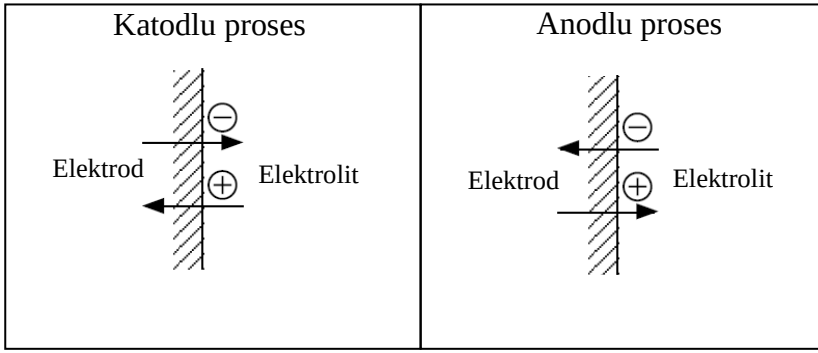
Şəkil 4.7. Cərəyansız kimyəvi çökdürmə üsulu ilə səthə yeyilməyə davamlı antifriksion dispersiya təbəqəsinin çökdürülməsi.

4.4. Elektroliz üsulu ilə səthə örtükçəkmə

Detalda baş verən proseslərin katodlu və anodlu olmasından asılı olaraq, elektroliz üsulu ilə səthə təbəqənin çökdürülməsində anodla və katodla çökdürmə üsulları fərqləndirilir (şək. 4.8.).

Katodla çökdürmə zamanı katoddan mənfi yüklər (elektronlar-anionlar) elektrolitə keçir və ya müsbət kationlar elektrolitdən katoda daxil olur. Katodlu proseslər reduksiyaedici proseslərdir.

Anodla çökdürmə zamanı anoddan müsbət yüklər elektrolitə verilir və ya mənfi yüklər elektrolitdən anoda daxil olur. Anodlu proseslər oksidləşdirici proseslərdir.

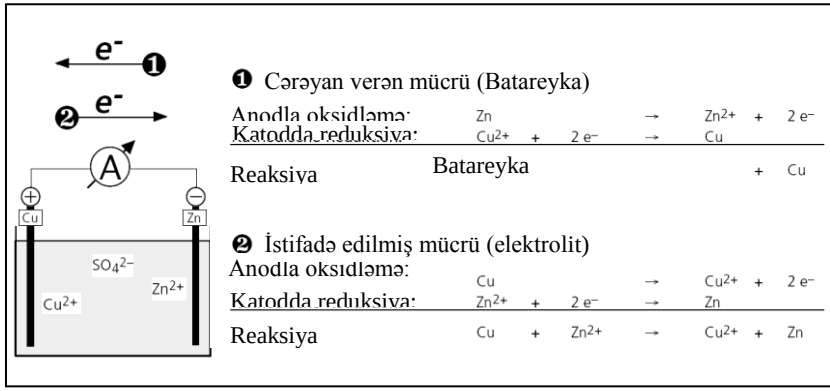


Şəkil 4.8. Katodlu və anodlu proseslərin sxematik təsviri.

Elektrod prosesləri ixtiyarı yükün elektrod və elektrolit arasında olan faza sərhəddini keçmə prosesi ilə bağlıdır (şək. 4.8.). Yükün daxil olma istiqaməti,

ixtiyari elektrodun reduksiyaedici və ya oksidləşdirici olduğunu müəyyən edir.

Elektrod prosesi heç bir vaxt tək baş vermir. Yükün tarazlaşdırılması üçün hər zaman əks yüklü ikinci bir proses gərəkdir ki, bu da ilkin proseslə eyni zamanda və eyni reaksiya sürəti ilə baş verməlidir. Məsələn, katodlu reaksiyanın baş verməsi üçün, hər zaman ən azından bir dənə də anodlu reaksiya gərəkdir (yaxud əksinə). Elektrod proseslərinin üst-üstə düşməsi "batareyka reaksiyası"na səbəb olur ki, bu da sxematik olaraq, şək. 4.9.- da təqdim olunmuşdur.



Şəkil 4.9. "Batareyka reaksiyası".

Katodla çökdürmədə ionlar sadə kation, anion və mürəkkəb ionlardan ibarət ola bilər. Kationlara metal ionları məsələn, Ag^{+},Ni^{+2}, Zn^{+2}, Au^{+3}, anionlara turşu qalığının ionları, məsələn Cl^{-}, CN^{-}, $(SO_4)^{2-}$, mürəkkəb ionlara isə bir neçə atomdan ibarət olan məsələn,

xromat $(CrO_4)^{-2}$, sianokomplekslər $(Me_x(CN)_y)^{z-}$ və s. aiddir.

Anodlama zamanı (oksidləşdirmə) anodda gedən reaksiylarda elektronlar azad olur və oksidləşmə baş verir.

Həll olan anod variantında növbəti reaksiya baş verəcəkdir:

$$Me \rightarrow Me^{z+} + z \cdot e^{-}$$

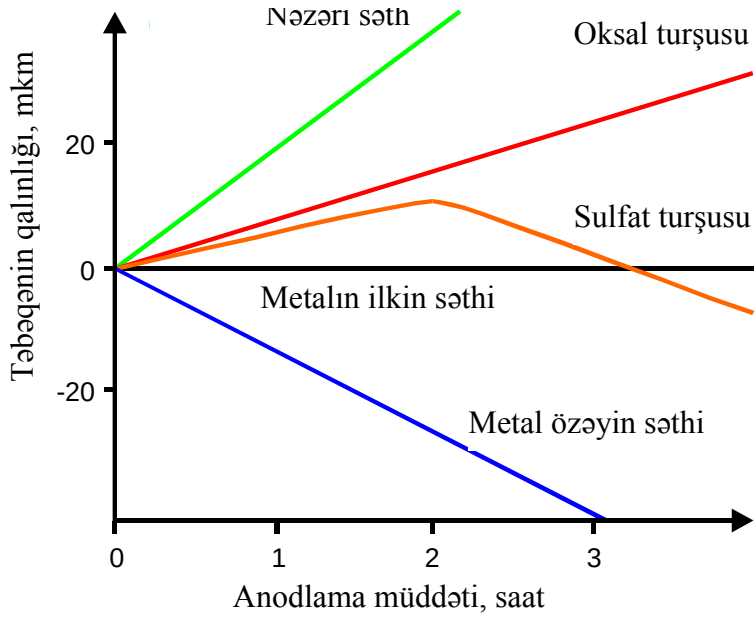
Həll olmayan anod variantında məsələn xrom elektrolit üçün Pb-Sb anod materialı tətbiq olunur. Bu zaman anodda elektrolitin tərkib hissələri oksidləşir, məsələn:

$$2Cl^{-} \rightarrow Cl_2 + 2e^{-}$$
$$Cr^{3+} \rightarrow Cr^{6+} + 3e^{-}$$

Oksigenin əmələ gəlməsi isə növbəti reaksiyalara əsaslanır.

$$4OH^{-} \rightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^{-} \text{ (qələvi)}$$
$$2H_2O \rightarrow 4H^{+} + O_2 + 4e^{-} \text{ (turşu)}$$

Anodlama prosesində təbəqə qalınlığının zamandan asılı olaraq, dəyişməsi şək. 4.10.- da təqdim olunmuşdur.



Şəkil 4.10. Anodlamada təbəqə qalınlığının inkişafı.

Elektrokimyəvi çökdürmədə metalların çökdürmə dərəcəsi, Faradeyin qanununa görə elektrokimyəvi ekvivalent və cərəyanın sıxlığına görə təyin olunur. *Nümunə üçün* katodlu sink çökdürmə əməliyyatı zamanı çökdürülən materialın miqdarını və səthdə alınan təbəqə qalınlığını təyin edək. Cərəyanın sıxlığı 0,75A/dm=0,75A/100sm^2, elektrokimyəvi ekvivalentlik isə 95 %- dir.

1. Səthə çökdürülən materiyanın sahə və zamandan asılı olaraq miqdarı:

$$\frac{dn}{Adt}=\frac{\gamma}{zF}\cdot\frac{dQ}{Adt}=\frac{\gamma}{zF}\cdot j=\frac{0{,}95mol\cdot 0{,}75A}{2\cdot 96485As\cdot 100sm^2}=36{,}923\cdot 10^{-9}\ \frac{mol}{sm^2s}$$

A-ionun molyar kütləsi, z- maddənin valentliyidir.

2. Səthə çökdürülən materiyanın sahə və zamandan asılı olaraq kütləsi (Sinkin mol kütləsi daxil edilir):

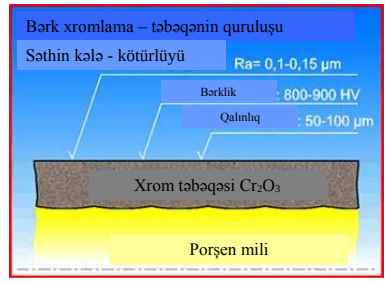
$$\frac{dm}{Adt}=M\cdot\frac{dn}{Adt}=\frac{65{,}39q\cdot 36{,}923\cdot 10^{-9}mol}{mol\cdot sm^2s}=2{,}4144\frac{mq}{sm^2s}$$

M- molyar kütlədir.

3. Səthə çökdürülən materiyanın zamandan asılı olaraq qalınlığı (Sinkin sıxlığı daxil edilir):

$$\frac{dx}{dt}=r=\frac{dm}{Adt}\cdot\frac{1}{\rho}=\frac{2{,}4144mq\cdot sm^3\cdot 60s\cdot 10^4 mkm}{sm^2s\cdot 7{,}14q\cdot deq\cdot sm}=0{,}20mkm/deq$$

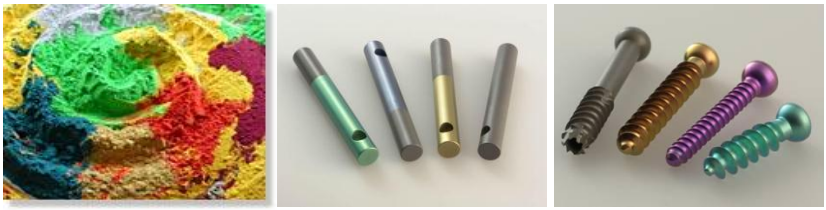
Növbəti şəkildə qalvanik üsulla səthinə xrom örtük çökdürülmüş porşen millərinin xüsusiyyətləri təqdim olunmuşdur.



Şəkil 4.11. Qalvanik üsulla səthinə örtük çökdürülüş hidravlik silindrin porşen mili.

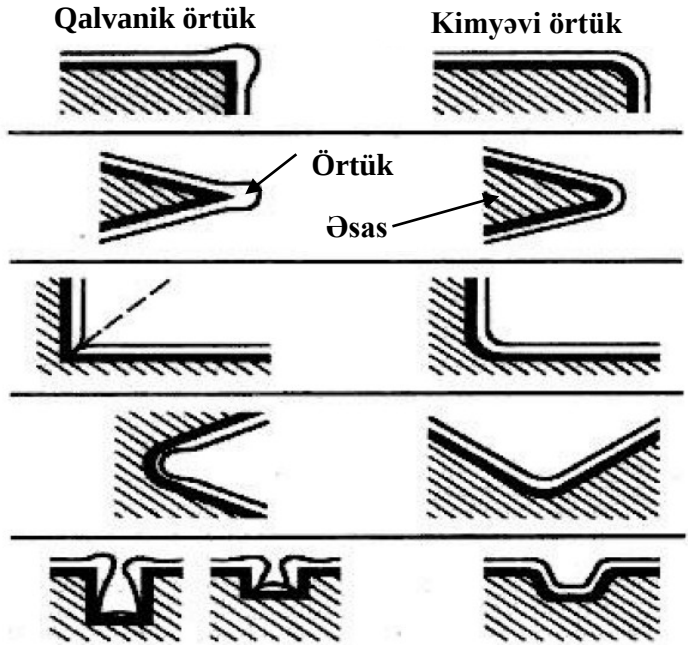
Növbəti şəkillərdə müxtəlif alüminium ərintilərindən ibarət olan əsas üzərinə anodla oksidləmə (anodlama) üsulu ilə yeyilməyə və korroziyaya davamlı təbəqələr çökdürülmüşdür.

Şəkil 4.12. Yeyilməyə və karroziyaya davmlı təbəqəni səthə anodla oksidləmə (anodlama).



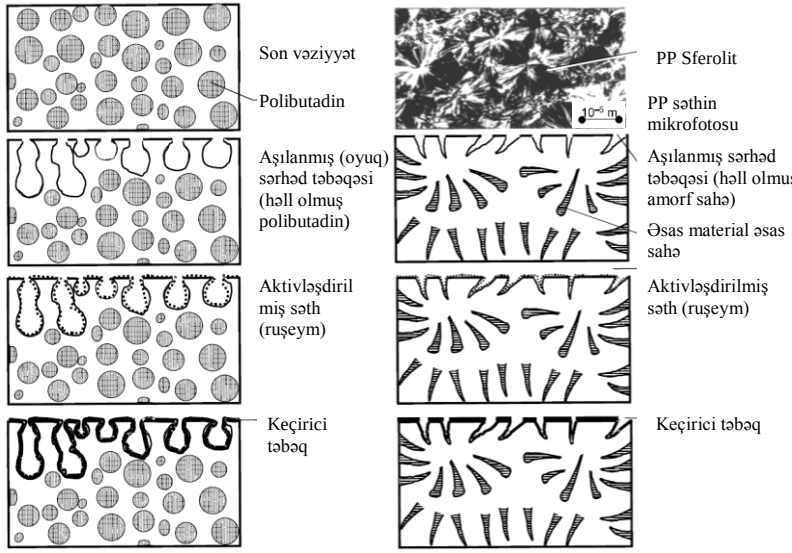
Şəkil 4.13. Anodlama nəticəsində alınmış nümunələr.

Qalvanik üsulla örtükçökdürmə zamanı detalın künclərində yaranan elektromaqnit sahəsinin təsirindən burada təbəqə qalınlığı fərqli alınır ki, buna da "til effekti" deyilir. Kimyəvi örtüklərdə isə "til effekti" baş verməyib, örtük detalın səthi üzrə bərabər paylanaraq, səmərəli təbəqə əmələ gətirir.



Şəkil 4.14. Qalvanik və kimyəvi üsulla örtükçəkmə zamanı səthdə alınan təbəqə həndəsəsinin müqayisəsi.

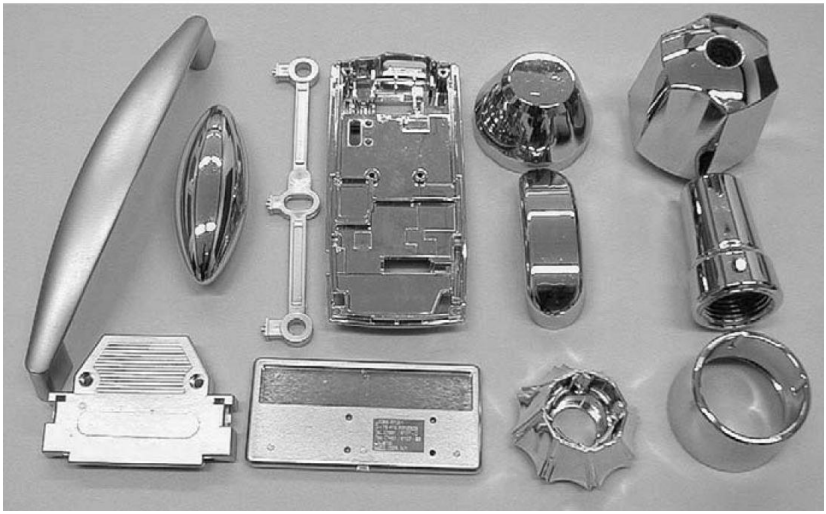
Elektrik cərəyanı keçirməyən detalların səthinə örtük təbəqəsinin çəkilməsi zamanı səth əlavə köməkçi əməliyyatla örtükçökdürmə üçün aktivləşdirilməlidir. Plastik materialların metallaşdırılmasında texnoloji mərhələlərin sxematik təsviri şək. 4.15.- də təqdim olunmuşdur. Burada misal üçün ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol və ya akrilnitril-butadin-stirol) və PP (polipropan) materiallarının səthinə metal çökdürmə əməliyyatı verilmişdir.



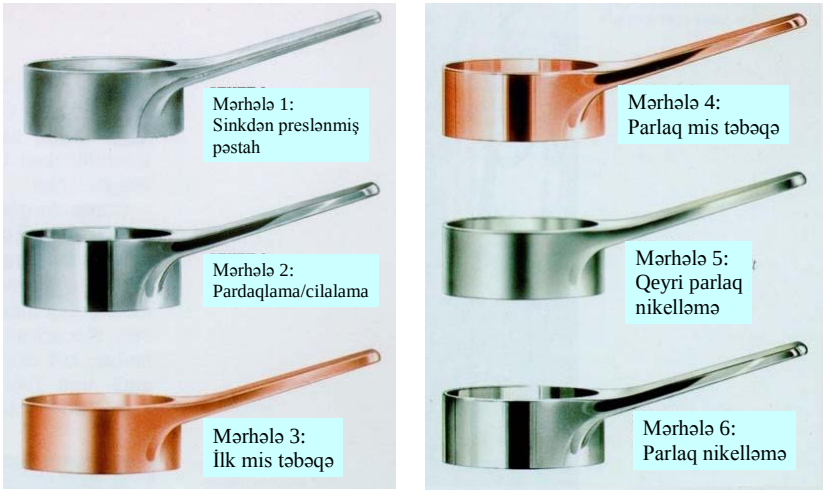
Şəkil 4.15. ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol və ya akrilnitril-butadin-stirol) və PP (polipropan) materiallarının səthinə metal çökdürmə texnologiyası.

Metallaşdırılmış plastik materiallara nümunə şək. 4.16.- də təqdim olunmuşdur.

Nümunə üçün şək. 4.17.- da qalvanik üsulla sinkdən preslənmiş əsas materialın səthinə nikel örtüyün çəkilmə ardıcıllığı verilmişdir.



Şəkil 4.16. Səthinə metal çökdürülmüş plastik hissələr.



Şəkil 4.17. Qalvanik üsulla səthə nikelin çəkilməsi.

5. Yastıqlarda tətbiq olunan antifriksion örtüklər və bişirmə texnologiyası

Antifriksion yastıqların içlikləri çuqun, polad və tuncdan hazirlanaraq, içliklərin daxili səthi sürtünmə və yeyilmənin azaldılması üçün, adətən onların tribotexniki səthləri antifriksion materialla – babbitlə örtülür (şək. 5.1.).

Şəkil 5.1. Tribotexniki səthlərinə antifriksion örtük çəkilmiş sürüşmə yastıqları.

Yastıqların üzərinə antifriksion örtüklərin çəkilməsi həm istehsal və həm də təmir zamanı həyata keçirililr. İcliklərin təmiri zamanı onların babbit örtüklərinin bərpası aşağıdakı əməliyyatdan ibarətdir: işlənmiş içlikdən köhnə babbit əridilib, təmizlənir

(əgər varsa), yağdan təmizlənir, turşu ilə aşılanır, neytrallaşdırılır, babbit əridilərək doldurulur, doldurmanın keyfiyyəti yoxlanılır və səthə tələb olunan həndəsə verilir. Qeyd etmək lazımdır ki, sürüşmə yastıqlarının ərinti ilə doldurulması çoxlu əmək və xərc tələb edən əməliyyatdır. Böyük ölçülü sürüşmə yastıqlarına babbit örtüklərin çəkilməsində, həmçinin qaz-alov termomexaniki püskürtmə üsulu da geniş tətbiq olunur ki, bu üsul gövdənin əsas materialının əridilməməsi ilə örtükçəkmə əməliyyatına imkan yaradaraq, detala termiki, metallurji və həndəsi xətaların baş verməsinə səbəb olmur.

Babbit (İssak Babbitin şərəfinə adlanır)– qalay (Sn) və ya qurğuşun əsaslı antifriksion ərintidir. Yastıqların içliklərinin səthində doldurma və ya püskürtmə ilə alınmış təbəqə şəklində istifadə olunur. Babbitin ərintisinin tərkibində əlavə olaraq, sürmə, mis, nikel, arsen, kadmium, tellur, kalsium, natrium, maqnezium ola bilər, məsələn:

- 90% Sn, 10% Cu;
- 89% Sn, 7% Sb, 4% Cu;
- 80% Pb, 15% Sb, 5% Sn.

Babbitin ərimə temperaturu onun tərkibindən asılı olaraq, 300-440^{0}C intervalında yerləşir.

Əgər antifriksion materialdan yüksək özlülük və aşağı sürtünmə əmsalı tələb olunarsa, onda qalay əsaslı babbit (Б88, Б83, Б83С, SAE11, SAE12, ASTM2) istifadə olunur. Qalay əsaslı babbitlər

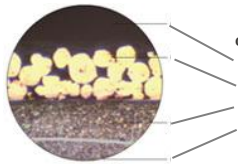
qurğuşun əsaslı babbitlərə nisbətən, yüksək korroziyaya, yeyilməyə davamlı və temperatur ötürmə qabiliyyətinə malik olurlar. Qurğuşun əsaslı babbitlər (Б16, БН, БСб, БКА, БК2, БК2Ш, SAE13, SAE14, ASTM7, SAE15, ASTM15) qalay əsaslı babbitlərə nisbətən, yüksək işçi temperaturuna malikdir.

İstehsal texnologiyasından asılı olaraq, sürüşmə yastıqlarına müxtəlif antifriksion xüsusiyyətlər verilir. Belə texnologiyalardan biri də əridib tökmə ilə alınan sürüşmə yastıqlarına nisbətən yüksək iş qabiliyyətinə malik olan bişirməklə hazırlanmış antifriksion içliklərdir. Bişirmə əməliyyatı ***ovuntunu qarışdırma, ovuntunu presləmə, bişirmə, kalibrləmə, ştamplama və yağ hopdurma*** texnoloji mərhələlərindən ibarətdir. Bu növ sürüşmə yastıqları məsaməli olub, yağ saxlama qabiliyyətinə malikdir (şək. 5.2.). Mərkəzləşdirilmiş yağlama sisteminin işindən az asılıdır və yağ şprisi ilə vaxtaşırı yağlamalar kifayət edir.

a) b) c)

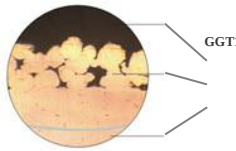
Şəkil 5.2. Bürünc və tunc ovuntusundan hazırlanmış məsaməli sürüşmə yastıqları (a- zinterləməklə, b- diyirlətməklə və c- bürüncdən hazırlanmış sürüşmə yastıqları).

Bürünc və ya dəmir kompozisiya materialından bişirməklə hazırlanmış sürüşmə yastıqları (alm. Sinterlager) məsaməli olub, yağı hopdurur və quru sürtünmə təhlükəsini azaldır. Həmçinin, bürüncdən (CuSn8) diyirlənmə ilə alınmış sürüşmə yastıqları (gerollte Gleitlager) yağ toplayan oyuqlara malikdir və ya plastik materialla örtülüb ki, bu da öz – özünü yağlama qabiliyyətinə malikdir. Az yeyilmə intensivliyi və sürtünmə əmsalı bu təbəqələr üçün xarakterik olub, korroziyaya qarşı davamlıdırlar. Belə təbəqələrdən bəzilərinin quruluşu və tərkibi aşağıdakı şəkildə təqdim olunmuşdur.



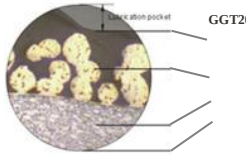
GGT50 – təbəqəsinin quruluşu

- Sürüşmə təbəqəsi 0,01 - 0,03 mm qalınlıqlı politetrafluoretilendən (PTFE) ibarətdir;
- Kompozisiya 0,20 - 0,35 mm qalınlıqlı bürüncdən (Sint-A51) ibarət məsaməli təbəqədir;
- Daşıyıcı lövhə poladdandır



GGT11- təbəqəsinin quruluşu

- Sürüşmə təbəqəsi 0,01 - 0,03 mm qalınlıqlı politetrafluoretilendən (PTFE) və yağlayıcı qarışıqdan ibarət dir;
- Kompozisiya 0,20 - 0,35 mm qalınlıqlı bürüncdən ibarət məsaməli təbəqədir;
- Daşıyıcı lövhə bürüncdəndır (CuSn8P).



GGT20- təbəqəsinin quruluşu

- Sürüşmə təbəqəsi 0,30 - 0,50 mm qalınlıqlı polioksimetilendən (POM -) və yağlama oyuqlarından ibarətdir;
- Kompozisiya 0,20 - 0,35 mm qalınlıqlı bürüncdən ibarət məsaməli təbəqədir;
- Daşıyıcı lövhə poladdandır;
- Cu və ya Sn-dən ibarət 0.002 mm qalınlıqlı korroziyaya davamlı təbəqə.

Şəkil 5.3. GGT50, GGT11 və GGT20 markalı antifriksion təbəqələrin quruluşu və tərkibi.

Kompozisiya tərkibli CuSn7ZnPb, CuSn12, CuSn8, CuAl10Ni, CuAl10Ni5Fe4, CuPb15Sn, CuZn40Al2 markalı bürüncdən tökmə üsulu ilə alınmış boru və ya mil formalı pəstahlar torna və ya frez maşınında kəsilərək onlara sürüşmə yastıqları üçün tələb olunan lazımi həndəsi ölçülər verilir.

Lifli sürüşmə yastıqlarının tərkibində mökəmləndirici və yeyilməyə davamlı lifli maddələr olduğundan, belə yastıqlar yüksək statik və dinamik yüklənmələrdə az sürtünmə itgiləri ilə işləyir (şək. 5.4.,*a*). Həmçinin şək. 5.4.- də müxtəlif tərkibli kompozisiya materiallarından bişirmə üsulu ilə hazırlanmış müxtəlif növ filter, səsboğan və digər mürəkkəb formalar təsvir olunmuşdur

a) b) c)

Şəkil 5.4. Bişirmə üsulu ilə alınmış müxtəlif hissələr (a- lifli sürüşmə yastıqları, b- filterlər və səsboğanlar, c- müxtəlif formalı digər hissələr).

Karbondan hazırlanmış antifriksion sürüşmə yastıqları yüksək və aşağı temperatur sahələrində, ərzaq məhsulları sənayesi maşınlarında tətbiq olunub, kimyəvi, quru mühitdə əla sürtünmə qabiliyyətinə malikdirlər (şək. 5.5.,*a*). Tərkibində şəbəkə formalı bərk yağlayici olan, bürünc ərintisindən hazırlanmış

MBW markalı sürüşmə yastıqları da yüksək yağlayıcı xüsusiyyətə malikdirlər. Plastik materialdan püskürtmə üsulu ilə hazırlanan sürüşmə yastıqları yağlayıcı materialın səthə verilməsi ilə imtinasız işləyirlər. Belə materiallar yeyinti, farmo və kimya sənayelərdə geniş tətbiq olunur.

a) b) c)

Şəkil 5.5. Bişirmə üsulu ilə alınmış müxtəlif sürüşmə yastıqları (a- karbondan hazırlanmış sürüşmə yastıqları, b- MBW markalı sürüşmə yastıqları, c- plastik materialdan püskürtmə üsulu ilə alınmış sürüşmə yastıqları).

6. Səthə funksional təbəqənin lehimlənməsi

Lehimləmə termiki üsul kimi aralıq maye materialla hissələri bir-birləri ilə və detalın səthinə funksional təbəqə birləşdirmək üçün tətbiq olunur. Bu zaman lehimin əridilməsi ilə əmələ gələn maye diffuziya vasitəsi ilə səthlərə yapışır. Üsulun qaynaqla birləşdirmə və örtükçəkmə üsullarından əsas fərqi ondan ibarətdir ki, lehimləmə zamanı əsas materialın temperaturu solidus temperaturuna yüksəlmir.

Burada suspenziya və vliz (toxumasız lifli) texnoloji üsulları fərqləndirilir.

Suspenziya üsulunda əsasən qalınlığı 0,05...0,5 mm olan yeyilməyə davamlı suspenziya örtüklər batırma, püskürtmə, təzyiqlə, fırça və ya şpaxtellə detalların səthinə gətirilir.

Vliz üsulunda suspenziya üsulundan fərqli olaraq, materiallar ayrı-ayrı kompanent şəklində olurlar. Vlizin tərkibi bərk material tozundan və lehim ərintisindən ibarətdir.

Yeyilmənin sınağı tədqiqatları göstərir ki, suspenziya və vliz lehimləmə üsulları ilə səthə çəkilən tribotexniki təbəqələr (bərk maddə - bərk ərinti – birləşdirici təbəqə sistemi) üstəaritmə və səthə püskürtmə üsulları ilə alınan təbəqələrlə müqayisədə yüksək yeyilməyə davamlılığa malikdir.

Səthin korroziyaya və yeyilməyə qarşı davamlılığının artırılması məqsədi ilə lehim örtükləri aşağıdakı sahələrdə tətbiq olunur:

- detalların istehsalında və təmirində;
- metalların, plastik materialların, keramikanın və ağacın emalında tətbiq olunan alətlər və formalarda;
- turbin və motor texnikasında;
- yükləmə-boşaltma vasitələrində;
- Aqrar və torpaq emalında və s.

Səthə yeyilməyə davamlı təbəqənin lehimlənməsi üsulu növbəti üstünlükləri ilə səciyyəvidir:

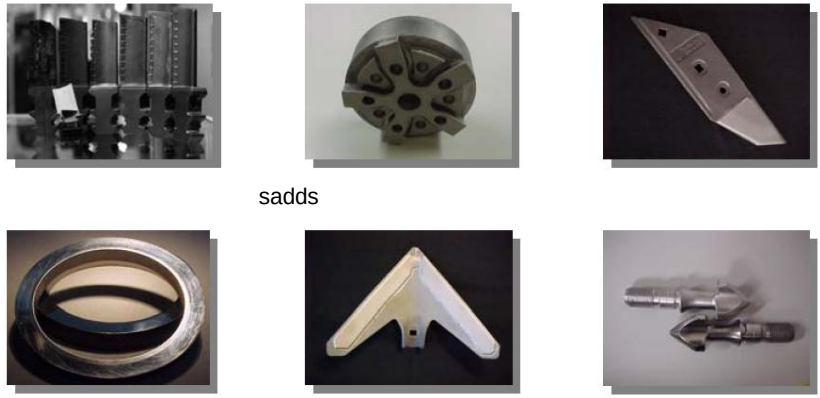
- mürəkkəb həndəsi formaya malik detalların səthinə örtükçəkmə;
- əsasla örtük arasında yüksək ilişmə hesabına istismar təhlükəsizliyinin təminatı;
- homogen və sıx örtük strukturu.
- yüksək yeyilməyə davamlıq, tətbiq olunan hissələrdə yüksək səmərəlilik və etibarlılığın təminatı;
- böyük diapazonda material və örtüklərin seçilməsi mümkünlüyü.

Səthə təbəqənin lehimlənməsi üsulundan asılı olaraq lehimlənəcək materialların tərkibi, markası və lehimləmə texnoloji üsulu növbəti cədvəldə təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 6.1. Səthə lehimləmə materialları və üsulları.

İşarələmə	Materiallar	Örtükçəkmə üsulları
CN_{ind}	Cr_3C_2/NI102 Vliz	İnduktiv qızdırmaqla səthə lehim örtük çəkmə
WNind	WC/NI102 Vliz	İnduktiv qızdırmaqla səthə lehim örtük çəkmə
CN_{SGO}	Cr_3C_2/NI102 Vliz	Qoruyucu qaz sobasında səthə lehim örtük çəkmə
CN_{SGO}	WC/NI102 Vliz	Qoruyucu qaz sobasında səthə lehim örtük çəkmə
CWN_{SGO}	Cr_3C_2-WC(1:)/NI102 Vliz	Qoruyucu qaz sobasında səthə lehim örtük çəkmə
CNS_{GO-S}	Cr_3C_2/NI106 Suspenzia	Qoruyucu qaz sobasında səthə lehim örtük çəkmə

Şək. 6.1.- də nümunə olaraq lehimlənmiş detallar təqdim olunmudur.



Şəkil 6.1. Səthlərinə təbəqə lehimlənmiş nümunələr.

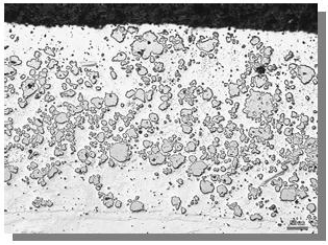
Suspenziya üsulu ilə lehimləmə əməliyyatı həmçinin təmir zamanı istismardan yaranan çatların doldurulmasında istifadə oluna bilər (şək. 6.3.).

Şəkil 6.3. Suspenziya üsulu ilə çatların doldurulması.

Lehimləmə əməliyyatı zamanı səthin həndəsi xətaları üstəəritmə üsulları ilə müqayisədə xeyli azdır (şək. 6.2.).

Şəkil 6.2. X40CrMoV5.4 istiliyədavamlı polad üzərinə üstəəritmə (a) və stellit 21 materialının lehimlənməsi (b).

Şək. 6.4.- də nikel əsaslı örtüyün mikrostrukturu təsvir olunmuşdur. Mikrostrukturdan göründüyü kimi bərk yeyilməyə davamlı hissəciklər nikel əsasda əlverişli şəkildə paylanmışdır.



Ni-əsaslı ərinti və 20 Vol.-% Cr_3C_2

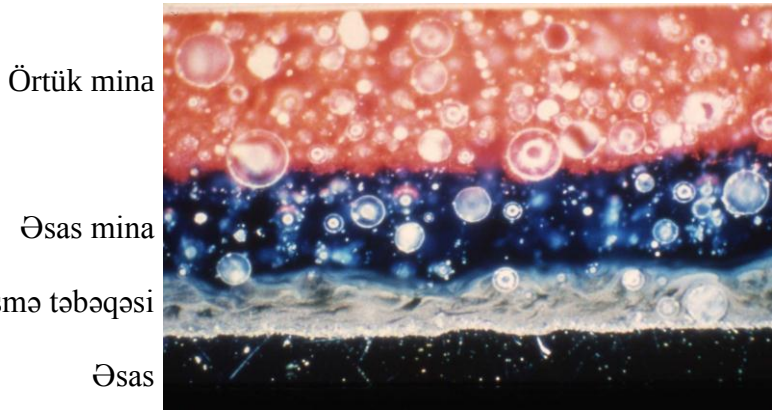
Ni-əsaslı ərinti və 20 Vol.-% WC

Şəkil 6.4. Nikel əsaslı Cr_3C_2 və WC bərk hissəciklərdən ibarət yeyilməyə davamlı lehim təbəqəsi.

7. Səthə mina təbəqəsinin çəkilməsi

7.1. Mina təbəqəsinin alınma prinsipi, xüsusiyyətləri və tətbiq sahəsi

Mina təbəqəsi kimi, şüşəformalı material başa düşülür ki, bu material da əsasən oksid xammalın qismən və ya tamamiylə əridilməsi ilə əmələ gəlir. Bu cür hazırlanan üzvi material qatışıqlarla birgə bir və ya bir neçə təbəqə şəklində metal və ya şüşə materialların səthinə çəklərək, 480°C- dən yuxarı temperaturlarda bişirilir (şək. 7.1.).



Şəkil 7.1. Əsas üzərində çoxtəbəqəli mina örtük.

Səthə çəkilmiş mina təbəqəsi aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:

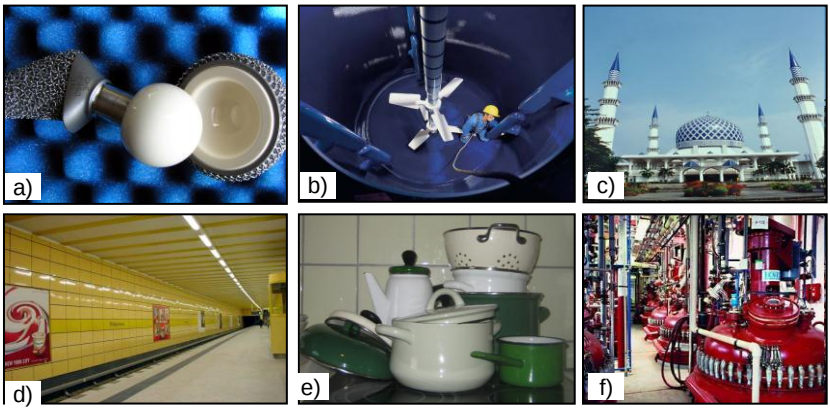
- yüksək bərklik və yeyilməyə davamlı (çızılmaya davamlı);
- korroziyaya qarşı davamlı ;
- yüksək və aşağı temperaturlarda (-60...+450°C), atmosferin mənfi təsirlərinə qarşı davamlı;
- aşağı keçirmə əmsalı (izolator);
- termiki zərbəyə qarşı davamlı;
- aşağı kələ-kötürlük (parlaq-tutqun səth mümkündür);
- təmizləmə asandır;
- nazik təbəqə ilə zərbəya davamlıdır;
- təbəqənin qalınlığı 0,1-0,3mm, coxtəbəqəli örtüklərdə isə 1,5 mm- ə qədər olur;
- sonrakı emalın məhdududlaşdırılması;
- yanmaya qarşı davamlıdır.

Üzərinə mina təbəqəsi çəkilə bilən materiallara olan tələbləri nəzərdən keçirək:

- karbonun miqdarı < 0,1%;
- azotun miqdarı < 0,2%;
- kükürdün miqdarı < 0,05%;
- əsasən normal közərtmə vəziyyətində struktur böyük deformasiya etməməlidir;
- ferrit dənəcikləri 70mkm- dən böyük olmamalıdır;
- hidrogenin həll olması tələb olunur (soyutma zamanı qazın çıxması hesabına “balıq pulu”nun əmələ gəlməsinin qarşısını almaq üçün);
- ferrit strukturlu Cr-Ni poladları;

- yüksək legirli austenit poladları.

Üstünlüklərini nəzərə alaraq, mina təbəqəsi məişət əşyalarında, kimya sənayesində, binaların fasadlarında, yeraltı tunellərin örtülməsində və s. sahələrdə geniş tətbiq olunmaqdadır.



Şəkil 7.2. Tibbdə (a), qarışdırıcıda (b), tikilidə (c), tuneldə (d), məişətdə (e) və kimya sənayesində (f) mina örtüklərinin tətbiqinə aid nümunələr.

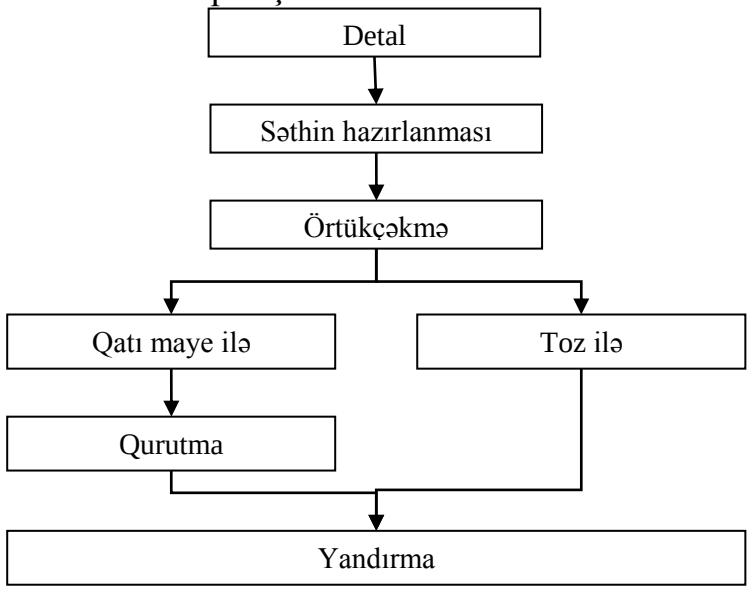
7.2. Mina təbəqəsi üçün xammalın hazırlanması

Mina təbəqəsində xammal kimi kvars, çöl şpatı, boraks, flüorit, soda, potasium karbonat, alüminium oksid, Na-selitra, kalsium, yapışma əmələ gətirən

metal oksid istifadə olunur. Qeyd olunan xammal əridilərək frit alınır. Frit və digər qoşqular birgə üyüdülərək örtükçəkmə əməliyyatı üçün qarışıq maddə hazırlanır. Üyütmə əməliyyatı yaş və quru aparıldıqda, uyğun olaraq qatı maye və toz şəkilli məhsul alınır. Mina təbəqəsinin detal üzərinə çəkilmə ardıcıllığı şək. 7.3.- də təqdim olunmuşdur.

Səthin hazırlanması prosesində məqsəd, əsasla mina təbəqəsi arasındakı lazımi ilişmə möhkəmliyinin təminatıdır.

Burada bir və çoxtəbəqəli örtük sistemi mümkündür. Adətən, əsas mina təbəqəsinin üzərinə örtük mina təbəqəsi çəkilir.



Şəkil 7.3. Hissələrin səthinə mina təbəqəsinin çəkilməsi ardıcıllığı.

Yandırma əməliyyatı əsasın materialından asılı olaraq, sobada müxtəlif temperaturlarda (məsələn polad üçün 800-900°C, çuqun üçün 750-850°C, alüminium üçün 500-600°C), aparılır.

7.3. Səthə mina təbəqəsinin çəkilməsi üsulları

Səthə mina təbəqəsinin çəkilməsində örtük materialının vəziyyətindən asılı olaraq, püskürtmə, tozlandırma, üfüləmə, batırma, üzərinə axıtma, elektrostatik üsullar tətbiq olunur.

Elektrostatik üsulla mina təbəqəsi çəkmə əməliyyatına yaş elektrostatik (alm. ESTA), elektrostatik toz (alm. PUESTA) və elektrobatırma (alm. ETE) üsulları daxildir.

Yaş elektrostatik üsulla səthə mina təbəqəsinin çəkilməsində (ESTA) elektrik sahəsi püskürdülən qatı mayenin hissəciklərini detalın səthinə yönəldir və hissəciklər kapilar qüvvələr hesabına səthlə ilişir. Aralıq yandırma ilə çoxtəbəqəli örtük almaq mümkündür və burada tətbiq olunan qurğuların qiyməti çox səmərəlidir.

Elektrostatik toz üsulu ilə mina təbəqəsinin çəkilməsi (PUESTA) xüsusiyyətlərinə aiddir:

- püskürtmə zamanı, püskürdücü pistoletdə boşalma hesabına mina tozu elektrik yükü ilə təchiz olunur;
- pistoletlə detal arasındakı yüksək gərginlik (40-100 kV) hissəcikləri detala tərəf sürətləndirir;
- elektromaqnit qüvvəsinin köməyi ilə hissəciklər səthə yapışır;
- bu üsulla nazik müntəzəm örtük təbəqəsi almaq mümkündür.

Elektrobatırma üsulu ilə mina təbəqəsi çəkmə (ETE) xüsusiyyətlərinə aiddir:

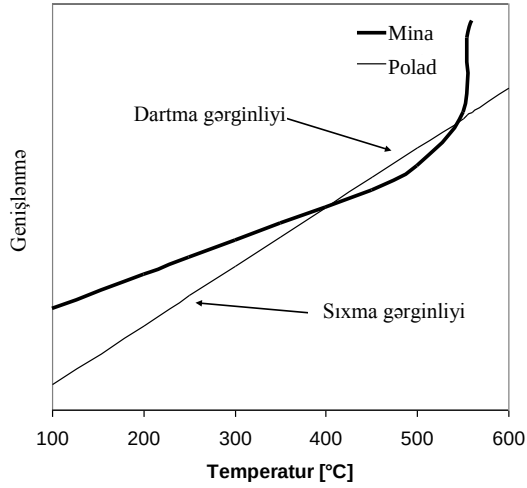
- yüklü zərrəciklərin (maye suspenziyada frit hissəciklərin) suspenziya daxilində elektrik sahəsinin köməyi ilə nəqli (elektroforez);
- bərkimə yalnız sobada yandırma ilə mümkündür;
- adətən bir təbəqəli, yalnız xüsusi hallarda iki təbəqəli örtük çəkilir.

7.4. Səthə çəkilmiş mina təbəqəsinin qurudulması/yandırılması

Təbəqənin qurudulması otaq şəraitində, konveksiya və infraqırmızı şüalanma ilə yerinə yetirilə bilər. Çoxtəbəqəli örtüklərdə aralıq təbəqələrin qurudulması

üçün əməliyyat müddətində detallar bir neçə dəfə yandırıla bilər.

Polad hissələr üzərinə çəkilmiş mina təbəqəsinin yandırılması zamanı materialda yaranan gərginliklər növbəti şəkildə təsvir olunmuşdur.

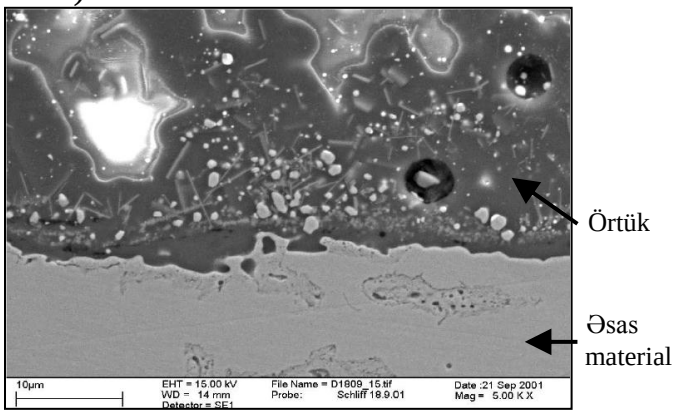


Şəkil 7.4. Polad hissə üzərinə çəkilmiş mina təbəqəsinin yandırılması zamanı yaranan gərginliklər.

Şək. 7.4.- dən göründüyü kimi ≤400°C temperaturda mina təbəqəsinin istidən genişlənmə əmsalı polad əsasdan azdır və soyutma zamanı mina təbəqəsində səmərəli sıxma qalıq gərginliklər yaranacaqdır.

Detalları yandırma zamanı müxtəlif təbəqələr arasında kimyəvi birləşmələr əmələ gəlir və həmçinin kələ-kötürlüklər hesabına mexaniki yapışma baş verir. Əlavə olaraq, əsas materialın səthində olan kələ -

kötürlüklərdə yanma zamanı elektro-kimyəvi korroziya səbəbindən oyuqşəkilli çüxurlar əmələ gəlir (şək. 7.5.).



Şəkil 7.5. Səthinə mina örtüyü çəkilmiş GGG markalı çuqun.

Detalın üzərinə çəkilmiş mina təbəqəsini qurutma (yandırma) zamanı, baş verə biləcək hidrogen qüsurlarının (“balıq pulu”) qarşısı alınmalıdır. Əks halda, $Fe + H_2O \rightarrow FeO + 2H$ reaksiya nəticəsində mina təbəqəsi yararsız vəziyyətə düşə bilər.

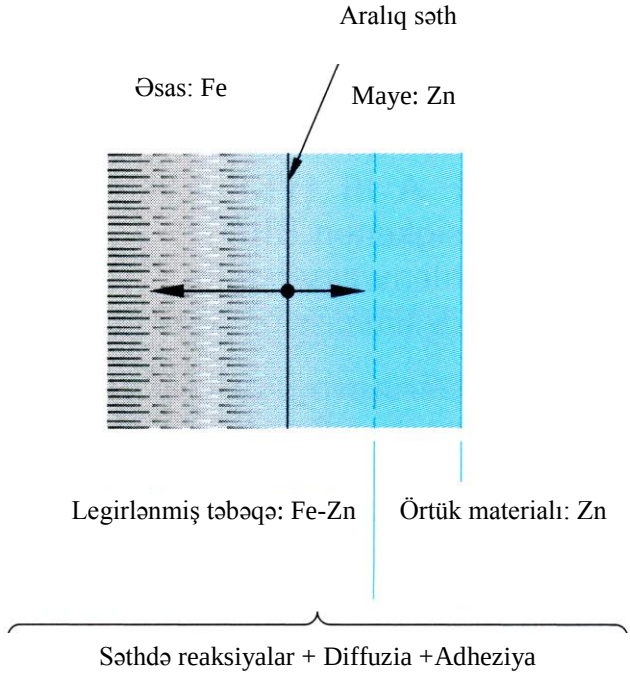
8. Mayeyə batırmaqla səthə örtükçəkmə

8.1. Əməliyyatın prinsipi, tələblər və tətbiq sahələri

Mayeyə batırmaqla alınan səth örtüklərinin əsasən aşağıdakı növləri fərqləndirilir:

- sink və sink legirləri;
- alüminium və alüminium legirləri;
- qalay və qalay - qurğuşun legirləri;
- qurğuşun və qurğuşun legirləri.

Ərintiyə batırılan detalın səthində əmələ gələn təbəqənin sxematik təsviri şək. 8.3.- də təqdim olunmuşdur. Maye ilə əhatə olunmuş səthdə baş verən kimyəvi reaksiyaların, adheziyanın və diffuziyanın təsirindən örtük təbəqəsi formalaşır. Səthdə legirlənmiş təbəqənin əmələ gəlməsi ilə örtük materialının əsasla ilişmə möhkəmliyi yüksəlir. Legirlənmiş təbəqənin əmələ gəlməsi üçün əsas şərtlərdən biri iştirak edən komponentlərin bir-birləri ilə qarışa bilməsidir (məsələn, dəmir və sink qarışığı).



Şəkil 8.1. Polad materialı Zn vannasına batırma zamanı səthdə əmələ gələn təbəqənin sxematik təsviri.

Mayeyə batırmaqla örtükçəkmə zamanı aşağıdakı tələblər nəzərə alınmalıdır:

- əsasın temperatura davamlılığı;
- əsasın ərimə temperaturu ərimə vannasının temperaturundan yüksək olmalıdır;
- legirləyici təbəqənin əmələ gəlməsi mümkün olmalıdır (qarışıq kristal sahəsi);
- ərimiş maye metalın əsasla adheziyası kifayət qədər möhkəm olmalıdır;

- hava boşluğu örtük çəkilən detallardan çıxarıla bilməlidir;
- maye boşluqlara daxil və xaric ola bilməlidir;
- bütün səthlər maye ilə nəmlənə bilməlidir;
- tələbat olduqda havanın və mayenin axması üçün deşiklər burğulanmalıdır;
- detalların asıldığı qarmaq sahələrində təbəqə alınmadığından, bu sahələr yenidən örtülməlidir.

Mayeyə batırma əməliyyatı zamanı, əlavə termiki gərginlik yaranır və bu gərginlik növbəti amillərin təsirindən arta da bilər:

- qeyri-simmetrik konstruksiya;
- qeyri-bərabər qalınlıq;
- maye vannasında uzun müddətli saxlama;
- qeyri-bərabər soyuma.

Növbəti cədvəldə mayeyə batırmaqla alınan örtüklərin tətbq sahələri və onların fiziki xüsusiyyətləri təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 8.1. Müxtəlif örtüklərin tətbiq sahələri, qalınlığı və üsula uyğun maye vannasının temperaturu.

Örtük	Tətbiqi	Adi təbəqənin qalınlığı, mkm	Maye vannasının temperaturu
Sink	Detalı sinkləmə	20 ... 150	450°C
	Lenti sinkləmə Polad lentin eni ≤ 600 mm	10 ... 75	
	Məftili sinkləmə	5 ... 45	
Alüminium	Detalı alüminiumlama	100 ... 120	700°C
	Lenti alüminiumlama	17 ... 22	
Qalay	Detalı qalaylama	25 ... 125	300°C
	Lenti qalaylama	1,5 ... 4,5	
Qurğuşun	Detalı qurğuşunlama	20 ... 40	380°C
	Lenti qurğuşunlama	4 ... 25	

8.2. Mayeyə batırmaqla səthə alüminium örtüklərin çəkilməsi

Alüminium örtüklərin tətbiqinin üstünlüklərinə aşağıdakılar aiddir:

- stabil alüminium oksid təbəqəsinin alınması. Tələb olunduqda əlavə olaraq elektrolit üsulla gücləndirilə və rənglənə bilər;
- keçiriciliyin yaxşılaşdırılması;
- istilik və işığı yüksək əks etdirmə qabiliyyəti;
- gümüşü metal parlaqlığa malik görünüş;
- optik cəzbedici və dekorativ;
- sinklə müqayisədə zəhərli deyil;
- alüminiumun aşağı sıxlığa malik olması ilə əlaqədar kiçik kütlə artımı.

Poladların üzərinə mayeyə batırmaqla alüminium örtüklərin çəkilməsi zamanı əməliyyat temperaturu 650-750^{0}C olur və dəmirlə alüminium arasında çox kövrək və bərkliyə malik intermetallik faza (Fe_2Al_5) əmələ gəlir. Vannanın temperaturunu və legirləyici əlavənin miqdarını dəyişməklə, legirlənmiş təbəqənin qalınlığını idarə etmək olar. Burada adi alüminium örtük təbəqəsinin qalınlığı adətən 20-100mkm, legirlənmiş təbəqənin qalınlığı isə 10-60mkm olur. Əsasla örtük materialının qarşılıqlı əlaqəsini yaxşılaşdırmaq üçün, hissələr mayeyə batırılmazdan əvvəl onların səthi əsasən xloridlərin məhlulundan ibarət olan posalarla isladılır (məsələn, $ZnCl_2$, NH_4Cl).

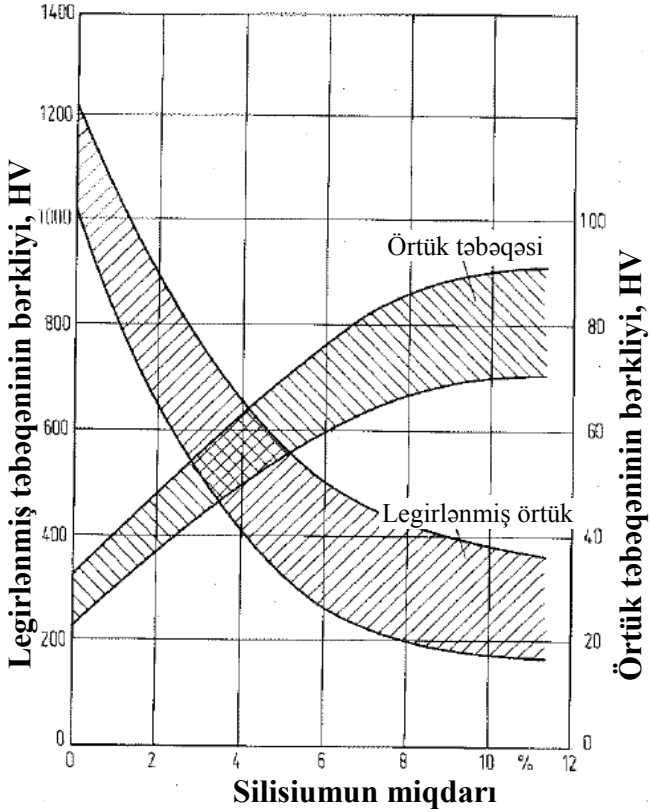
Mayeyə batırma üsulu ilə alınmış alüminium örtüklərin xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək:

- dəmirlə legirlənmiş çoxfazalı örtüklər alınır: η-faza Fe_2Al_5, ξ- faza $FeAl_2$, ϑ- Faza $FeAl_3$, Fe_3AlC_X qarışıq karbidlər;
- adi Al təbəqənin qalınlığı 20-100 mkm, hətta 400 mkm- ə qədər ola bilər;
- uyğun legirlənmiş təbəqənin qalınlığı 10-60 mkm;
- intermetallik fazalar çox bərk (7000-10000 HV) və kövrəkdir;
- aşqar əlavə etməklə (məsələn, Zn- mayesinə 1%- ə qədər Al əlavə etmək) kövrək fazanın əmələ gəlməsinin qarşısı alına bilər;
- polad materialın dartılma möhkəmliyi alüminiumla örtükçəkmə temperaturunun yüksək olması hesabına azalır;
- alüminium mayesində legirləyici silisium (10%-ə qədər) legirlənmiş təbəqənin qalınlığını və bərkliyini azaldır (şək. 8.2.);
- örtük təbəqəsinin bərkliyi silisiumun tərkibdə olması ilə artır.

Alüminium örtüklərin tətbiq məqsədləri və sərhədlərini nəzərdən keçirək:

- həmçinin yüksək temperaturlarda korroziyaya, oksidləşməyə, erroziyaya qarşı davamlılıq;
- xüsusən metallik görünüş tələb olunduqda;

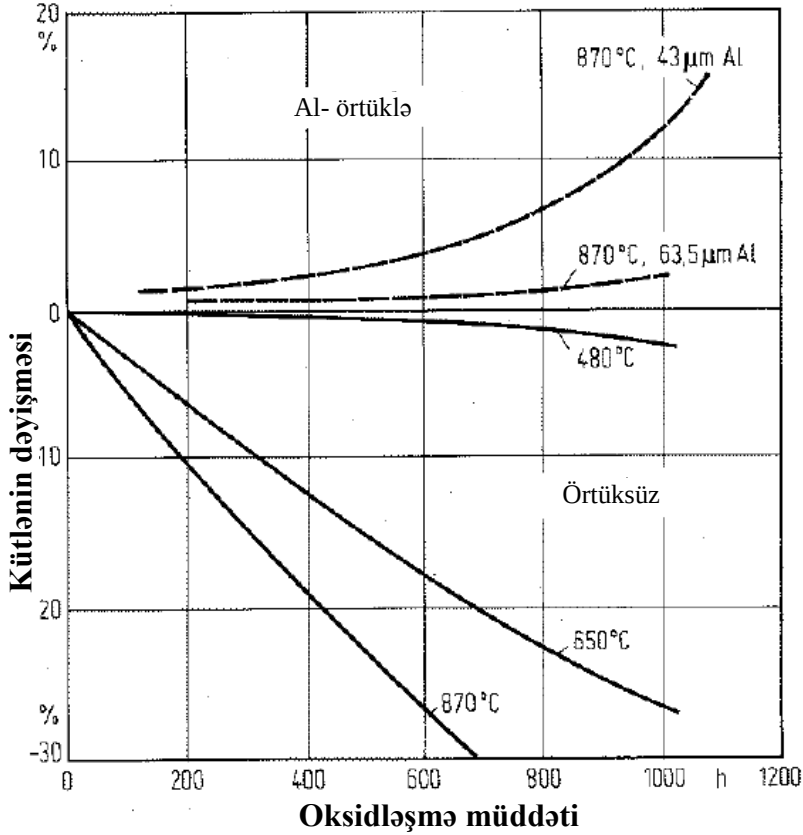
- yüksək əksetdirmə və yaxşı elektrik keçiriciliyi tələb olunduqda;
- hidrogen-sulfidə, sənaye atmosferində kükürd oksidinə, kənd təsərrüfatı qurğularında nitrat/fosfatlara, dəniz duzlarına qarşı davamlı;
- polad hissələri fasiləsiz təsir edən su damcısından qorumaq üçün, çox qalın alüminium örtüklər (400mkm- ə qədər);
- tərkibində silisium olan, mayeyə batırmaqla örtük çəkilmiş təbəqələrdə Al-Fe-Si legirlənmənin əmələ gəlməsi ilə istiliyə ($\leq$700°C) və soyulmaya davamlı səth alınır;
- alüminiumla örtülmüş detalların kiçik deformasiyasında səth təbəqəsi dağılmır;
- örtük çəkilmış poladlar qaynaq oluna bilərlər. Amma termiki təsir sahəsində plastiklik və korroziyaya qarşı davamlılıq azalır;
- örtükçəkmə prosesinin təsirindən materialın möhkəmliyi azalır, həssas detallarda deformasiya baş verir;
- mürəkkəb həndəsi formaya malik kiçik hissələr mayeyə batırmaqla alüminiumlaşdırıla bilmirlər.



Şəkil 8.2. Alüminiumla legirlənmiş və örtülmüş təbəqədə silisiumun miqdarından asılı olaraq bərkliyin dəyişməsi.

600°C- də qeyd olunan Al- qoruyucu örtük, karbonlu poladları H_2S- dən qoruması xrom-poladları ilə müqayisədə 100 faktor yüksəkdir. Örtüksüz və Al-la örtülmüş poladın materialın 870°C temperaturda 700saat oksidləşdirilməsi zamanı kütlənin faizlə dəyişməsinə təsiri növbəti şəkildə təqdim olunmuşdur. Qrafikə əsasən alüminiumla örtülmüş polad örtüksüz

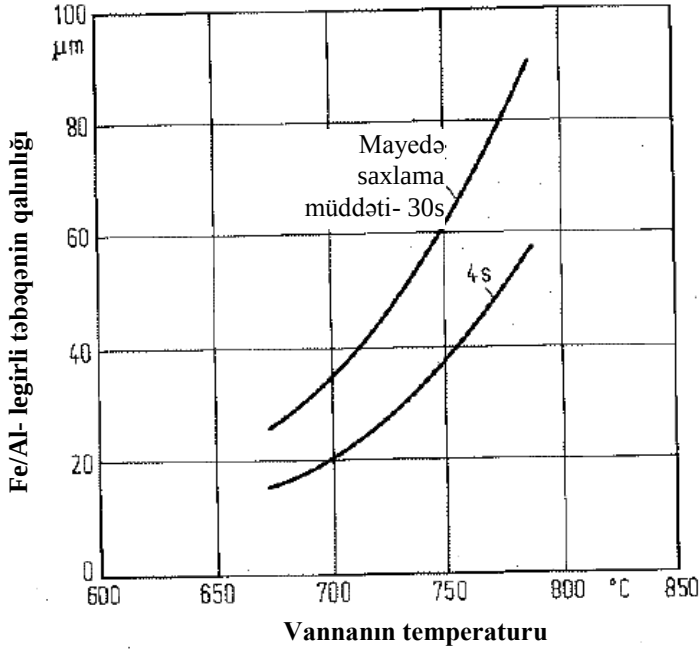
poladlarla müqayisədə yüksək temperaturlarda oksidləşməyə qarşı davamlıdır (kütənin artımı).



Şəkil 8.3. Alüminiumla örtülmüş poladın örtüksüz poladlarla müqayisədə yüksək temperaturlarda oksidləşməyə qarşı davamlılığı.

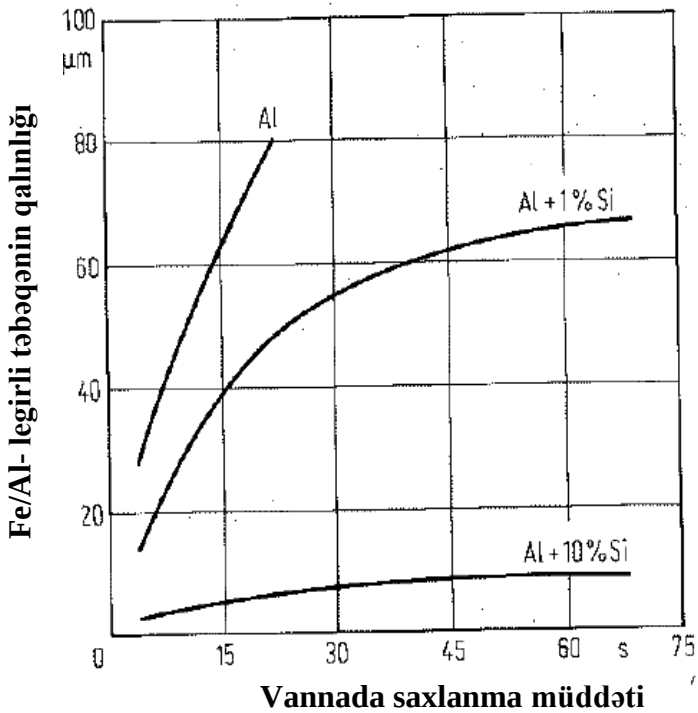
Fe-Al legirinin əmələ gəlməsinə vannın temperaturunun və vannada saxlama vaxtının təsiri şək. 8.4. və şək. 8.5.- də verilmişdir. Vannada saxlama

müddəti adətən 50-60 saniyə olub, detalın vanna temperaturuna qədər qızma müddətindən asılıdır.



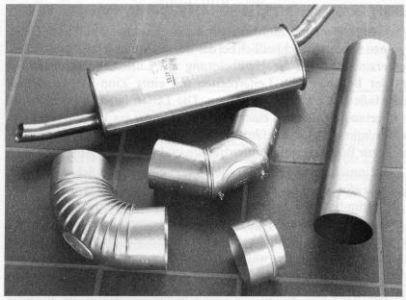
Şəkil 8.4. Fe/Al- legirinin əmələ gəlməsinə vannın temperaturunun təsiri.

Legirlənmiş təbəqənin qalınlığını azaltmaq üçün vannanın temperaturu və vannada saxlama müddəti az olmalıdır (şək. 8.4., şək. 8.5.).



Şəkil 8.5. Fe/Al- legirinin əmələ gəlməsinə vannada saxlama vaxtının təsiri.

Fe-Al legirinin əmələ gəlməsini minimumlaşdırmaq üçün aluminum mayesinə silisium əlavə olunur. Belə ki, Si əlavəsi alüminiumun səthə diffuziyasına və legirləmə prosesinə mane olur. Alüminiuma yüksək miqdarda Si əlavə etdikdə, (≥10%) bərk örtük təbəqəsi (αAl, Al-Fe-Si, Si) və plastik legirli təbəqə (Fe_2Al_5, $FeAl_3$, Al-Fe-Si) əldə olunur.



Şəkil 8.6. Alüminiumun tətbiqinə aid nümunələr: pilləkənlərdə dekorativ və ixraç qazlarının nəqlində SO_2, H_2S və NO_X təsirlərinə qarşı örtüklər.

8.3. Mayeyə batırmaqla səthə sink örtüklərin çəkilməsi

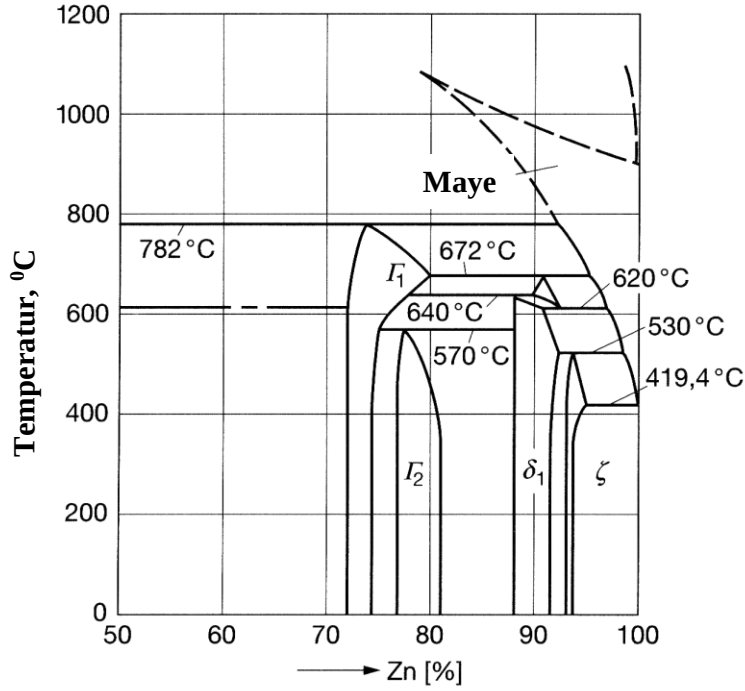
Poladların üzərinə mayeyə batırmaqla sink örtüklərin çəkilməsi zamanı əməliyyat temperaturu 440-460^{O}C olur və dəmirlə sink arasında dəmir-sink-fazası əmələ gəlir. Vannanın temperaturunu və legirləyici əlavənin miqdarını dəyişməklə, legirlənmiş təbəqənin qalınlığını idarə etmək olar. Adi sink örtük təbəqəsinin qalınlığı adətən 10 – 60 mkm olur. Əsasla örtük materialının qarşılıqlı əlaqəsini yaxşılaşdırmaq üçün, hissələr mayeyə batırılmazdan əvvəl onların səthi əsasən xloridlərin məhlulundan ibarət olan posalarla isladılır (məsələn, $ZnCl_2$, NH_4Cl).

Sink örtüklərin tətbiq məqsədlərini və onların tətbiq sərhədlərini nəzərdən keçirək:

- azlegirli poladlardan hazırlanmış hissələrin korroziyaya qarşı davamlılığının artırılmasında;
- əsas tətbiqi sahələri polad konstruksiyalar, elektrik stansiyaları, texnoloji maşınlar və dəniz qurğulardır;
- sink örtüklərinə qarşı səmərəli olan rəqib örtük yoxdur;
- korroziyaya qarşı davamlılığı artırmaq üçün, sink örtüyün üzərindən boya çəkilə bilər;
- örtüyün dağılmaması şərti ilə orta deformasiya mümkündür;
- poladların sinklənməsində materialın möhkəmliyi azalmır (440-460°C);
- detalda olan gərginliklər aradan qaldırılır (xüsusən qaynaq gərginlikləri);
- yüksək möhkəmlikli poladlarda heç bir hidrogen kövrəkləşməsi baş vermir
- detalların dövrü yüklənməyə qarşı möhkəmliyinə mənfi təsir edə bilər;
- kiçik yivli və ya mürəkkəb həndəsi formaya malik hissələrin üzərinə sink örtük çəkilə bilmir.

Fe-Zn hal diaqramına əsasən, səthdə intermetallik fazanın əmələ gəlməsi üçün tərkibdə sinkin miqdarı >70% olmalıdır (şək. 8.7.).

Təxminən 450°C temperaturdan başlayaraq, tərkibdə olan poladın miqdarı fazaların əmələ gəlməsinə müxtəlif təsirlər göstərəcəkdir. 450°C temperaturda əsasən δ- və ζ- fazaları əmələ gəlir. Çünki, Γ- fazasının əmələ gəlməsi mayeyə uzun müddətli batırma vaxtından sonra baş verir. Təxminən 550°C temperaturda („yüksək temperaturlu sinkləmə“) legirli təbəqə Γ- və δ- fazalarından ibarət olur.



Şəkil. 8.7. Fe-Zn hal diaqramı.

Cədvəl 8.2. Sinklənmiş örtükdə əmələ gələcək fazalar və onların xüsusiyyətləri.

Fazalar	Stexiometriya	Kütlə, % Fe	Xüsusiyyətləer	Bərklik, $HV_{0.05}$
α	α-qarışıq kristalları	94	Keçid sahəsi	110
$\Gamma(\Gamma_1 + \Gamma_2)$	$FeZn_3$, Fe_3Zn_{10}, Fe_5Zn_{21}	21–28	Bərk sink təbəqə	140
δ	$FeZn_7$, $FeZn_{10}$	7–12	Bərk sink təbəqə	160
ζ	$FeZn_{13}$	6,0–6,2	Kövrək, barmaqformalı kristallar	100
η		0,08	Təmiz sink	50

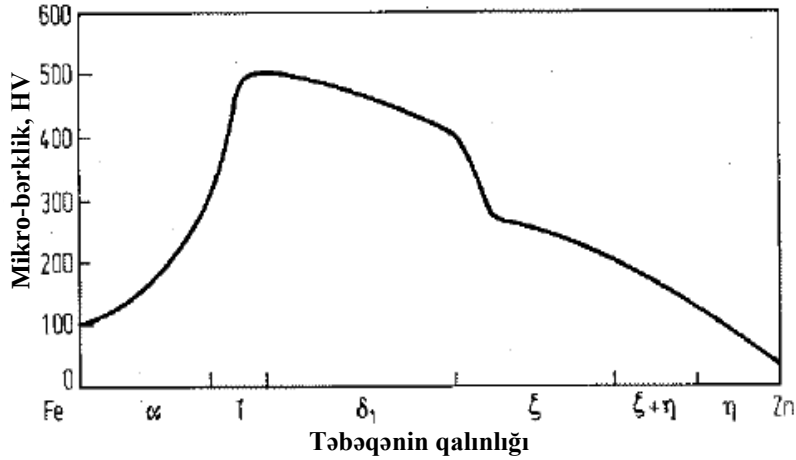
Yüksək temperaturlu sinkləmənin xüsusiyyətlərinə aiddir:

- vannanın temperaturu 560-600°C;
- mayenin özlülüyü az olduğundan əsasən nazik təbəqə alınır;
- təbəqə homogendir və quruluş əsasən Fe-Zn legirinin delta-fazasından ibarətdir;
- əldə olunan təbəqənin qalınlığı, qalvanik sinkləmə (25 mkm) ilə vannada adi sinkləmə (50-300 mkm) zamanı alınan örtük qalınlıqları arasında yerləşir;

Yüksək temperaturlu sinkləmənin üstünlüklərinə aiddir:

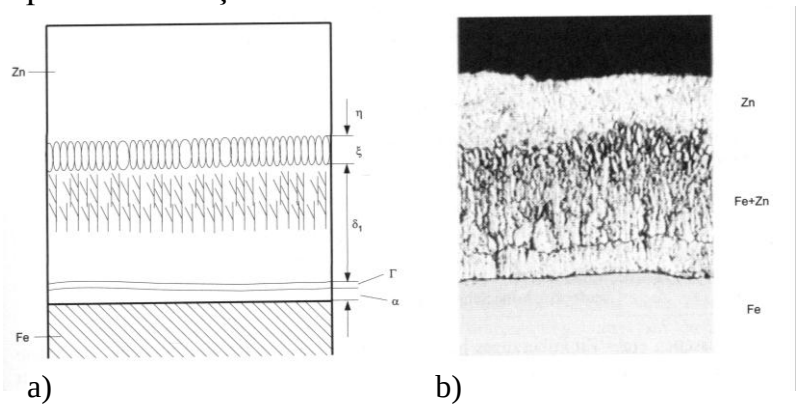
- idarə olunabilən təbəqə qalınlığı 25-80 mkm;
- sabit kələ-kötürlüyə malik müntəzəm səth;
- səth təbəqəsinə qədər legirli örtüyün tam formalaşması ilə yüksək yeyilməyə davamlılıq;
- yüksək dəqiqlik dərəcəsi;
- nazik təbəqə hesabına kütlənin azaldılması;
- üzərinə çəkiləçək növbəti təbəqə ilə yaxşı ilişmə yaradır.

Abraziv mühitdə işləyən səthin yeyilməyə davamlılığına əsasən səthin bərkliyi təsir edəcəkdir (şək. 8.8.).



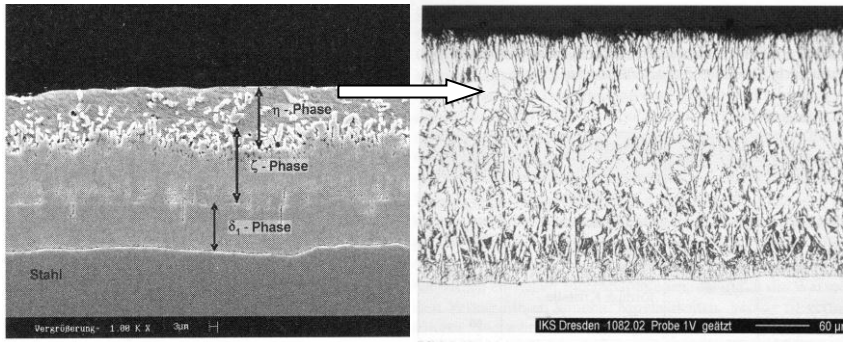
Şəkil 8.8. Sinkə batırma ilə alınmış diffuziya təbəqəsinin bərkliyi.

Səthi sinklənmiş örtüklərdə əmələ gələ biləcək fazalar və onların real en kəsikləri növbəti şəkillərdə təqdim olunmuşdur.



a) b)

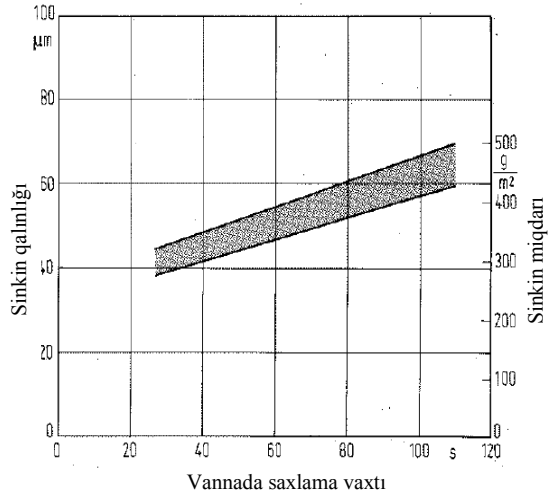
Şəkil 8.9. Fe-Zn legirli təbəqənin quruluşu: sxematik təsvir (*a*); en kəsiyinin işıq mikroskopu altında görünüşü (*b*).



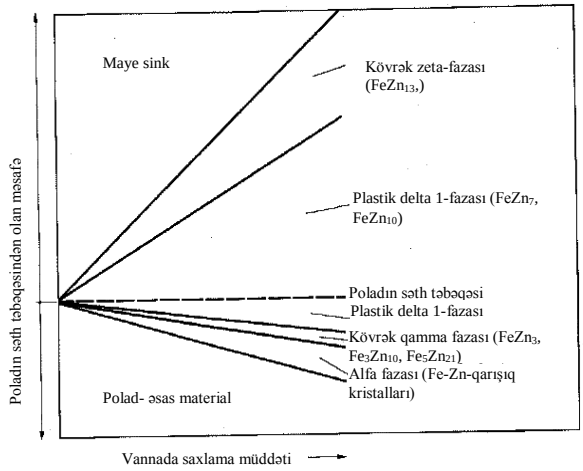
Şəkil 8.10. Səthdə sink təbəqəsinin en kəsiyi.

Legirli təbəqənin üzərində əmələ gələn təmiz sink təbəqə parlaq görnüşü rəngə malikdir (şək. 8.10.). Legirli təbəqə səthə qədər davam edərsə, tutqun boz səth alınır.

Fe-Zn fazasının əmələ gəlməsi vannanın temperaturundan və vannada saxlama müddətindən asılıdır (şək. 8.11. və şək. 8.12.). Poladda olan legirləyici elementlər – karbon, silisium və s. alüminiumda olduğu kimi Fe-Zn fazasının əmələ gəlməsinə təsir edir.



Şəkil 8.11. Zamandan və sinkin miqdarından asılı olaraq, sink təbəqənin qalınlığının dəyişməsi.



Şəkil 8.12. Polad hissənin səthindən olan məsafədən asılı olaraq, əmələ gələn təbəqələr.

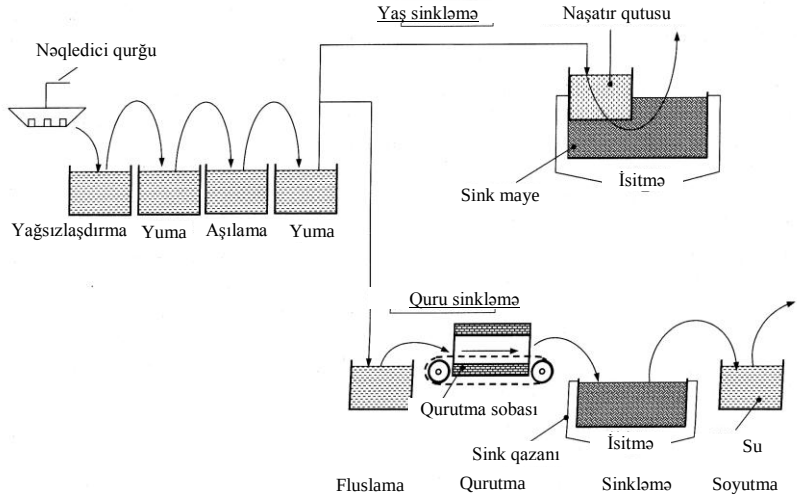
Maye vannada sinklənmiş hissələr misal olaraq, şək. 8.13.- da yüksək gərginlikli məftil dirəyi və tullantı konteyneri təqdim olunmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, havasız mühitdə su kondensasiyasının təsirindən, əlavə örtülməmiş sinkin səthində korroziya baş verir. Korroziyaya qarşı davamlılıq əlavə olaraq növbəti təsirlərlə artırıla bilər:

- Konverzion örtüklərlə- əsasən metal səthində qeyri-metal, qeyri-üzvü nazik örtüklərlə (fosfatlama, xromatlama və s.);
- dupleks sistemlər (dupleks sistemlər sinklənmiş təbəqə ilə üzvi örtüklərin (polimerlər) kombinasiyasıdır);
- üzvi təbəqə ətraf mühitlə qarşılıqlı təsirdən zədələndikdə, sinkin səthə çəkilməsi ilə üzvi örtüyün altındakı səthin paslanması aradan qaldırılır.

Şəkil 8.13. Yüksək gərginlikli məftil dirəyi və 1,1 m^3 həcmli tullantı konteyneri.

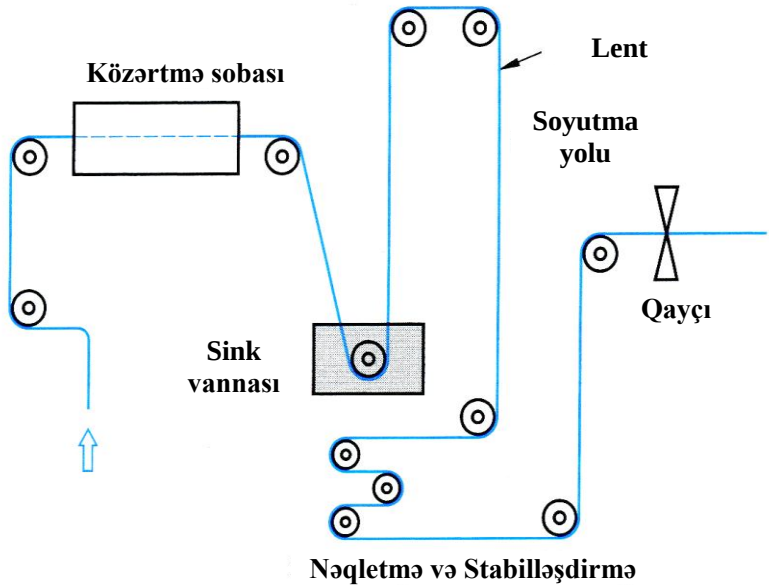
Hissələrin sink vannasına batırmaqla səthlərinə örtükçəkmə texnologiyalarından biri də növbəti şəkildə sxematik olaraq təsvir olunmuşdur.



Şəkil 8.14. Yaş və quru sinkləmə əməliyyatının texnoloji ardıcıllığı.

Yuxarıda qeyd olunan sinkləmə üsulları fasiləli üsul olub, burada detalar və ya detallar qrupu ayrı-ayrılıqda sink mayesinə batırılır.

Lentli sinkləmə sxemində narın lövhələr və lentşəkilli poladlar fasiləsiz olaraq sink mayesindən keçirilərək onların üzərinə örtük çəkilir (şək. 8.15.).



Şəkil 8.15. Lentli sinkləmənin sxemi.

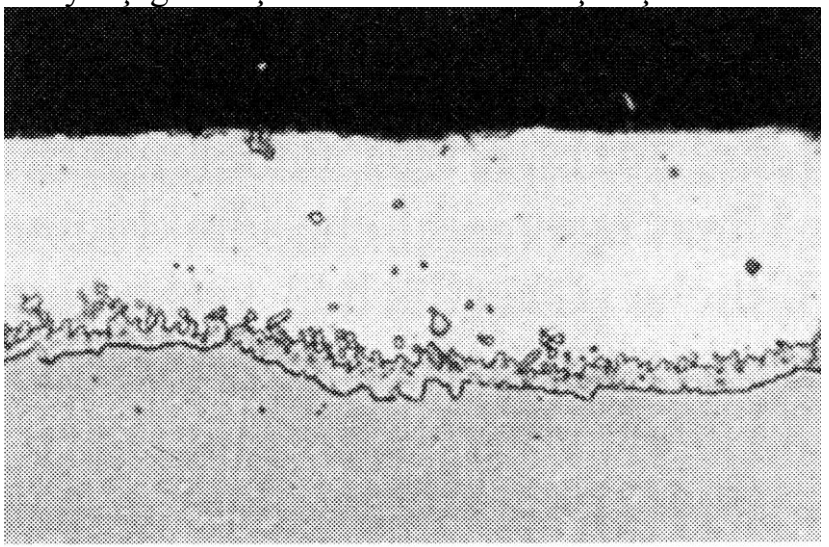
Fasiləsiz olaraq, diyircəklər vasitəsi ilə nəql olunan lent yaxşı deformasiya olunur, çünki kövrək intermetallik örtük nazikdir və deformasiya nəticəsində dağılmır. Qalınlığı 3mm- ə qədər olan lövhələri bu cür sinkləyirlər.

Fasiləsiz üsulla səthinə sink təbəqə çəkilmiş örtüyün xüsusiyyətlərinə aşağıdakılar aiddir:

- təbəqənin qalınlığı 15-25 mkm;
- lentə örtükçəkmə sürəti ≥200 m/dəq;
- polad və sink mayesi arasında qısa reaksiya müddəti;

- səthdə bərk sink təbəqənin alınması üçün, sinklənmiş detal sinkin ərimə temperaturundan yüksək temperaturlarda közərdilir.

Üzərinə 30 mkm qalınlıqda sink çəkilmiş lentin en kəsiyi aşağıdakı şəkildə təsvir olunmuşdurş.



Şəkil 8.16. Üzərinə 30 mkm sink örtük çəkilmiş lentin en kəsiyi.

8.4. Mayeyə batırmaqla səthə qalay örtüyün çəkilməsi

Poladların üzərinə mayeyə batırmaqla qalay örtüklərin çəkilməsi zamanı əməliyyat temperaturu 275-325^{O}C olur və dəmirlə qalay arasında çox kövrək

və bərkliyə malik $FeSn_2$ intermetallik faza və xarici səthdə təmiz qalay təbəqə əmələ gəlir. Bu zaman iki vanna üsulundan istifadə olunur. Birinci vannada 300^OC- də $FeSn_2$ legirli örtük, növbəti olaraq ikinci vannada isə 250^OC temperaturda qalay örtük təbəqəsi alınır. Vannadan çıxan hissələrin səthindəki artıq örtüyü diyircəklə sıxışdırıb çıxardıqda, qalay təbəqənin qalınlığını 1,5-2,5 mkm, temperaturu 250^OC olan isti hava ilə üfülədikdə isə 0,8-2 mkm təbəqə qalınlığı əldə etmək mümkündür.

Yağsızlaşdırılmış və aşılanmış polad hissələr qalay mayesinin üzərində köpükformalı posaun içərisindən keçərək, qalay vannasına (275-325°C) batırılır. Bu zaman əmələ gələcək $FeSn_2$ kristallarının (bərk sink kristalları) qarşısını almaq üçün vannada saxlanma vaxtı çox kiçik olmalıdır. Qalay mayesinə batırmazdan əvvəl ilkin $FeSn_2$ təbəqəsi artıq vannanın üzərindəkii posa ilə müxtəlif potensialların təsirindən reaksiya nəticəsində yaranır (Fe: -0,44V, Sn -0,14V). Bu örtük qalay vannasında səthin qalayla nəmlənməsini yaxşılaşdırır və təbəqənin qalınlığı daha da yüksəlir. Belə ki, 10 san müddətində 250°C temperaturda 0,2 mkm, 10 san müddətində 325°C temperaturda isə 0,3 mkm qalınlıq əldə olunur.

Qalay örtüklərinin tətbiq sahələri və bu tətbiqin sərhədlərini nəzərdən keçirək:

- korroziyaya qarşı dekorativ örtük. Azlegirli poladlar üçün boya ilə kombinasiya olunaraq, qida məhsulları sənayesində tətbiq olunur;

- səthin lehimlənmə qabiliyyətini yüksəltmək üçün tətbiq olunur;
- çuqundan hazırlanmış hissələrin səthinə aralıq qat kimi çəkilir. Bu təbəqənin də üzərindən qurğuşun və ya qalay mayesindən ibarət sürüşmə örtükləri (yaxşı təmizlənmə, sürtünməni azaltmaq üçün bərk yağlayıcı maddə) çəkilir;
- qalaylanmış hissələrı plastik deformasiya etdikdə və ya qatladıqda qalay təbəqə dağılmır;
- maye vannasının temperaturunun aşağı olması ilə (275-325°C), qalaylama prosesi detalın və materialın xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli təsir etmir;
- yüksək möhkəmliyə malik poladlarda heç bir hidrogen kövrəkləşməsi baş vermir;
- mürəkkəb həndəsi formaya malik hissələr alovla qalaylana bilmir.

Qalay mayeyə batırma üsulu ilə alınmış örtüklərin xüsusiyyətlərinə aiddir:

- adi təbəqənin qalınlığı 2-20 mkm;
- $FeSn_2$ azlegirli poladların səthində aralıq legirli və səthdə qalaylama qabiliyyətini yaxşılaşdıran təbəqə kimi istifadə olunur;
- hər şeydən əvvəl, turşu mühitində korroziyaya qarşı davamlılığı artırır;
- hətta lövhələrin deformasiyası zamanı, qeyd olunan üsulla qalaylanmış löhələr, qalvanik

üsulla qalaylanmış lövhələrə nisbətən koroziyaya qarşı yüksək davamlığa malikdirlər;
- təbəqənin qalınlığı artdıqca korroziyaya qarşı davamlılıq artır;
- qida məhsullarına qarşı yüksək dözümlülük;
- qalayın ağ lövhə kimi (polad lövhənin qalayla örtülməsi) paketləmə sənayesində tətbiqi, qalvanik üsulla aparılır. Çünki, qalvanik üsulla nisbətən nazik təbəqə alınır;
- aşağı ərimə temperaturu (232°C) qalay örtüklərin yüksək temperaturda tətbiqini məhdudlaşdırır.

8.5. Mayeyə batırmaqla səthə qurğuşun örtüyün çəkilməsi

Poladların üzərinə mayeyə batırmaqla qurşuğun örtüklərin çəkilməsi zamanı detal qabaqcadan emal olunaraq, onun səthi posa ilə nəmləndirilir. Adı qurğuşun təbəqə örtükləri 5-25 mkm, poladları vannaya batırmaqla qurğuşunlamada Sn aralıq təbəqə istifadə etdikdə isə qalınlıq 300 mkm- ə qədər mümkündür.

Maye qurğuşun polad səthi nəmləndirmir. Belə ki, Pb və Fe heç bir qarışıq kristal və heç bir Pb-Fe legiri əmələ gətirmir. Buna görə də Fe və Pb arasında qalay aralıq təbəqə (Fe-Sn-Pb) istifadə etməklə diffuziya təmin edilir. Pb- legirlərini (PbSn, PbSb, PbSnSb)

tətbiq etməklə, aralıq qat kimi intermetallik fazanın ($FeSn_2$, $FeSb_2$) qurulması təmin edilir və bunla da ilişmə möhkəmliyini yüksəltmək olar.

Qurquşun örtüklərinin tətbiq sahələri və bu tətbiqin sərhədlərini nəzərdən keçirək:

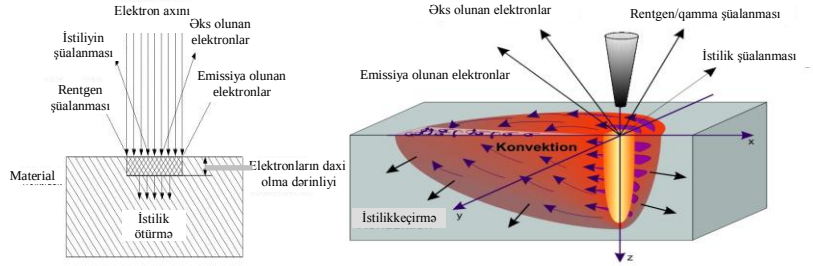
- yanacaq, yağ, dəniz atmosferi və kimyəvi maddələr, xüsusən küclü oksidləşdırıcı turşular (harada ki, zəhərli maddə olan qurğuşun heç bir rol oynamır) və s. kimi mühitlə qarşılıqlı təsirdə olan materialları korroziyadan qorumaq;
- şüalanmadan qorumaq;
- detalların sürüşmə və lehimlənmə qabiliyyətlərini yaxşılaşdırmaq;
- poladların alovla qurğuşunlanmasında materialın möhkəmliyi azalmır (~ 360°C);
- detalda olan gərginliklər (xüsusən qaynaq gərginlikləri) aradan qaldırılır;
- yüksək möhkəmliyə malik poladlarda heç bir hidrogen kövrəkləşməsi baş vermir;
- qurğuşunun poladlarla və başqa materiallarla müqayisədə temperaturdan genişlənmə əmsallarının fərqli olması ilə əlaqədar olaraq, qalın qurğuşun örtüklərində temperatur dəyişmələrindən yaranan gərginliklər səbəbindən çatlama təhlükəsi vardır;
- mürəkkəb həndəsi formaya malik hissələr qurğuşunlana bilmir.

Qurğuşun mayeyə batırma üsulu ilə alınmış örtüklərin xüsusiyyətlərinə aiddir:

- bu örtüklər hər zaman Sn və ya Sb-Fe legirlı örtüklər üzərinə çəkilir;
- təbəqənin qalınlığı 5-25 mkm;
- aqresiv gərginliklərdə, məsələn güclü oksidləşdirici turşu mühitində korroziyaya qarşı davamlıdır. Çünki, qurğuşun səthdə çətin həll olan təbəqə əmələ gətirir;
- polad üzərində qurğuşun sıx və məsaməsiz olmalıdır. Çünki, potensiallar fərqi hesabına poladın korroziyası sürətlənə bilər;
- nəzərə alınmalıdır ki, temperatur dəyişmələri təsirindən fərqli istidən xətti genişlənmə əmsalına malik qurğuşun ($28 \cdot 10^{-6} K^{-1}$) və polad ($11,5 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$) birləşmələri çat əmələ gətirə bilər (xüsusən qalın örtüklərdə);
- bərkliyin aşağı olması səbəbindən qurğuşun bərk yağlayici maddə kimi tətbiq oluna bilər;
- qalay və qurğuşun təbəqələr lehimləmə üçün yaxşı əsasdır.

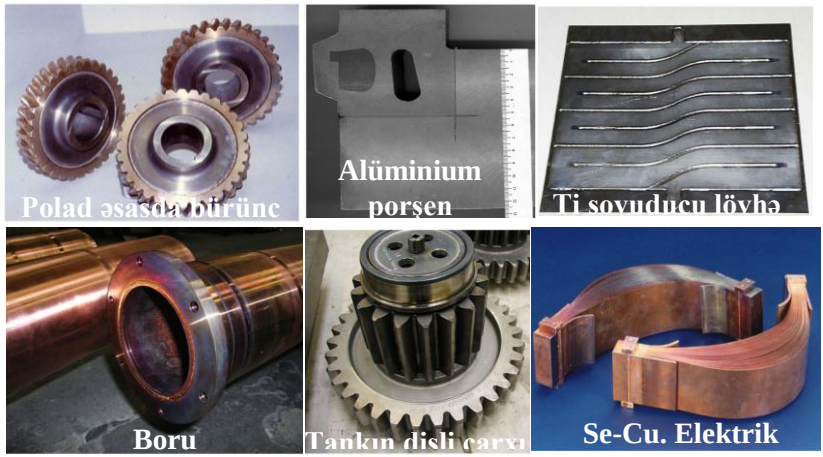
9. Elektron şüası ilə materialların emalı

Elektron şüası ilə əritmə texnologiyası elektron axınının materialla toqquşması nəticəsində onların kinetik enerjisinin istiliyə çevrilməsi hesabına baş verir. Prosesi əynai dərk etmək üçün şək. 9.1.-də elektron şüasının materiala təsir nəticələri təsvir olunmuşdur.



Şəkil 9.1. Elektronun şüasının materialla qarşılıqlı fəaliyyəti.

Elektron şüası ilə emal əməliyyatı başqa əməliyyatla müqayisədə bir sıra əhəmiyyətli xüsusiyyətlərə malik olub, istehsalın müxtəlif sahələrində səmərəli şəkildə tətbiq olunmaqdadır (şək. 9.2.).



Şəkil 9.2. Elektron qaynağının tətbiq sahəsinə aid nümunələr.

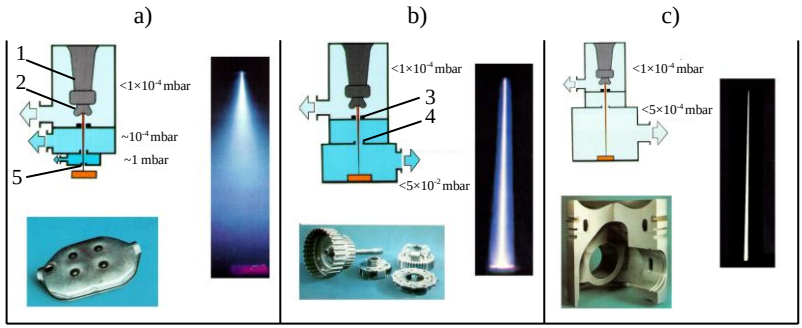
Bu üsulun üstünlüklərinə misal olaraq aşağıdakıları göstərmək olar :

- həddən artıq yüksək enerji sıxlığı, təxminən 10^7 Vatt/cm^2;
- əlavə material tətbiq olunmadan emal mümkünlüyü;
- ensiz ərimə və çox kiçik termiki təsir sahəsi,
- böyük sürətlərlə əritmədə yaranan qalıq gərginliklərin az olması;
- elektron şüasının maqnit dolaqları vasitəsi ilə müxtəlif məsafədə fokslanması və ona rəqsi hərəkətin verilməsi;
- işçi kameranın detalların sayina və ölçüsünə uyğunlaşdırılması ilə, evakulasiya üçün sovurma vaxtının azaldılması mümkünlüyü;

- emal parametrlərinin CNC (Computerised Numerical Controll) vasitəsi ilə nizamlanması və idarə olunması mümkünlüyü;
- emal texnologiyasının dəqiqliklə təkrarlanması və emal parametrlərnin sabit saxlanması hesabına qabaqcadan verilmiş optimal parametrlər əsasında, məmulun yüksək keyfiyyətinə zəmanət vermək;
- 1kV- dan aşağı və 300kV- a qədər olan şüalanma gücü hesabına, 0.5mm- dən az və 300mm qalınlığa qədər əritmə mümkünlüyü.

Elektron şüasının yaradılması və maneəsiz yayılması yalnız yüksək vakuum kamerasında mümükündür. Bu səbəbdən elektron kanonu kamerası və ümumiyyətlə, işçi kamera evakuasiya olunmalıdır.

Elektron şüası ilə emal əməliyyatında emal kamerası yüksək vakuum, qismən vakuum və atmosfer təzyiqi altında ola bilər. Elektronları termiki emissiya etmək və sürətləndirmək üçün, elektron süasının kanon kamerası hər zaman yüksək vakuum altında olur ($<10^{-4}$mbar). Yalnız bu üsulla közərən katodu ($T=2750^0C$) oksidləşmədən qorumaq, sürətləndirilən və axını daraldılan elektronların havanın ağır molekulları ilə toqquşmasının qarşısını almaq, anodla katod və idarəedici elektrod arasında yüksək elektrrik sahəsini təmin etmək olar. İşçi kamera dolduqda kanon kamerası klapanla bağlanır.

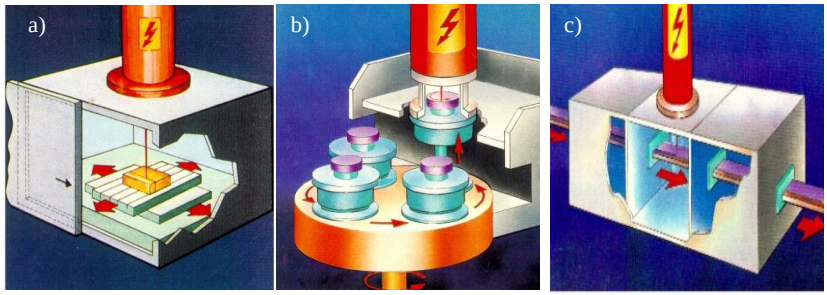


1- Yüksək gərginlik izolyasiyası
2- Şüa axını yaradan
3- Anod
4, 5- Fokuslayici dolaq

Şəkil 12.7. Müxtəlif mühitlərdə elektron şüası ilə emal. a) atmosfer təzyiqi altında; b) qismən vakuum; c) yüksək vakuum.

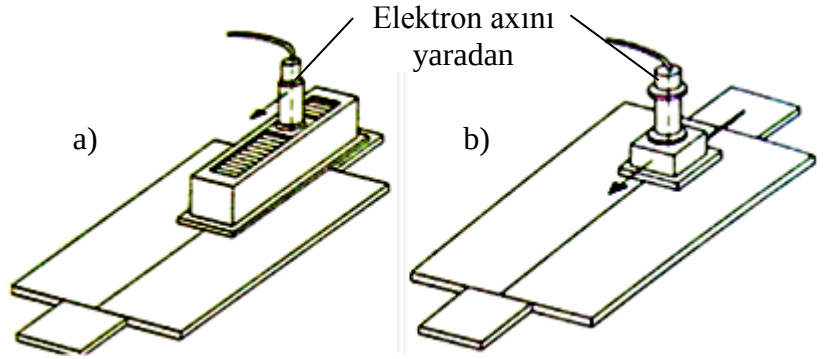
Elektron axını yüksək vakuum şəraitində alındıqdan sonra, bu axını qismən vakuum və ya atmosfer təzyiqi olan mühitə yönəltmək olar. Belə mühitlərdə enerji itgisinin baş verəcəyini qabaqcadan nəzərə almaq lazımdır. Emal olunan materialdan asılı olaraq işçi kamerada müxtəlif təzyiqlər tələb oluna bilər. Bir çox poladlar və əlvan materiallar – məsələn nikel, mis və alüminium üçün 10^{-1}- 10^{-2}mbar təzyiqli qismən vakuum kifayət edir. Amma kimyəvi aktiv metalların emalı zamanı işçi kamerada 10^{-3} – 10^{-5} mbar təzyiqli yüksək vakuum tələb olunur.

Emal olunan hissələrin elektron şüası axınına hərəkət etdirmək və mövqeləşdirmək üçün nəqledici lent, irəli-geri hərəkət edən və fırlanan masa tətbiq olunur (şək. 12.8.).



Şəkil 12.8. Emal olunan materialın işçi kameraya hərəkəti və mövqeləşdirilməsi: a- irəli-geri hərəkət edən masa; b- fırlanan masa; c- nəqledici lent.

Əgər vakuumda emal olunacaq məmul çox böyük ölçüyə malikdirsə və onu maşının vakuum kamerasında yerləşdirmək mümkün deyilsə, bu halda emaldan əvvəl elektronla materialın görüşmə sahəsində kiçik qapalı mühit (lokal və mobil) yaradılaraq atmosfer evakuasiya olunur. Bunu aşağıdakı sxemə əsasən aydınlaşdırmaq olar.



Şəkil 12.9. Elektron şüası vasitəsi ilə materialın lokal (a) və mobil (b) qaynaq mühitində emalı.

10. Lazerlə emal texnologiyası

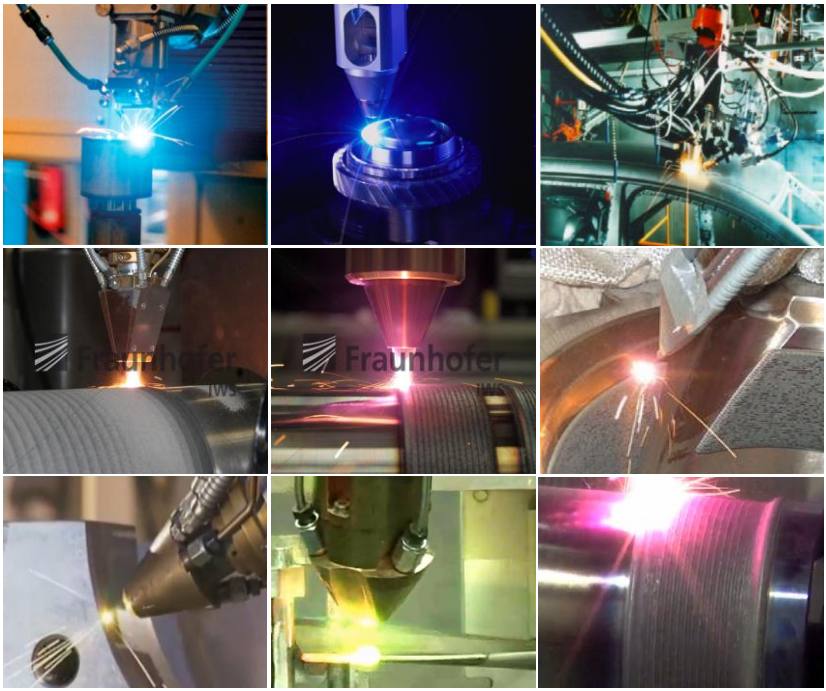
Lazerin gücünün artması ilə onun materialların emalı sahəsinə tətbiqinə imkan yaranmışdir (şək. 10.1.). Belə ki, bü gün lazerlə materialların kəsilməsi, deşilməsi, qaynağı, lehimlənməsi, bərkidilməsi, örtükçəkmə əməliyyatı həyata keçirilir və müasir texnikanı lazersiz təsəvvür etmək mümkün deyildir.

Lazerlə materialların qaynağı zamanı onun yüksək enerji sıxlığına malik olması ilə əlaqədar olaraq qaynaq olunan material elektron şüa axını ilə qaynaqda olduğu kimi bir sıra üstünlüklərə malikdir.

Səthlərin lazer şüası ilə tablanması zamanı əsasən fasiləsiz enerjili CO_2 qaz lazerləri və impulslu bərk aktiv maddəli lazerlər tətbiq olunur.

Lazer şüasının gücünün sıxlığından asılı olaraq, metal əridilə və əridilməyə bilər. Əritmədən tablama apardıqda, poladlarda 1.5-2.0mm, çuqunlarda isə 1-1.5mm dərinlikdə emal olunmuş səth alınır. Əritmə ilə emal etdikdə isə emal olunmuş təbəqənin qalınlığı artır. Səthin əridilməsi ilə onun emalı əsasən, perlit strukturlu, döyülə bilən və bərk çuqunlara tətbiq olunur. Bu zaman səthdə əmələ gələn ledeburit strukturu onun Hers təzyiqinin 1800Mpa-a qədər yüksəlməsinə imkan verir.

Lazerlə tablama üsulunun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, detallar qısa müddətə konsentrasiya olunmuş lazer enerjisı ilə qızdırılaraq ($1/10$-$1/10^6$san), sürətli (10^3-10^6 ^{0}C/san) soyudulur.



Şəkil 10.1. Lazerlə birləşdirmə və örtükçəkmə əməliyyatı.

Səthi əritmədən lazer şüası ilə tablandırdıqda, yeyilməyə davamlılıq 2-4 dəfə, əyilmədə möhkəmlik həddi 70-80%, kontakt möhkəmliyi isə 60-70% artır.

Lazerlə termik emal yüksək məhsuldarlığa malik olub, prosesin avtomatlaşdırılmasına imkan verir. Lazer şüasının tətbiqi ilə detalların səthində müxtəlif emal rejimləri ilə müxtəlif fiziki – mexaniki xüsusiyyətlərə malik səthlər almaqla səthin kompozisiya xarakterini təmin etmək olar.

Maşınqayırma sənayesi ilə yanaşı, lazerlər artıq bir çox sahələrdə, o cümlədən, informasiya texnikasında,

ölçmə texnikasında, tibbdə və s. tətbiq olunur (cəd. 10.1.).

Cədvəl 10.1. Lazerlərin tətbiq sahələri və buna uyğun gücü (Eksaymer lazeri – ultrabənövşəyi dalğa uzunluğuna malikdir).

Tətbiq sahəsi		Lazerin növü	Gücü, Vatt
Material emalı	Mikro-material emalı (məsələn: deşmə, yazma, naxış, cap, qoparma)	**CO_2** -fasiləsiz -pulsla **Nd: YAG-** -fasiləsiz -pulsla **Eksaymer**	 $10\text{-}10^2$ $10^2\text{-}10^3$ $1\text{-}10^2$ $10^2\text{-}10^4$ $10^6\text{-}10^8$
	Makro-material emalı (məsələn: kəsmə, birləşdirmə, səthə örtük çəkmə)	**CO_2** -fasiləsiz -pulsla **Nd: YAG** -fasiləsiz -pulsla	 $10^2\text{-}10^4$ $10^3\text{-}10^7$ $10^2\text{-}10^3$ $10^3\text{-}10^5$
Ölçmə texnikası	(Məsələn: ölçmə və idarəetmə, uzunluq və sürət ölçmələrində, haloqrafiya, holoqram-interferometriya	**He-Ne**	$10^{-3}\text{-}10^{-1}$
Optik üsulla informasiyanın ötrülməsi	Boş fəza İşıq ötürən təchizat	CO_2 -fasiləsiz Əlavə modulatorla **Nd:YAG** -fasiləsiz Əlavə modulatorla **Yarımkeçirici lazer** -fasiləsiz -pulsla	10 1 $10^{-3}\text{-}10^{-2}$ $1\text{-}10^2$
Nüvə reaksiyasının tədqiqi üçün		**Nd: Şüşə** **CO_2** **Eksaymer**	10^{14} $10^{13}\text{-}10^{14}$ $10^{12}\text{-}10^{13}$
Müalicə üçün	Dərinin, gözün və s. müalicəsi	**Eksaymer** - pulsla	 $<10^{-3}$

Lazerlərdə yüksək temperatur sıxlığının olması ilə əlaqədar olaraq onların aşağıdakı üstünlükləri vardır:

- qaynaq olunan materialın kiçik deformasiyası;
- əlavə material tətbiq etmədən hissələrin birləşdirilməsi və termiki emalı;
- qaynaq tikişinin hamar alınması;
- konstruksiyanın çəkisinin azaldılmasına texnologiya əlavə imkanlar yaradır;
- yüksək qaynaq sürəti;
- prosesin avtomatlaşdırılması mümkünlüyü;
- çətin daxil oluna bilən yerlərin qaynağı;
- güclü maqnit materialların qaynağı;
- yüksək korroziyaya və yeyilməyə davamlı məhsul.

Lazer şüalandıran emal qurğusunun qaynq xüsusiyyətləri, lazer şüalandıran mənbənin müəyyən parametrləri ilə təyin olunur. Lazer qaynağı zamanı nəzərə alınacaq elementar parametrlər bunlardır:

- lazer şüasının gücü;
- şüalanma diametrinin optik diametrə olan əlverişsiz nisbəti səbəbindən əyilmə effekti;
- şüa formasının dərəcəsi, şüanın keyfiyyəti;
- fokuslayici optikada şüanın diametric;
- güc konstantı (zamandan asılı olaraq gücün stabilliyi);
- şüalanma istiqamətinin stabilliyi.

Lazerin gücünə- P_L və qaynaq sürətinə- V_S əsasən qaynaq tikişinin enerjisi təyin olunur

$$E = \frac{P_L}{V_S} \qquad (10.1.)$$

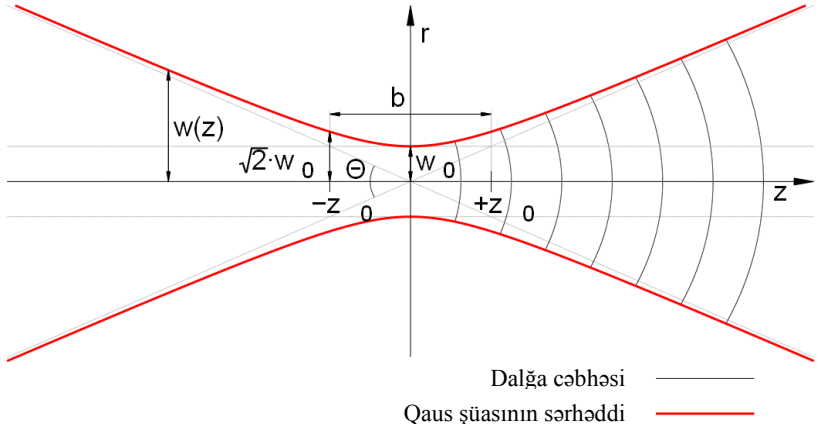
Tikişin enerjisi material xüsusiyyətlərindən (istilikötürmə, istilik tutumu, əridilən materialın həcmi) asılı olaraq təyin olunur.

Şüa formasının dərəcəsi və şüanın keyfiyyəti bir-birlərindən asılıdır. Belə ki, şüalanmanın keyfiyyəti, şüanın ən ensiz yerində şüanın diametrinin məhsulu kimi (şüalanma quyruğu (w)- Qaus şüası, böyük məsafədə şüanın səpələnməsi- θ) müəyyən olunur. Lazer şüasının keyfiyyəti aşağıdakı ifadə ilə dəyərləndirilir

$$K = \frac{W_0}{W} \cdot \frac{\theta_0}{\theta} = \frac{1}{b} \qquad (10.2.)$$

burada W_0, θ_0 - fiziki baxımdan ən yaxşı mümkün olan şüa üçün uyğun gələn qiymətlər olub, TEM_{00} (Transversaler Elektromagnetischer Mode) forma dərəcəsini ifadə edir. B 1 və 5 arasında dəyişib, real formaya təsiri ifadə edir.

Yaxşı konstruksiya olunmuş CO_2 lazerlərində şüanın forma dərəcəsi və keyfiyyəti, ümumiyyətlə, zamandan asılı olmayaraq, stabildir. Bunun əksinə olaraq, bərk aktiv maddəli lazerlərdə onların forma dərəcəsi zaman və gücdən asılı olur. Çünki, lazerin aktiv maddəsinin qarşısı alına bilməyən qızması və bunun nəticəsində deformasiya etməsidir.



Şəkil 10.2. Qaus əyrisində şüanın keyfiyyətinə təsir edən parametrlər.

Əyilmə, əsasən şüanın məhdudlaşdırıcılarla (diafraqma) qarşılıqlı təsirdə olan sahələrində baş verir.

Lazer şüasının foks iametric dalğanın uzunluğuna- λ, fokuslama ədədinə- F (foks məsafəsinin-f optika üzərindəki şüanın – d nisbəti ilə təyin olunur, yəni F=f/d) və şüalanma ədədinə- K (və ya Q) görə təyin olunur

$$d_F = \frac{4\lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{d} \cdot \frac{1}{K} \qquad (10.3.)$$

Şüalanma diametri daxilində, bütün lazer şüasının enerjisinin 86%-i toplanır.

Şüalanma gücündən və şüalanma diametrindən- r_F asılı olaraq, lazer şüasının intensivliyini belə hesablamaq olar

$$I = \frac{P_L}{\pi \cdot r_F^2} \qquad (10.4.)$$

İntensivlik qaynaq prosesinə birbaşa təsir edir və intensivlik nə qədər yüksək olarsa, qabaqcadan müəyyən olunmuş sürətlə, əldə olunan qaynaq dərinliyi bir o qədər yüksək olar. Kobud şəkildə sabit qaynaq sürəti üçün

$$d_S \approx I \cdot r_F,\ d_S \approx \frac{P_L}{r_F} \qquad (10.5.)$$

Qeyd olunan parametrlər lazer qaynağının səmərəliliyinə birbaşa təsir edir. Kəsmə və qaynaq zamanı iş səmərəliliyini yüksəltmək üçün aşağıdakı amillər nəzərə alınmalıdır.

- Yaxşı şüalanma keyfiyyətinə malik lazer istifadə etmək;
- Şüanın döndərilməsindən imtina etmək;
- Əldə olan lazer güçünü səmərəli istifadə etmək üçün optikanı mümkün qədər işıqlandırmaq (təmiz saxlamaq).

Güc konstantının dəyişməsi qısa və uzun müddət (saatdan çox) ərzində baş verə bilər. Güc konstantının qısa müddətli qeyri-stabilliyi hesabına qaynaq tikişində boşluqlar və ərimiş metalın ətrafa səpələnməsi baş verir.

Uzun müddətdən sonar dəyişən güc konstantı hissələrin qaynaq keyfiyyətinə mənfi təsir edir (məsələn, materialın qaynaq dərinliyi zaman kecdikcə dəyişərək hissələrin müxtəlif keyfiyyətinə səbəb olur).

Belə prosesin avtomatlaşdırılması çətinlik yaradır. Çünki, prosesə vaxtaşırı nəzarət tələb olunmalıdır.

Lazer istehsal edən firmalar aşağıdakı normaları qəbul edirlər:

- Gücün dəyişmə intervalı <10% qısa müddətli qeyri-stabilik üçün (nəzərə alınan vaxt müddəti <0,1san);
- Gücün dəyişmə intervalı <3% uzun müddətli qeyri-stabilik üçün (nəzərə alınan vaxt müddəti >1 saat).

Lazerin hissələrinin (struktur elementləri- rezonatorun gövdəsi, optik hissələr- rezonator güzgüləri) istismar zamanı qızması və bunun nəticəsində deformasiyası ilə şüalanma istiqamətinin stabilliyi pozula bilər ki, bunun da nəticəsində statik vəziyyətdə düzgün yustirlənmiş qurğuda, şüa hədəfə düzgün yönəldilə bilməz. Belə olan halda şüanın çıxışda gücü azalır. Bu gün üçün lazerin şüa istiqamətinin qeyri – stabilliyi təxminən 0.1mrad (1m şüa yolunda 1mm xəta) sərhəddində qəbul olunur.

11. Termomexaniki püskürtmə texnologiyası

11.1. Üsulun prinsipi, təsnifi və tətbiq sahələri

Termomexniki püskürtmə üsulunda püsgürdüləcək material püsgürdən başlıqda və ya ondan kənarda plastik və ya ərimə temperaturuna qədər qızdırılaraq, qabaqcadan hazırlanmış səthə tərəf püskürdücü başlıq vasitəsi ilə sürətləndirilir və bu zaman üzərinə örtük püskürdülən materialın səthi ərimir.

Səthə püskürdülən materialın vəziyyətindən asılı olaraq, üsulun aşağıdakı növləri vardır:

- məftillə püskürtmə;
- çubuqşəkilli məftillə püskürtmə;
- şnurla püskürtmə;
- ovuntu ilə püskürtmə;
- ərimə vannası ilə püskürtmə.

Püskürtmə əməliyyatı əl ilə, mexanikləşdirilmiş və avtomatlaşdırılmış üsullarla yerinə yetirilə bilər.

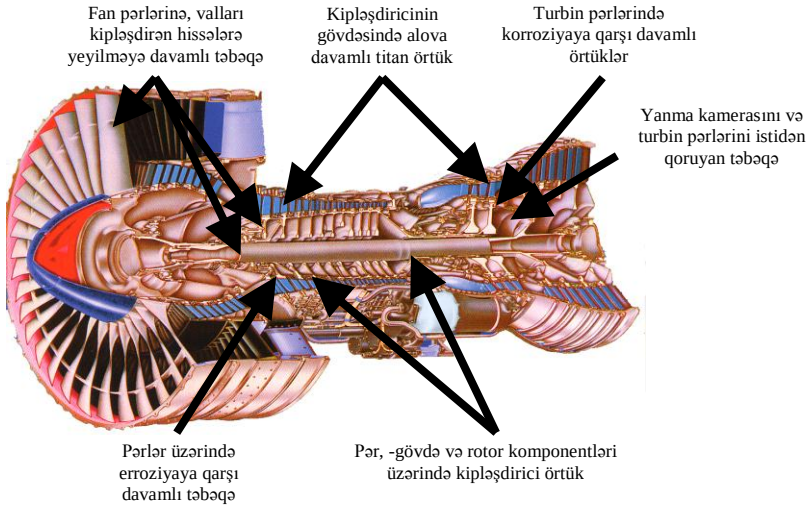
Enerji daşıyıcısının növündən asılı olaraq termomexniki püskürtmə əməliyyatının aşağıdakı növləri fərqləndirilir:

- ərimiş mayenin tozlandırılması ilə püskürtmə;
- qaz və ya maye formalı yanacağın yandırılması ilə püskürtmə;

– yanmayan sıxılmış qazın genişlənməsi ilə püskürtmə;
– elektrik qövsü və ya qaz boşalması hesabına püskürtmə;
– konsentrasiya olunmuş işıq şüası hesabına püskürtmə.

Termomexniki püskürtmə üsulunun ayrı-ayrı sahələrdə tətbiqinin həcmlə ifadəsi şək. 11.1.- də təqdim olunmuşdur.

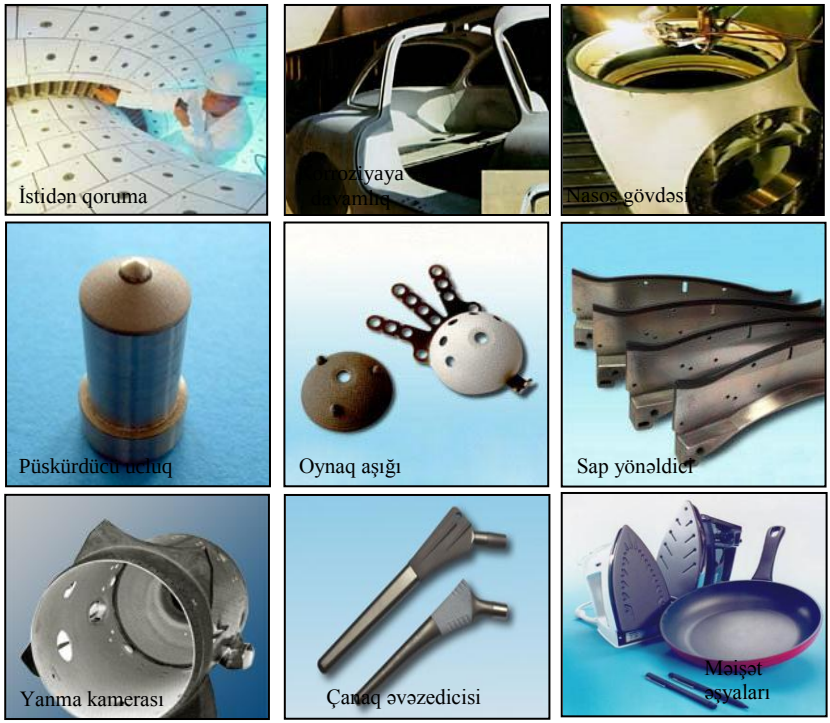
Şəkil 11.1. Termomexniki püskürtmə üsulunun ayrı-ayrı sahələr üzrə tətbiqi.



Şəkil 11.2. Vintli uçakların mühərrikində termomexniki püskürtmə üsulunun tətbiqi.

Vintli uçakların mühərrikində bir sıra tribotexniki detallar termomexniki üsulla emal olunur (şək. 11.2.).

Termomexniki püskürtmə üsulunun tətbiqinə aid digər nümunələr şək. 11.3.- də təqdim olunmuşdur:



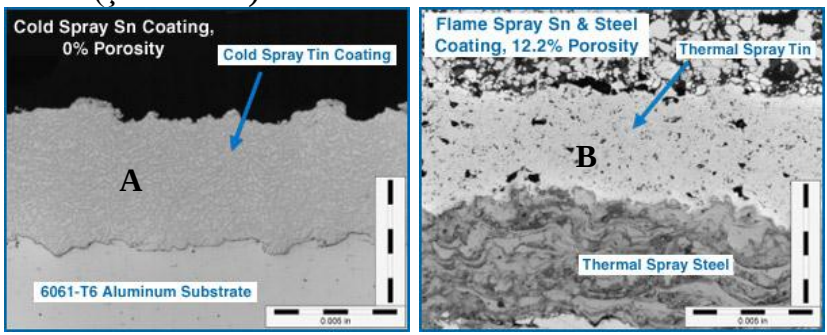
Şəkil 11.3. Termomexaniki püskürtmə üsulunun tətbiq sahələrinə aid nümunələr.

11.2. Səthin keyfiyyətinə təsir edən amillər və örtük materialları

Termomexaniki üsulda püskürdülən bəbəqə aşağıdakı amillərdən asılı olaraq formalaşır:

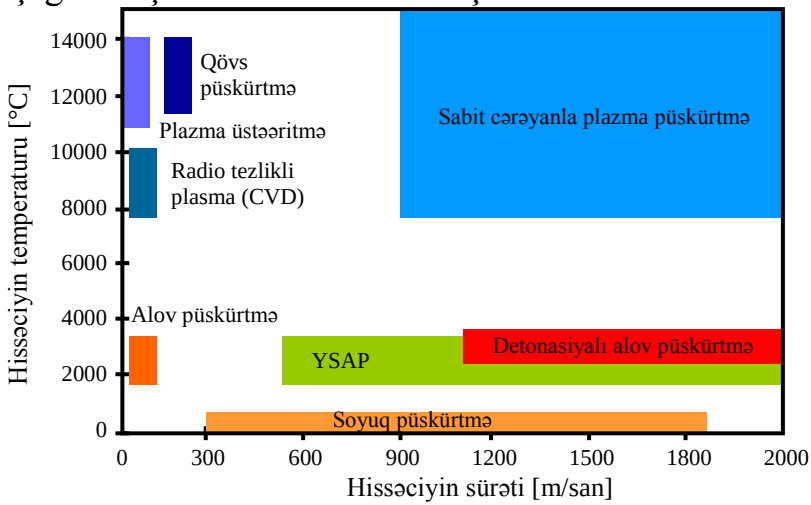
– örtükçəkmə əməliyyatının xüsusiyyətlərindən (temperatur və sürət);
– püskürdülən materialın xüsusiyyətlərindən (ovuntu, məftil);
– örtük çəkilən detalın xüsusiyyətlərindən.

Termomexniki püskürtmə üsulları yaratdıqları temperatur və hissəciklərin sürətindən asılı olaraq, bir-birlərindən kəskin fərqlənirlər. Kinetik üstün olan püskürtmə üsulunda püskürdülən hissəciyin sürəti böyük, temperaturu aşağı olub, plastik materialdan püskürdülən örtük az məsaməli olur. Termiki üstün olan püskürtmə üsulunda püskürdülən hissəciyin sürəti nisbətən aşağı, temperaturu yüksək olub, plastik və kövrək materialdan püskürdülən örtük məsaməli alınır (şək. 11.4.).



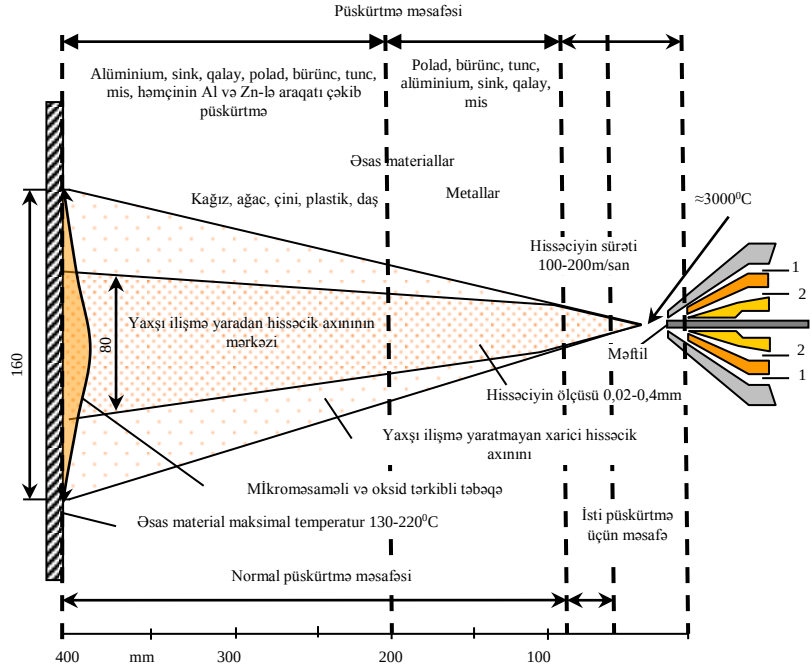
Şəkil 11.4. Kinetik (A) və termik (B) üstün olan üsullarla çəkilmiş örtüklərin strukturu.

Hissəciklərin temperatur və sürət xarakteristikası aşağıdakı şəkildə təsvir olunmuşdur.



Şəkil 11.5. Emal növündən asılı olaraq, səthə püskürdülən hissəciyin temperatur və sürət aslılığı (YASP-yüksək sürətli alov püskürtmə).

Səthin keyfiyyətinə təsir edən əsas amillərdən biri də püskürdücü başlıqdan detalın səthinə qədər olan məsafədir. Məftillə qaz-alov püskürtmədə, səthə püskürdülən örtüklə müxtəlif materila malik hissələr arasında yaxşı ilişmənin təminatı üçün yandırıcı başlıqdan hissənin səthinə qədər olan məsafə şək.11.6.- da təqdim olunmuşdur.



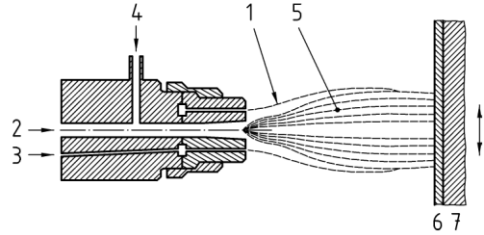
Şəkil 11.6. Püskürdücü başlıqdan detala qədər məsafə. 1-sıxılmış hava və ya qoruyucu qaz; 2-qaz-oksigen-qarışığı.

Örtük ovuntusunun dənəciyinin ölçüsünün azaldılması aşağıdakı amillətə təsir edir:

– plazma və ya alovun daxilində hissəciyin sürətlə təcilləndirilməsi hesabına dənəciyin detala zərbə sürətinin artırılması və enerji daxilində qısa gecikmə vaxtı;
– hiccəciyin xüsusi səthinin artması onun tez qızmasına və daxilində temperaturun bərabər paylanaraq, örtükdə olan əriməmiş hissəciklərin azalmasına şərait yaradır;

– damcının həcminin kiçik olması ilə səthdə az məsamə alınır və dənəcik sürətlə soyuyur.

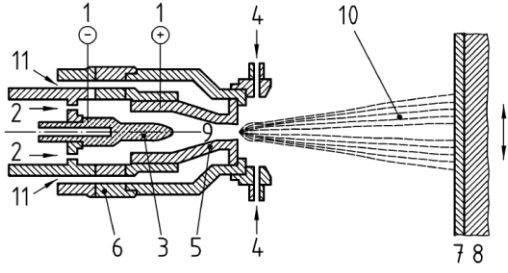
Səthə püskürdüləcək ovuntu nəqledici qazın köməyi ilə püskürdülən axına iki üsulla verilə bilər (şək. 11.7. və şək. 11.8.).



1. Alov
2. Yanar qaz
3. Oksigen
4. Toz və daşıyıcı qaz
5. Püskürdülən axın
6. Örtük
7. Detal

Şəkil 11.7. Yandırıcı başlığın sxematik təsviri (ovuntu yandırıcı başlığın daxilinə verilir).

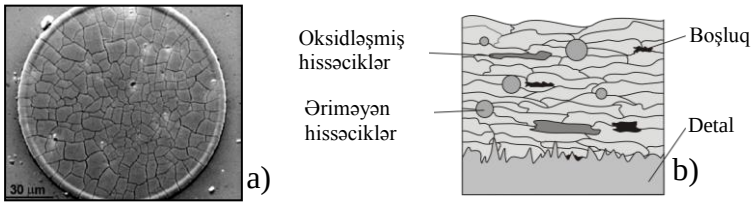
Əgər ovuntu aşağıdakı şəkildə verilmiş üsulla verilərsə, onun verilmə sürəti və plazmada təcillənməsi nisbəti qabaqcadan dəqiq müəyyənləşdirilərək idarə oluna bilər.



1. Gərginlik
2. Plazma qaz
3. Katod (Elektrod)
4. Toz və daşıyıcı qaz
5. Anod
6. İzolasiya
7. Örtük
8. Əsas material
9. Plazma
10. Püskürtmə axını
11. Soyuducu su

Şəkil 11.8. Yandırıcı başlığın sxematik təsviri (ovuntu yandırıcı başlığın ucluğuna verilir).

Termiki püskürtmə təbəqəsi bir-birinin ardınca səthə düşən hissəciklərin toplanması/yığılması nəticəsində yaranır və səthdə qüsurlara malik (oksidləşmə, əriməyən hissəcik, boşluqlar) yarpaqşəkilli struktur alınır (şək. 11.9.).



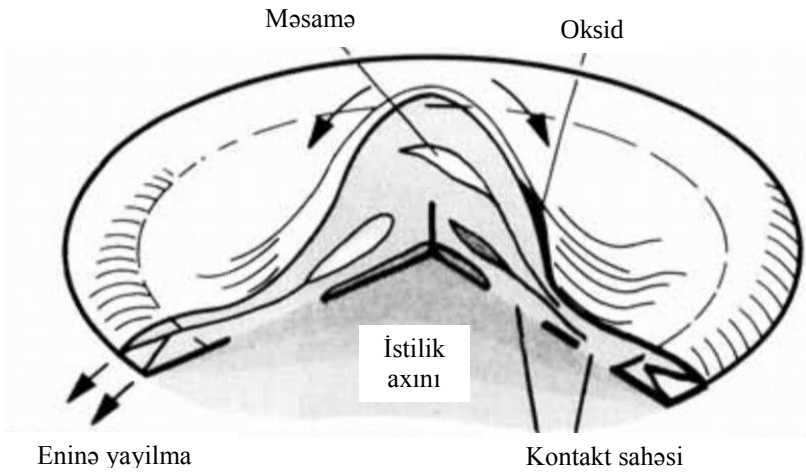
Şəkil 11.9. Termomexaniki üsulla püskürdülmüş damcı və təbəqənin strukturu.

Örtükdə boşluğun əmələ gəlməsi dənəciyin və detalın xüsusiyyətlərindən kəskin asılı olub, buna dənəciyin temperaturu, sıxlığı, səthi gərilməsi, özlülüyü, sürəti, kimyəvi xüsusiyyətləri və detalın tempeaturu, səthinin kimyəvi xüsusiyyətləri, strukturu əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

Püskürdülən dənəciklər detalın səthi ilə toqquşaraq, 1-5mks müddətində yayılır və 2-10mks müddətində bərkiyir (şək. 11.10.). Bu zaman dənəciklə detal arasında yalnız kontakt sahəsi vasitəsi ilə birbaşa qarşılıqlı təsir baş verir və örtüyün bu sahədə detalla ilişməsi üç müxtəlif təsir mexanizminə əsaslanır:

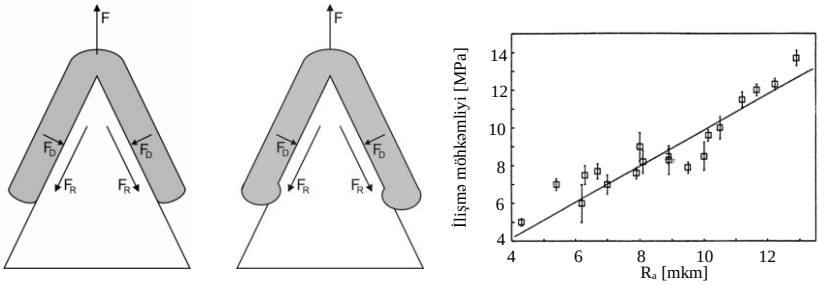
- mexaniki birləşmə;
- fiziki adheziya;

– dənəciklə metal arasında kimyəvi və metallurji qarşılıqlı təsir.



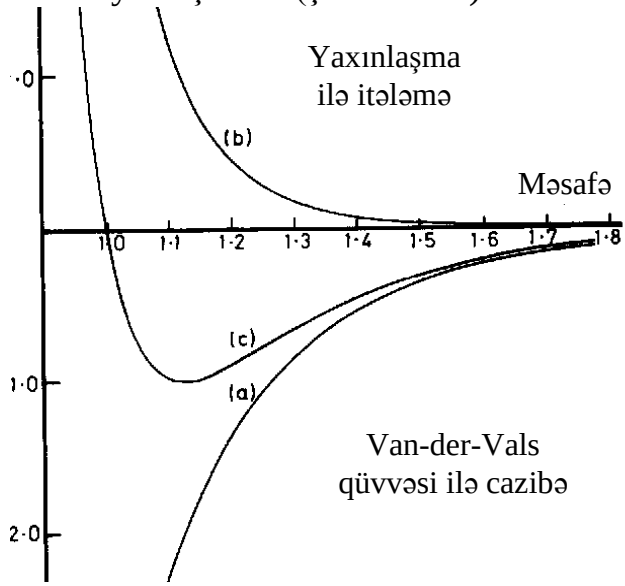
Şəkil 11.10. Detalın səthinə düşmüş damcı.

Səthlə ilişmə möhkəmliyi, tətbiq olunan püskürtmə üsulundan və həmçinin, dənəciklə detalın materiallarının kombinasiyasından kəskin asılıdır. İsti dənəcik qeyri-hamar səthlə toqquşduqda çıxıntıları əhatə edir və dənəcik soyuduqca qırışlanaraq, səthdə sıxma təzyiqi yaradır (şək. 11.11.). Bu effekt mayenin kəsik izləri ilə axması nəticəsində güclənir.



Şəkil 11.11. Mexaniki birləşmənin fiziki təsviri və səthin kəl-kötürlüyündən asılı olaraq, ilişmə möhkəmliyinin dəyişməsi.

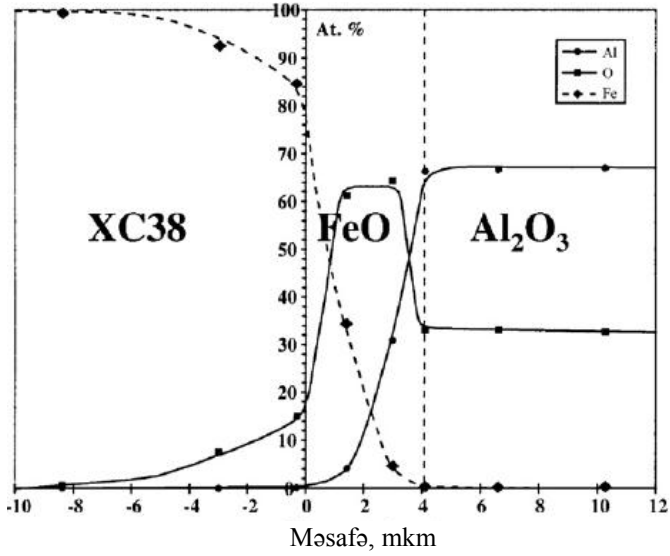
Örtük və əsas materialın atomlarının onların qəfəs ölçülərinə uyğun məsafədə bir-birlərinə yaxınlaşması ilə molekullar arası cazibə yaranır və yüksək termik enerjinin hesabına (qəfəslərin rəqsi) fiziki adheziya baş verir (şək. 11.12.).



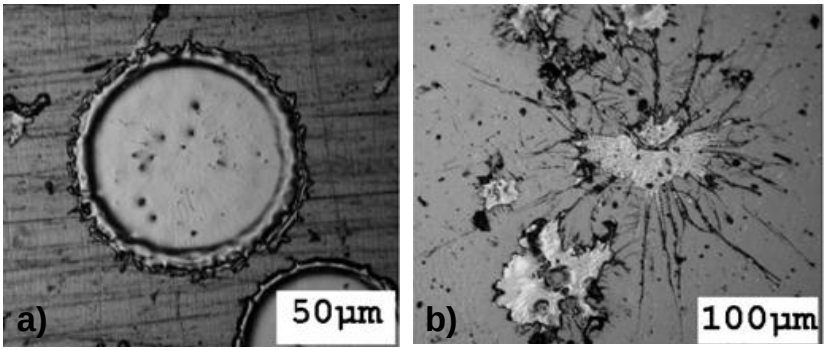
Şəkil 11.12. Fiziki adheziyanın baş vermə prinsipi.

Kimyəvi və metallurji adheziya növbəti təsirlərdən nəticələnə bilər:

- yüksək ərimə temperaturuna malik örtük və aşağı ərimə temperaturuna malik detal halında detalın səthi qısa müddətli əriyə bilər;
- dənəciyin səthlə toqquşması nəticəsində örtük materialı detalın səthinə və əksinə diffuziya prosesi baş verir;
- bu effekt ilişməyə vasitəçilik edən təbəqə hesabına yaxşılaşdırıla bilər (şək. 11.13.).



Şəkil 11.13. XC38 poladının səthinə alüminium oksidin püskürdülməsi zamanı ilişmə möhkəmliyinin yüksəldilməsi üçün əsasla örtük arasına FeO püsküdülür.



Şəkil 11.14. Emal parametrlərindən asılı olaraq, səthdə damcının vəziyyəti.

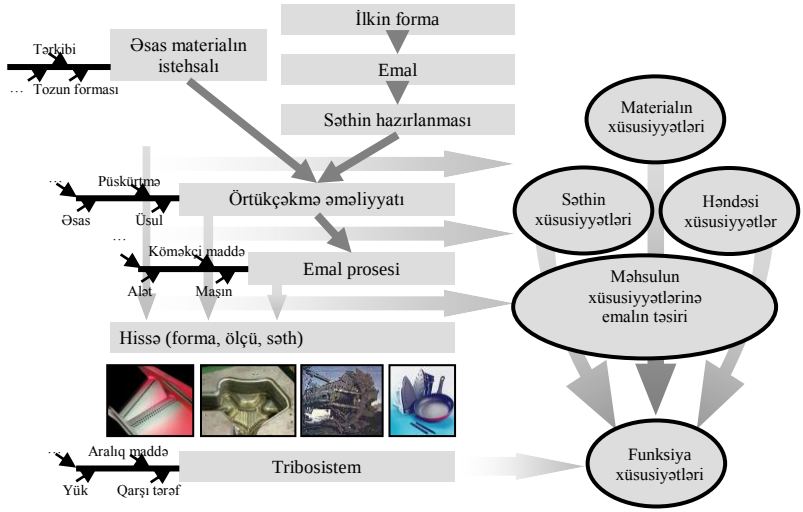
Əgər dənəcik aşağı kinetik enerjiyə, detal isə yüksək temperatura malikdirsə onda səthə düşən dənəcik onu yaxçı nəmləndirəcəkdir (şək. 11.14.,*a*).

Əgər dənəcik dənəcik yüksək kinetik enerjiyə, detal isə aşağı temperatura malikdirsə səthə düşən dənəcik onu yaxçı nəmləndirməyəcəkdir (şək. 11.15.,*b*).

11.3. Səthin örtükçəkməyə hazırlanması

Səthin örtükçəkmə üçün hazırlanması termomexaniki püskürtmə texnologiyasının əsas mərhələlərindən biridir (şək. 11.15.). Belə ki, püskürdülən təbəqənin əsasla yaxşı ilişməsini təmin etmək üçün səth örtükçəkmə üçün hazırlanmalı və bu

əməliyyatdan sonra, o mümkün qədər tez püskürdülərək örtülməlidir.



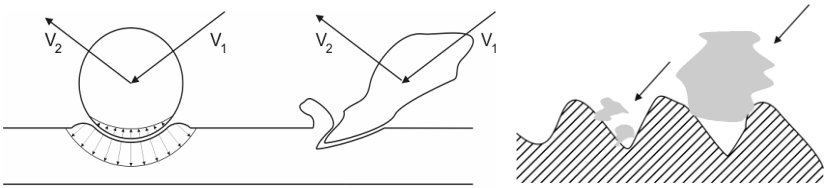
Şəkil 11.15. Termomexaniki püskürtmənin əməliyyat zənciri.

Səthin örtük püskürtmə üçün hazırlanmasında əsas məqsəd səthin çirklərdən təmizlənməsi (oksidlər, yağlar, nəmlik və s.), səthin müəyyən topoqrafiyasına nail olmaq və yüksək reaktiv səth (azad atom birləşmələri, plastik deformasiya vasitəsi ilə atom boşluqlarının artırılması) almaqdan ibarətdir.

Yağsızlaşdırma zamanı üzvi həlledici ilə yağlar parçalanaraq, təmizləyici qələvi vasitəsi ilə yuyulur.

Qırma axını üsulu ilə səthi təmizlədikdə, axın vasitəsi (SiO_2, Al_2O_3, SiC, metal dənəciklər, buz hissəcikləri, taxta parçaları və s.) hava axını və ya

sürətləndirici çarxlar vasitəsi ilə detalın səthinə çırpılır.



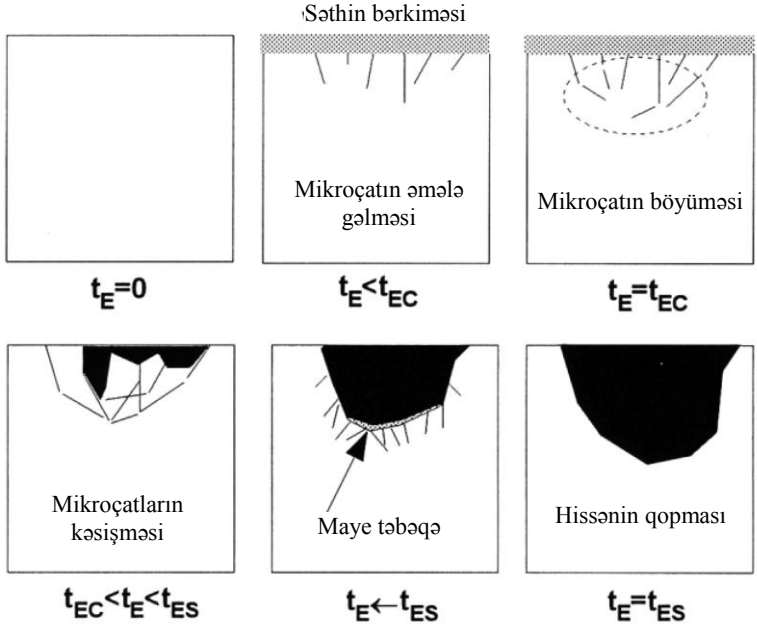
Şəkil 11.16. Qırma axın üsulu ilə səthin emalında hissəciyin səthə zərbə sxemi.

Səthə sürətləndirilən dənəciklərin növü, forması, ölçüsünün paylanması, sürəti, axın bucağı, məsafəsi və emal müddəti təmizləmə prosesinin keyfiyyətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir (şək. 11.16.).

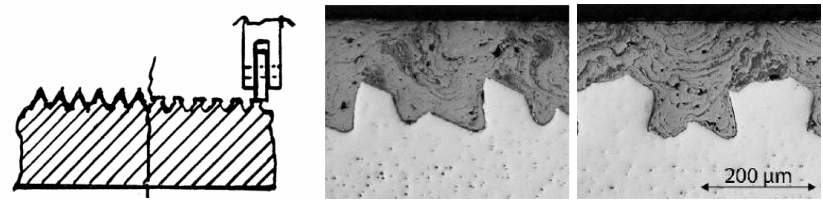
Yüksək təzyiqli su şırnağı ilə emalda, detalın səthi yüksək təzyiqli su ilə (70MPa) təmizlənir. Bu zaman səth heç bir dənəciklər vasitəsi ilə çirklənmir. Su şırnağı ilk növbədə səthin bərkiməsinə təsir edir. Növbəti gedişdə mikroçatlar əmələ gəlir və bu çatlar dənəciklərin səthdən qopmasına qədər böyüyə bilər (şək. 11.17.).

Detalın səthi ilə örtük arasında ilişmə möhkəmliyinin yüksəldilməsi üçün tətbiq olunan səthi hazırlıq üsullarından biri də səthi mexaniki üsulla emal edərək, kələ-kötürlüklərə yaxşı mexaniki ilişmə nöqteyi-nəzərdən səmərəli formanın verilməsidir (şək. 11.18.). Bu zaman səthə kürə formasının verilməsi, kələ-kötürlüyün dərinliyinin örtük hündürlüyünə əsasən seçilməsi, yorulma möhkəmliyinin azalmaması

nəzərə alınmalı və soyuducu-yağlayıcı maddələrdən istifadə olunmamalıdır.



Şəkil 11.17. Yüksək təzyiqli su şırnağı ilə səthin təmizlənməsində emal müddətinin artması ilə səthdən dənəciklərin qoparılması mexanizmi.



Şəkil 11.18. Səthin mexaniki üsulla emalı və emal olunmuş səth kələ-kötürlüklərinin örtüklə mexaniki ilişməsi.

11.4. Püskürdülmüş sətin növbəti emalı

Püskürdülmüş səthin sonrakı emalı bir çox hallarda vacibdir və burada termiki, mexaniki və kimyəvi emal üsulları tətbiq oluna bilər. Səthin sonrakı emalında əsas məqsəd təbəqədə sıxıcı qalıq gərginliklərin yüksəldilməsi və məsamələrin azaldılmasıdır.

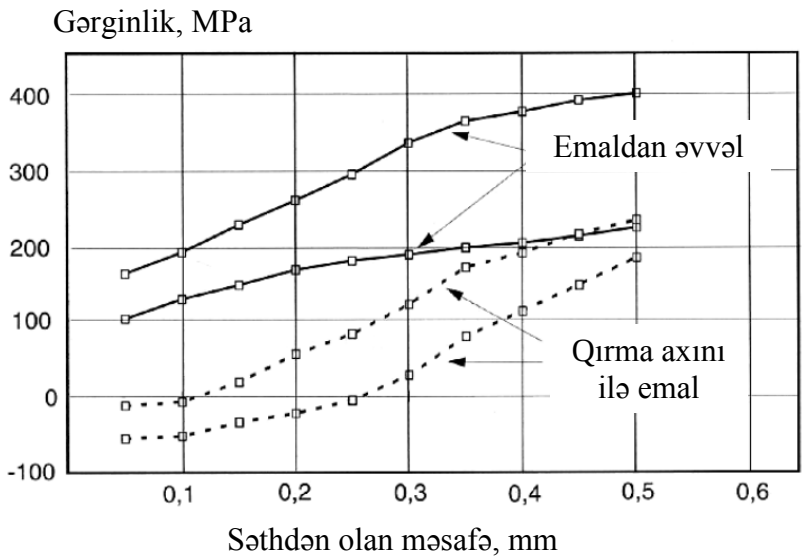
Səthinə örtük püskürdülmüş detalları közərdərək emal etdikdə növbəti təsirlər yaranır:

- örtüyün əsasla diffuziya vasitəsi ilə ilişməsinin yaxşılaşdırılması;
- püskürmə dənəciklərinin bir-birləri ilə yaxşı birləşməsi;
- qalıq gərginliklərin azalması.

Səthinə örtük püskürdülmüş detalları közərtməklə yanaşı, təbəqənin səthini alov, elektrik qövsü və ya lazer vasitəsi ilə əritməklə məsamənin azaldılmasına nail oluna bilər. Səthin oksidləşməsinin qarşısını almaq üçün aeyd olunan termiki emal əməliyyatı ya qoruyucu qaz mühitində ya da vakuumda aparılır

Diyirlətmə, qırma axını, döyəcləmə və pardaqlama kimi əməliyyatın tətbiqi ilə səthdə mexaniki güc hesabına sıxıcı qalıq gərginliklərin artırılmasına və onun bərkidilməsinə nail olunur (şək. 11.19.).

Örtük təbəqəsində mövcud olan açıq məsamə korroziyanı sürətləndirir. Buna görə də bir çox hallarda püskürdülən təbəqələrdə kimyəvi doldurmanın aparılması vacibdir.



Şəkil 11.19. Qırma axını üsulu ilə emal olunmuş səthdə gərginliklərin müqayisəsi.

Termomexniki üsulla püskürdülən örtük təbəqəsinin mexaniki emalı zamanı aşağıdakı xüsusiyyətlər nəzərə alınmalıdır:

– püskürdülən örtük yarpaqşəkilli təbəqə strukturlu olduğundan, örtük hissəcikləri bütövlüklə təbəqədən qoparıla bilər;
– təbəqə mikroçatlarla əhatə oluna bilər;
– adətən püskürtmə təbəqəsi bərk və yumşaq fazalardan ibarət olur;
– səthin emalı zamanı yaranan temperatur, onun istilikkeçirmə əmsalının az olması səbəbindən ətrafa yavaş sürətlə ötürülür.

12. Boyama texnologiyası və boyanın xüsusiyyətləri

12.1. Boyaların tətbiqinin aktuallığı

Hissələrin üzərinə çəkilən boyalar onların istismar şəraitindən və digər xüsusiyyətlərdən asılı olaraq, müəyyən bir uzunömürlülüyə malik olurlar. Boyalar keyfiyyətini itirərək materialı qoruya bilməzsə, bu zaman hissələrin təmizlənərək yenidən boyanılması tələb olunur. Yeni hissələrin boyanılması və istismara yararsız boyaların yenisi ilə əvəz olunması, Almaniyada bir ildə milyon tonlarla boyalara tələbat yaradır. Yalnız 2007- ci ildə Almaniyada ayrı-ayrı sahələrdə istifadə olunan boyaların ümumi miqdarı 1.620.000 ton olmuşdur (cəd. 12.1.).

Cədvəl 12.1. 2007- ci ildə Alamaniyada boyalara olan tələbat.

Almaniya daxilində işlənən boyanın illik miqdarı- 2007				
1.000 tonlarla miqdarı				
Daxili	522			
Fasad	151			
Plastik-qətranlı suva	115	Arxitektura		1.050
Boya və şəffaf qlazur	106			
İlkin / Qrunt	58			

Doldurma və başqa arxitektura sahəsi	98			
Ümumi sənaye	253			
Avtomobil istehsalı	95			
Taxta	70	Sənaye		511
Korroziyaya qarşı	46			
Avtomobil təmiri	26			
Gəmi	21			
Xüsusi	59			
Ümumi	1.620			

Boyalırın uzunömürlülüyünün artırılması onların fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərindən və həmçinin, boyama texnologiyasının düzgün seçilməsindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

12.2. Boyanın tərkibi və bəzi xüsusiyyətləri

Boyanın tərkibi təbəqə əmələ gətirən, uçucu və qeyri-uçucu, doldurucu, piqment, üzvi həlledici, köməkçi və s. maddələrdən ibarətdir. Boyama əməliyyatında toz, şəffaf, nəm, su, elektroçökdürmə boyalarından və təbəqə əmələ gətirən birləşdirici vasitələrdən istifadə olunur.

Təbəqə əmələ gətirən maddələr yüksək malekulyar çəkisi olan birləşdirici vasitələrdən ibarət olub, fiziki quruma, ərimə və ya kimyəvi şəbəkənin nəticəsində hissənin səthində bağlı təbəqə əmələ gətirərək, boyanın hissənin səthinə yapışmasına və

örtük sisteminin bir-birləri ilə birləşməsinə təsir edir. Təbəqə əmələgətirən maddənin istehsalında bitki qətranı və ya yağı, minerallar, kimyəvi modifikasiyaedici təbii və sintetik maddələr xammal kimi istifadə olunur.

Boyanın tərkibində olan piqmentlər çox narın mikrohissəciklər olub, təbəqə əmələgətirən materiyada yayılaraq, ona rəng verirlər (şək. 12.1.).

- TiO_2 (ağ);
- Fe_2O_3 (sarı, qəhvəyi, qırmızı);
- Cr_2O_3 (yaşıl);
- Mo (portağal rəngi);
- Qurum (qara)

Şəkil 12.1. Boyaya piqmentlərin qoşulması.

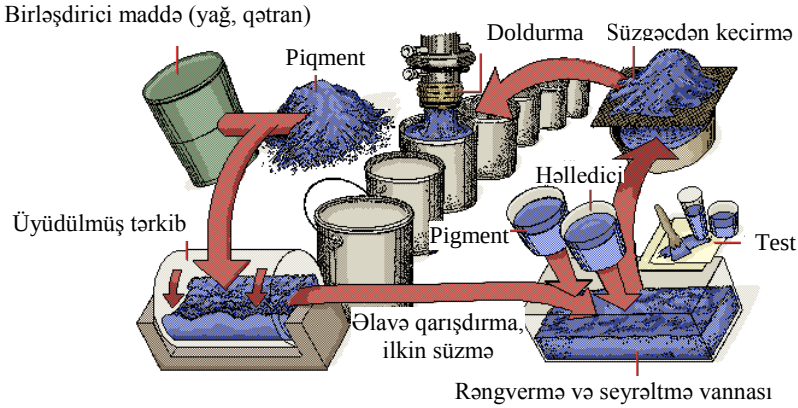
Doldurucu maddə boya təbəqəsinin həcmini dolduraraq ona dayaniqliq verir və quruma zamanı boya təbəqəsində əmələ gələn çatların qarşısını alır. Doldurucu maddə kimi slyuda, kaolin, təbaşır, kvars tozu, barium sulfat, poliamid-, poliakrilonitril- və ya sellüloz lifləri istifadə olunur.

Uçucu və qeyri-uçucu köməkçi vasitələr boyanın və emalın xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırırlar. Bunlara səthi-aktiv tenzid təsirli, qatılaşdırıcı və tiksotropik, axıcılıq verən tərkibli, yumşaldıcı, quruducu,

köhnəlməyə qarşı davamlılığı yaxşılaşdırmaq üçün stabilləşdirici, ultrabənövşəyi şüaları udan, köpüksöndürən, yanğının qarşısını alan, dərini mühafizə edən, göbələk və bakterialları məhv edən maddələr daxildir.

Həlledici maddə kimi su (su boyasında, dispersion və ya elektroçökdürmə boyalarında) və ya üzvi həlledici tətbiq olunur. Üzvü həlledicilərə efiri, ketonları, spirtləri, qlikol efirləri, parafinli və ya aromatlı karbohidrogenləri misal göstərmək olar.

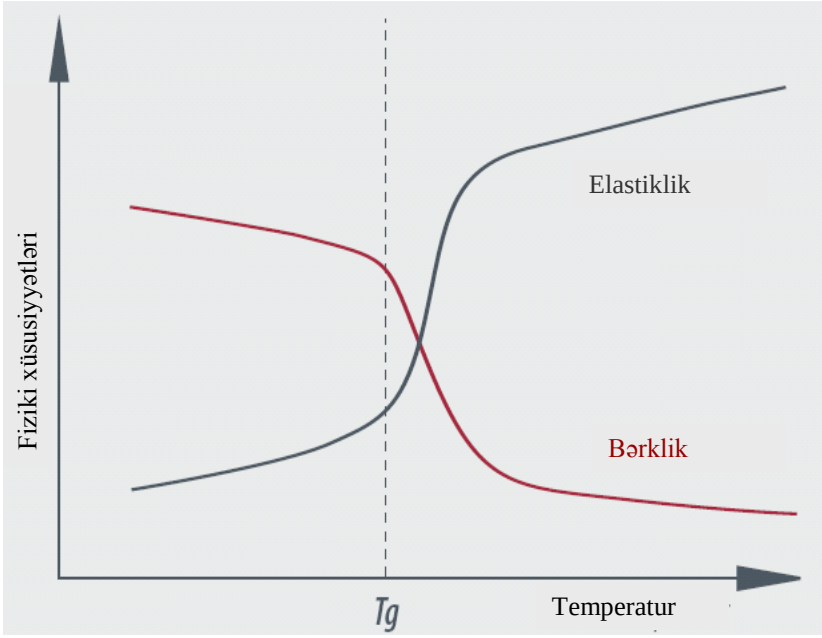
Analiz olunmuş tərkibi nəzərə alaraq, boya istehsalı texnologiyası aşağıdakı şəkildə təqdim olunmuşdur.



Şəkil 12.2. Boya istehsalı texnologiyası.

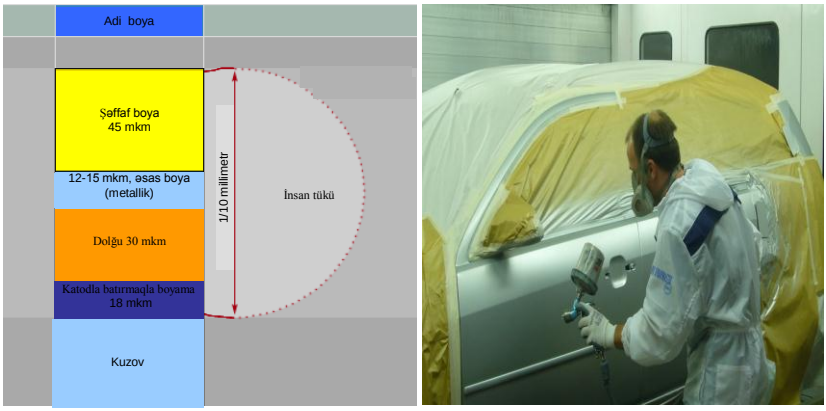
Boyanın əsas fiziki parametrlərinə onun bərkliyi və elastikliyinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi daxildir (şək. 12.3.). Temperaturun artması ilə boyanın bərkliyi azalaraq, onun elastikliyi yüksəldiyindən bir çox tətbiqlərdə boyanın çatlamasına və əsasdan

qopmasına səbəb olur. Məsələn, silahlar üzərinə çəkilən boyalar düzgün seçilmədikldə, onların istismarı zamanı yüksək temperaturda qızması nəticəsində boyanın səthdən qopmasına və silahın sonrakı saxlanma dövründə korroziyaya uğramasına səbəb ola bilər.



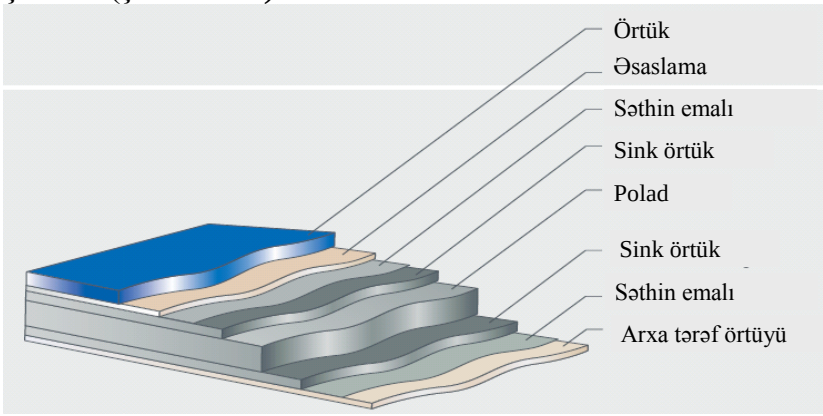
Şəkil 12.3. Bərklik və elastikliyin temperaturdan asılılığı.

Şək. 12.4.- də insan tükü ilə müqayisədə avtomobilin kuzovuna çəkilən boyanın qalınlığı qiymətləndirilmiş və boyama əməliyyatının müxtəlif boyaların tətbiqi ilə ardıcıllığı təsvir olunmuşdur.



Şəkil 12.4. Avtomobil kuzovunun boyanmasında boyanın tərkibi və qalınlığı.

Poladdan hazırlanmış lövhələrin korroziyaya qarşı davamlılığının yüksəldilməsi məqsədi onların üzərinə çox təbəqədən ibarət olan müxtəlif tərkibli boyalar çəkilir (şək. 12.5.).



Şəkil 12.5. Polad lövhənin qorunması üçün onun səthinə çəkilən örtük təbəqələri.

Polad gəmiləri korroziyadan qorumaq üçün onların konstruksiyasını nəzərə alaraq, axmayan boyalardan istifadə olunur və gəminin gövdəsində yosun, dəniz şeytanları və başqa dəniz mikroorqanizmlərinə qarşı çirklənmə əleyhinə - sistem (eng. antifouling-system) tətbiq olunur.

12.3. Boyama əməliyyatına hazırlıq

Səthi boyamazdan əvvəl onun boyanmaya hazırlanması mütləqdir. Səthin hazırlanması əsasən hissənin istismar şəraitindən, boyanacaq hissənin və boyanın materiallarından asılıdır.

Səth təbəqəsinin hazırlanması boya ilə əsas arasındakı kifayət qədər uzun müddətli ilişmə möhkəmliyinin təmin olunmasına xidmət edir. Səth təbəqəsinin təmizlənməsi əməliyyatında onun tozlardan, pasdan, yağdan, köhnə boya təbəqəsindən və digər yad hissəciklərdən yonma, firçalama, yandırmaqla, axınla, kimyəvi üsulla və s. təmizlənərək, müstəvi və hamar səthin alınması nəzərdə tutulur. Səthin qırma axın üsulu ilə təmizlənməsi zamanı səthə lazımi təmizlik verməklə yanaşı, materialın plastik deformasiyası ilə onun yorulmaya qarşı müqavimətini də yüksəldirlər. Səthin

təmizlənməsindən sonra boya çəkməzdən əvvəl onun yuyulması və qurudulması nəzərdə tutulur.

Əsas materialla boya arasındakı ilişmə möhkəmliyi həm adheziya və həm də kələ-kötürlü və məsaməli səthlərdə mexanik birləşmələr hesabına təmin olunur.

Bir çox boyama əməliyyatında çoxtəbəqəli örtüklər çəkilir ki, bunların da müxtəlif funksiyaları vardir. Təbəqələrin bir-birinin üzərinə çəkilmə ardıcıllıqları uyğun olmalı və əsasən bir istehsalçının məhsulları istifadə olunmalıdır. İlkin təbəqə funksiyası materialla yaxşı yapışmanı təmin etməklə, təbəqənin rəngli hamar alınmasına və materialın qorunmasına xidmət edir.

15.5. Boyanı qurutma mərhələləri və üsulları

Boyanın quruma mərhələləri özlülüyün artması, toza qarşı quruma, toxunma üçün möhkəm, tam quruma proseslərindən ibarətdir. Boya çəkildikdən bir müddət sonra o nisbətən quruyaraq, özlülüyü artır və boyamanı davam etdirməyə imkan vermir. Toza qarşı quruma mərhələsində boya üzərinə düşən tozlar ona yapışıb qala bilmir. Boyanın növbəti quruması ilə onun möhkəmliyi artır və ona toxunmaq mümkündür. Sonuncu tam quruma mərhələsini keçmiş boya artıq istismar üçün yararlı hesab olunur.

Tətbiq olunan həlledici vasitədən asılı olaraq, boyanın qurudulması prosesi növbəti üsullarla yerinə yetirilir:

– Həlledici vasitənin buxarlanması;
– Kimyəvi reaksiya (iki komponentli boyanın polimerləşməsi, epoksid qətran boyası və s.);
– İstilik (temperaturun artması ilə polimerləşmə);
– UB və ya İQ şüalanma hesabına (kimyəvi reaksiya şüalanma ilə başlayir və ya sürətləndirilir).

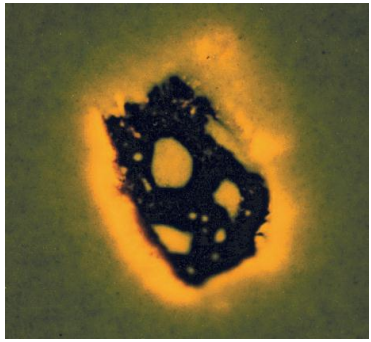
12.6. Boyama zamanı prosesə nəzarət və keyfiyyətin təminatı

Boyama zamanı prosesə nəzarət və keyfiyyətin təmin olunmasında aşağıdakı amillər nəzərə alınmalıdır:

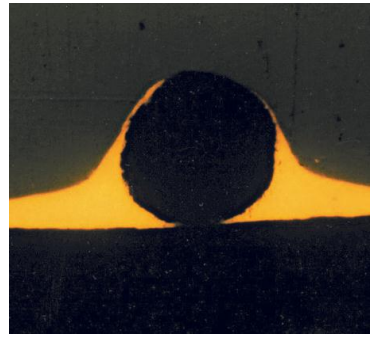
- püskürtmə aparatının keyfiyətinə nəzarət;
- idarəetməyə, boyama üsullarına və əməliyyat vannalarına nəzarət;
- online-ölçmə texnikası;
- emissiyanın ölçülməsi;
- boya və toz püskürtmə axını üçün optik ölçmə üsulları;
- toz boyanın tətbiqi xüsusiyyətlərinin təyini;
- boyanın dözümlülüyünün yoxlanması;

- yağ təbəqəsini yoxlama texnikasının inkişafı;
- hissələrin və örtüklərin yoxlanması;
- boya təbəqəsində səhvlər və qüsurların analizi.

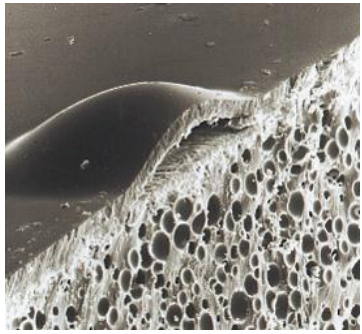
Boyanan təbəqədə əmələ gələ biləcək qüsurlara nümunə aşağıdakı şəkildə təqdim olunmuşdur.



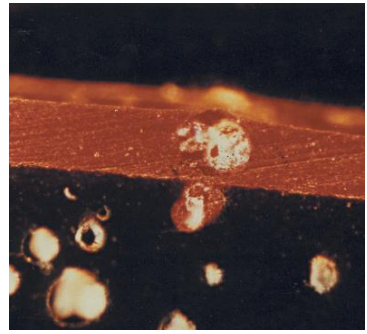
Krater



Qaynaqdan qalan dənəcik



Polietan köpük parçası üzərində boya qabarcığı



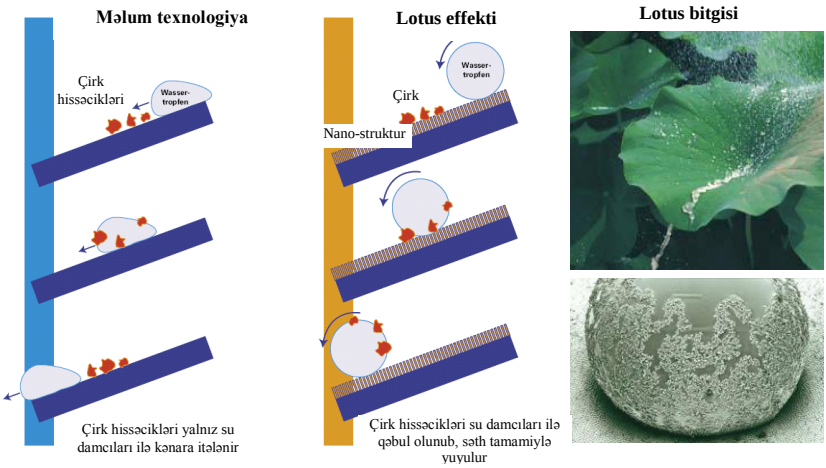
Polietan köpük parçası üzərində qabarcıqlar

Şəkil 12.6. Boyama zamanı yarana biləcək qüsurlara aid nümunələr.

12.7. Boyamada nano-texnologiyanın tətbiqi

Nano-texnologiyanın tətbiqi ilə hazırlanan boyaların tərkibində titan, alüminium, sink, gümüş, dəmir, həmçinin keçirici oksidlər və karbon borucuqları birləşmələrinin nano-hissəcikləri olur ki, bu da boya təbəqəsinn funksiyalarını genişləndirir. Nano-boyalar yüksək cızılma möhkəmliyinə, çirki saxlamayan və ya qəbul etməyən xüsusiyyətlərə, bakteriya əleyhinə təsir, keçiriciliyin yüksəldilməsi və s. kimi xüsusiyyətlərə malik olurlar.

Nano-texnologiyada tətbiq olunan Lotus effektinə əsasən hazırlanmış boyalar səthin çirklənməsinin qarşısını alır və ya onun təmizlənməsi üçün əlverişli şərait yaradır. Adi boyalarda səth üzərinə düşən su damcısı yalnız çirki kənara itələyir. Nano-boyalarda isə tərkibin nano-struktura malik olması ilə onun səthinə düşən su damcısı çirkləri özünə birləşdirərək səthdən uzaqlaşdırır (şək. 12.7.). Bu lotus bitkisinin yarpağına düşən su damcısının, yarpaqda olan nano-çıxıntılar hesabına səth tozlarını təmizləməsi prinsipinə əsaslanaraq, lotus effekti adlandırılmışdır.



Şəkil 12.7. Lotus bitkisinin yarpağının, adi və lotus effektli boyanın su damcısı ilə qarşılıqlı təsiri.

Boyanın tərkibində olan titan deoksid hissəcikləri ultra bənövşəyi şüaları qəbul edərək su və hava oksigeninin iştirakı ilə azad radikallar əmələ gətirir. Bu prinsipə əsasən boya səthinə yapışan yağ çirkləri və ya başqa çirkləndiricilər (məsələn evin divarlarında nikotin) katalik olaraq dağıdılır. Yapışan qalıq çirk hissəcikləri isə yağışla yuyulur (bayır divarlarında).

Divar boyasında gümüş nano-hissəciklər bakteriya əleyhinə xüsusiyyətlərə malikdirlər. Bu nöqteyi-nəzərdən xəstəxanalarda, yeyinti məhsulları hazırlayan müəssələrdə, uşaq şəhərciklərində tavan və divarların tərkibində gümüş nano-hissəciklər olan boyalarla rənglənməsi bakteriyaların inkişafının qarşısını ala bilər.

Yanğından mühafizə məqsədi ilə tətbiq olunan nano-boyaların tərkibində köpük və karbon əmələ gətirən maddələr və yüksək temperatura qarşı davamlı, pirolotik keramikləşdirilmiş maddələr vardır.

Boyanın tərkibində yüksək funksiyalı, ultra bənövşəyi stabil karbosiloksan tor əmələgətirən maddə istifadə olunduqda, boya örtükləri növbəti üstünlüklərə malik olurlar:

- yüksək əlaqəli nano-hissəcikli örtüklər;
- cızılmaya qarşı xüsusi möhkəmlik, iqlim şəraitinə, kimyəvi təsirlərə davamlılıq, anti-abrazivlik;
- Bərk örtük sistemində (Hard Coat-System) plastik detallara tətbiq olunur; şəffaf avtomobil boyasında quş peyinindən və cızılmadan qoruma və ya səthi yazıb korlamaya davamlı (Anti-Graffiti).

Gələcəkdə inkişaf etdiriləcək boyalar növbəti xüsusiyyətlərə malik olmalıdırlar:

- cızılma möhkəmliyinin yüksəldilməsi;
- gümüş kimi istilik şüalarını yaxşı əks etdirən tünd rənglər;
- mexanik yüklənmələrə yüksək dözümlü, asan təmizlənən səthlər;
- öz-özünü bərpa edən örtüklər (məsələn, korroziyaya qarşı davamlılığı yenidən bərpa etmək).

13. Kimyəvi buxar çökdürmə (CVD) üsulu ilə səthə örtüklərin çəkilməsi

13.1. Kimyəvi buxar çökdürmə texnologiyası və üsulun tətbiqinin aktuallığı

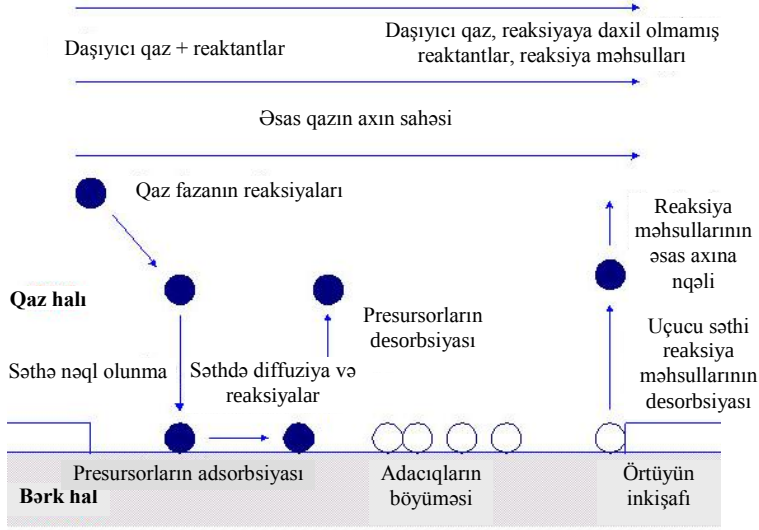
CVD texnoloji örtükçəkmə əməliyyatının layihələndirilməsi mərhələsində növbəti vacib amillər nəzərə alınmalıdır:

- qazların tərkibi (reaksiya, daşıyıcı, təmizləyici qazlar);
- qazın axma sürəti;
- örtükçökdürmə dərəcəsi;
- təbəqənin qalınlığının homogenliyi;
- qüsurlar;
- zəhərlilik, korroziya əmələgətirmə, reaksiya qazları və ixrac qazları.

Örtükçəkmə əməliyyatı zamanı aşağıdakı proseslər baş verirr (şək. 13.1.):

– reaqentlərin detala nəqli;
– reaktantların səthə adsorbsiyası;
– kimyəvi reaksiyalar;
– rüşeymin əmələ gəlməsi;
– reaksiya məhsullarının desorbsiyası;
– reaksiya məhsullarının kənar edilməsi.

Şək. 13.1.- dən göründüyü kimi bu üsulla örtükçəkmə zamanı səth təbəqəsinin formalaşması tədricən baş verir. Səthə nəql olunan presursorların (reaksiya qazları) bir qismi mühitdən asılı olaraq səthin inkişafında iştirak edə bilməyib, sonda qazlarla birlikdə evakuasiya olur ki, bu da itgilərlə nəticələnir.



Şəkil 13.1. CVD üsulu ilə səthə örtük çökdürmədə baş verən proseslər.

CVD üsulu ilə örtükçəkmə zamanı üzərinə örtük çökdürüləcək hissələr reaktorda yerləşdirilir. Reaktor soyuq və isti divarlı olur. Soyuq divarlı reaktorlarda detallar induktiv və ya qızdırıcı lövhə vasitəsi ilə qızdırılır və örtük yalnız materialın səthinə çökür. İsti divarlı reaktorlarda isə hissələr bilavasitə deyil, reaktor kamerasının divarlarını qızdırmaqla isidilir. Bu

zaman örtük hissələrin səthi ilə yanaşı reaktor divarına da çökür.

Reaktorda qızdırma prosesi ilkin olaraq neytral atmosferdə aparılır. Sonra nəqledici qaz (əsasən H_2) və reaksiya qazları (məsələn, TiC və ya TiN örtüklərində $TiCl_4$ və CH_4, N_2) reaktora verilir. Reaksiya nəticəsində əmələ gələn qaz formalı HCl reaktordan evakuasiya olunaraq, təmizləmə qurğusunda NaOH vasitəsi ilə neytrallaşdırılır. Təhlükəsizlik nöqteyi nəzərdən əməliyyat başa çatdıqdan sonra səthlərinə örtük çökdürülmüş materialları reaktordan boşaltmazdan əvvəl onu Ar qazı ilə doldururlar.

13.2. Səthə örtükçəkmədə baş verən kimyəvi reaksiyalar

Örtükçəkmədə istifadə olunan reaksiya qazları (presursorlar) əsasən hallogenlərdir. Burada baş verən kimyəvi proseslərə aydınlıq gətirmək üçün bəzi örtükçökdürmə əməliyyatını nəzərdən keçirək. Məsələn, səthə titan oksidinin çökdürülməsində növbəti kimyəvi reaksiya baş verəcəkdir. Bu zaman kameraya sovrulan $TiCl_2$ və O_2 qazları detalla reaksiyaya girərək səthdə TiO_2 əmələ gətirir, reaksiya məhsulu Cl_2 isə sovrularaq kameradan uzaqlaşdırılır.

$$TiCl_2 + O_2 \rightarrow TiO_2 + 2Cl_2$$

Metal birləşmələri üçün çökdürmə reaksiyalarına aid nümunələri nəzərdən keçirək:

$$CH_3SiCl_3 \rightarrow SiC + 3HCl\ (1200°C)$$
$$TiCl_4 + 1/2N_2 + CH_4 \rightarrow Ti(C,N) + 4HCl\ (1000°C)$$
$$BCl_3 + NH_3 \rightarrow BN + 3HCl\ (500\text{-}1500°C)$$
$$Al_2C_6 + 3CO_2 + 3H_2 \rightarrow Al_2O_3 + 3CO + 6HCl\ (800\text{-}1400°C)$$

Səthə TiC, TiN, Ti(C,N) örtüklərinin çökdürülməsi zamanı baş verən reaksiyalar aşağıdakı tənliklərlə ifadə olunmuşdur. Məsələn, titan karbidin alınması üçün reaktor kamerasına titan tetra xlor və metan qazları sovrulur:

$$TiCl_4(qaz) + CH_4(qaz) \xrightarrow[\substack{800\text{–}1000^0C \\ 10\text{–}100Torr}]{H_2} TiC(s)\downarrow + 4HCl(qaz)\uparrow$$

$$TiCl_4(qaz) + \frac{1}{2}N_2(veya_NH_3_qaz) + 2H_2(qaz) \xrightarrow[\substack{550\text{–}950^0C \\ 10\text{–}700Torr}]{H_2} TiN(s)\downarrow + 4HCl(qaz)\uparrow$$

$$TiCl_4(qaz) + CH_4(qaz) + N_2(qaz) \xrightarrow[\substack{700\text{–}900^0C \\ 10\text{–}100Torr}]{H_2} Ti(C,N)(s)\downarrow + 4HCl(qaz)\uparrow$$

Səthdə bor diffuziya təbəqəsinin alınmasında:

$$BCl_3(qaz) + \frac{3}{2}H_2(qaz) \xrightarrow[500\text{–}900^0C]{} B(s)\downarrow + 3HCl(qaz)\uparrow$$

$$B(s) + Fe_{substrat}(s) \xrightarrow{T} FeB(s)\downarrow + Fe_2B(qaz)\uparrow$$

Xromun ayrılması və xrom örtüyün səthə çökdürülməsi zamanı növbəti reaksiyalar baş verəcəkdir:

$$CrCl_2(qaz) + Fe(s) \xrightarrow[\substack{840–1000^0C \\ 50–700Torr}]{Ar} Cr(s)\downarrow + FeCl_2(qaz)\uparrow$$

$$CrCl_2(qaz) + H_2(qaz) \xrightarrow[\substack{840–1000^0C \\ 50–700Torr}]{Ar} Cr(s)\downarrow + 2HCl(qaz)\uparrow$$

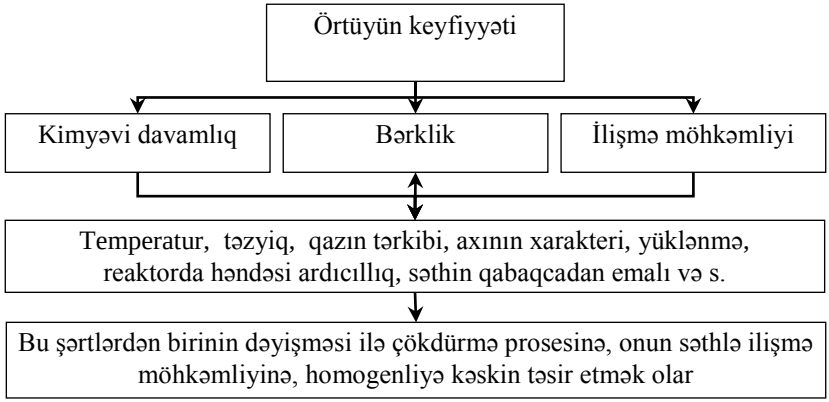
$$Cr(s) + (Fe - C)(s) \xrightarrow[T]{} (Cr_{1-x}Fe_x)_7C_3(s)$$

Al_2O_3 örtüyünü çökdürmək üçün reaktora üç növ qaz verilir:

$$AlCl_3 + 3CO_2 + H_2 \longrightarrow Al_2O_3 + 3CO + 6HCl$$

13.3. CVD örtüklərinin xüsusiyyətləri

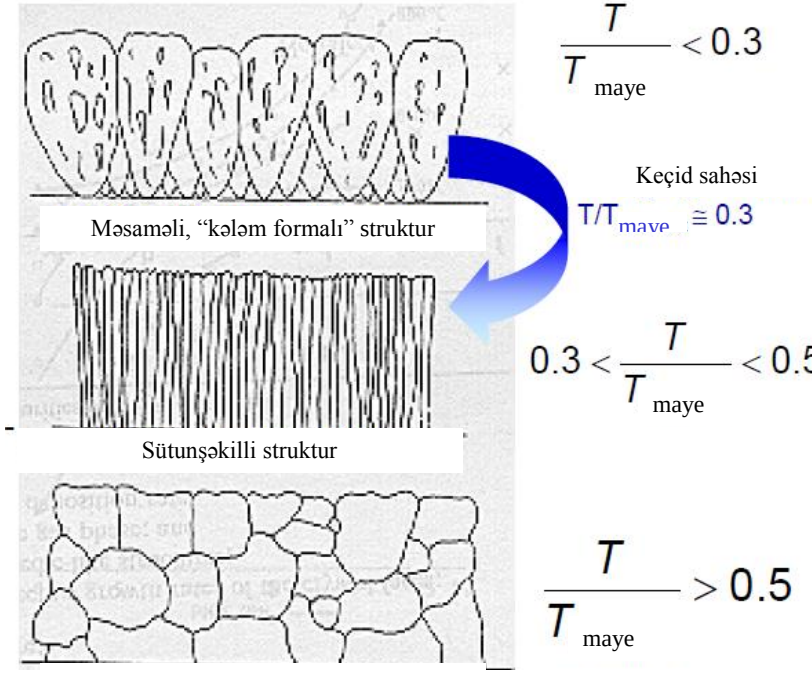
CVD üsulu ilə səthə çəkiləcək örtüklərin keyfiyyətinə təsir edən parametrlər aşağıdakı şəkildə təsvir olunmuşdur.



Şəkil 13.2. CVD örtüklrinin keyfiyyətinə təsir edən amillər.

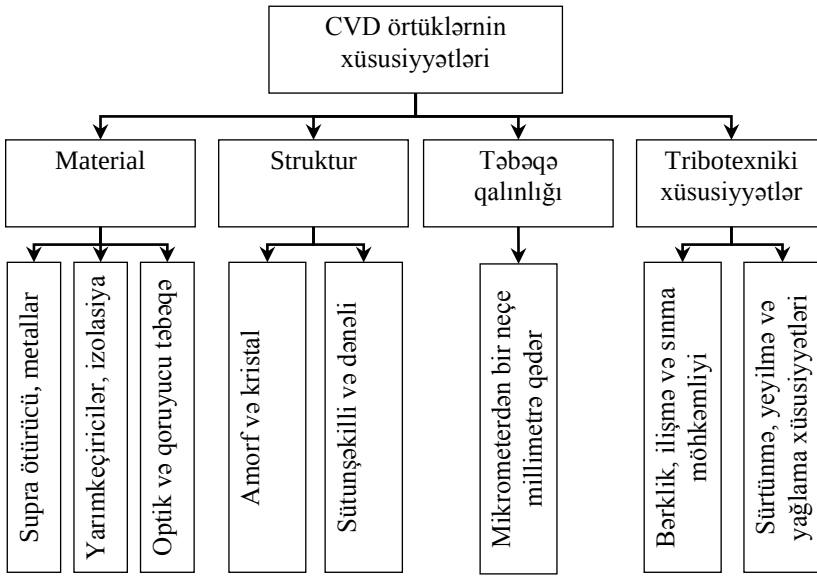
Örtüyün keyfiyyətinə təsir edən əsas parametrlər əməliyyatın temperaturu və təzyiqidir. Temperaturun təsirindən alına biləcək struktur formaları şək. 13.3.-də sxematik olaraq təsvir olunmuşdur. Əməliyyat temperaturunun əsas materialın ərimə temperaturuna nisbəti $T/T_{ərimə}<0.3$ olduqda məsaməli "kələm formalı", $0.3<T/T_{ərimə}<0.5$ olduqda sütun formalı, $T/T_{ərimə}>0.5$ olduqda isə polikristal formalı örtüklər alınır.

Örtükçəkmə temperaturunun artması ilə sıx örtük strukturunun və əsasla örtük arasındakı ilişmə möhkəmliyinin artmasına baxmayaraq, bərkliyin azalması və hissələrin deformasiyası baş verə bilər.



Şəkil 13.3. Əməliyyat temperaturunun əsas materialın ərimə temperaturuna nisbətindən asılı olaraq, çökdürülən örtüyün strukturu.

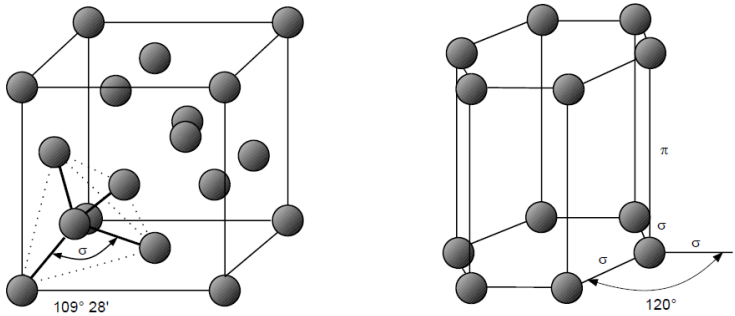
CVD örtüklərinin qiymətləndirilməsi üçün onların bəzi xüsusiyyətləri şək. 13.4.- də təqdim olunmuşdur.



Şəkil 13.4. CVD örtüklərinin xarakteristikası.

Bərkliyə yüksək tələbat olan sahələrdə detalların səthinə almaz təbəqə çəkilir. CVD üsulu ilə səthə almaz örtüklərin çökdürülməsi zamanı burada həm qrafit və həm də yüksək bərlkliyə malik olan almaz əmələ gəlir (şək. 13.5.).

Bərk metaldan olan detalın səthində almaz təbəqənin ayrılması mexanizmi, tərkibində karbon olan qaz fazasından termik və ya plazma üsulu ilə həyacanlandırmaqla örtükləri çökdürdükdə baş verir.



Şəkil 13.5. Almazda (sol) və qrafitdə (sağ) atomların düzülüşü.

Bərk almazla birlikdə əmələ gələn karbon, örtüklərə növbəti üstünlükləri verir:

- hətta yüksək temperaturda belə turşulara qarşı davamlılıq;
- yüksək istilikkeçirmə qabiliyyəti (otaq temperaturunda misdən 5 dəfə çoxdur);
- kiçik istidən genişlənmə əmsalı;
- elektrik cərəyanından yaxşı izolyasiya etmə;
- yüksək yağlama qabiliyyəti;
- optik şəffaflıq;
- yüksək hamarlılığa malik səth;
- aşağı sürtünmə əmsalı.

CVD üsulu vasitəsi ilə vakuumda və atmosfer təzyiqi altında həm qalın (0,3…2 mm) və həm də nazik almaz örtüklər (1…30 mkm) çökdürülə bilər. Belə örtüklər şüalandırıcı detektorlarda, infraqırmızı və rentgen optikasında, mikrodalğa texnikasında,

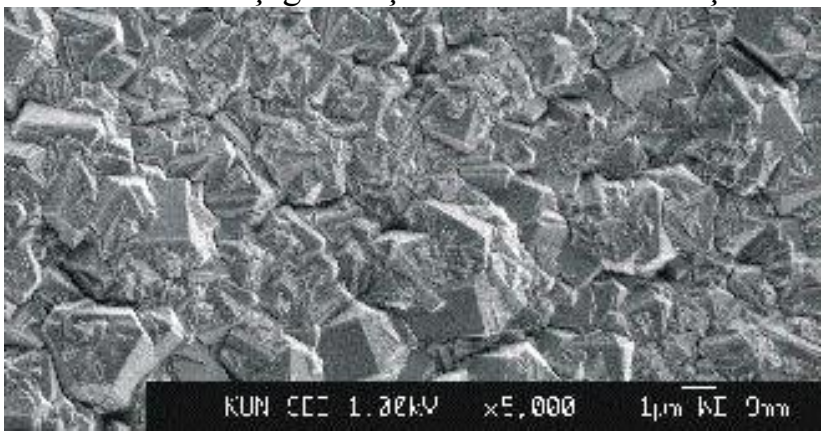
kəsici alətlər və maşın detallarında tətbiq olunmuşdur (şək. 13.6. və şək. 13.7.).

Şəkil 13.6. Səthlərinə almaz çökdürülmüş bərk metaldan olan alətlər və dişli çarx.

Bu növ örtüklər yüksək yeyilməyə, korroziyaya davamlı olmaqla dekorativ məqsədlərlə də tətbiq olunur ki, belə örtüyə malik hissələr uzun müddət estetik formasını qoruyub saxlayırlar.

Şəkil 13.7. CVD üsulunun tətbiqinə aid nümunələr.

EDX üsulu ilə öyrənilmiş almaz örtüyün mikrostrukturu aşağıdakı şəkildə təsvir olunmuşdur.



Şəkil 13.8. CVD üsulu ilə çökdürülmüş almaz strukturlu təbəqə.

Müxtəlif örtüklərin tribotexniki baxımdan qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı cədvəllərdə müxtəlif təbəqələrin fiziki və tribotexniki xüsusiyyətləri təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 13.1. CVD üsulu ilə səthə çökdürülmüş təbəqənin fiziki xüsusiyyətləri.

Bərk material	**TiC**	**TiN**	**$Cr7C_3$**	**Al_2O_3**	**TiB_2**
Struktur	**ÜMQ**	**ÜMQ**	**heksoqonal**	**triqonal**	**heksoqonal**
Qəfəs sabiti, a, c / nm	0,43	0,42	1,4 / 0,45	-	0,3 / 0,32
Bərklik, HV	3200	2450	2200	2300	3480
E-Modul / 10^5 N/mm^2	4	2,5	-	4,1	3,7
Ərimə temperaturu JS / ^oC	3150	2950	1780	2050	2900
İstidən genişlənmə əmsalı, a / 10^{-6} K^{-1}	7,42	9,35	10,6	8,3	6,39
İstilikkeçirmə əmsalı, l / cal.(cm.s.K)$^{-1}$	0,05	0,07	-	0,081	0,062
Sıxlığı, r / g.cm^{-3}	4,93	5,3	6,9	3,99	4,5

Cədvələ əsasən səthə çəkilmiş örtüklərin bərkliyi kvarsın bərkliyindən xeyli yüksək olub, abraziv sürtünmə şəraitində detalların uzunömürlülüyünü artıra bilər. Məlumdur ki, detalın yeyilməyə davamlılığı yalnız bərklikdən asılı olmayıb, bir sıra digər parametrlərin mürəkkəb funksiyasıdır və bunu da eksperimentlər vasitəsi ilə müəyyən etmək mümkündür. Müqayisəli şəkildə qiymətləndirmə üçün LSRH və BAM tərəfindən aparılmış bəzi tribotexniki sınaqların nəticələri aşağıdakı cədvəldə təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 13.2. Səthə çökdürülmüş bəzi təbəqələrin tribotexniki sınaq nəticələri.

Mil/şayba	Sürtünmə əmsalı			Yeyilmə W_V/W [10^{-6} mm^3/m]						Sınaq şəraiti
	c=90-95%	c=50%	c=0,5-5%	c=90-95%		c=50%		c=0,5-5%		
				Mil	Şayba	Mil	Şayba	Mil	Şayba	
100Cr6/TiC		0,49				0,07	7,6			LSRH ölçmə Milin radiusu: 3mm v: 1cm/s L: 5N Ra: 0,1mm w: 1km
100Cr6/TiN		0,49				95	0			
100Cr6/Cr_7C_3		0,79				1,1	76			
TiC/TiN	0,16		0,20	2,5	<5			4,5	20	
TiC/TiC	0,22		0,39	0	9			0,25	14	
TiN/TiC	0,25		0,31	0	8			0	25	
Polikristal Al_2O_3/100Cr6		0,45				10	1500			LSRH ölçmə Sınaq şəraiti yuxarıda olduğu kimidir
Polikristal Al_2O_3/TiC		0,19	0,37			0,1	10	0,7	20	
TiC/TiC		0,14					3			BAM ölçmə Milin radiusu: 30mm v: 10cm/s L: 5N Ra: 0,1mm w: 1km T: 23 ºC
TiN/TiN		0,24					3,8			
Cr_7C_3/Cr_7C_3		0,29					21			
100Cr6/TiC		0,11					3			LSRH Referenz-Paarungen, Yağla Milin radiusu: 6mm v: 1cm/s L: 20N Ra: 0,1mm w: 10km T: 20 ºC
Rubin/TiC		0,12					4			

Cədvəl 13.3. Müxtəlif üsullarla səthə çəkilmiş örtüklərin tribotexniki xüsusiyyətləri.

Örtükçəkmə üsulu	Yeyilməyə davamlı təbəqə	Adheziv yeyilməyə müqavimət. Qarşı cüt		Sürüşmə yeyilməsinə müqavimət				Mikrokəsilməyə müqavimət. Qarşı cüt		
				Cüt		Cüt				
		Polad	Alüminium oksid	Örtük	Polad	Örtük	Polad	Flint	Korund	Si karbid
Qalvanik	Cr	-	-	--	--	--	--	+	-	-
	Ni-P	++	++	-	0	-	0	-	-	-
	Ni-SiC	-	+	--	--	-	++	+	-	-
	Ni-P-Almaz	0	-	+	-	--	--	+	+	+
Termokimyəvi	ε-Fe_nN	++	++	+	0	+	++	+	-	-
	Fe2B, FeB	++	++	+	0	0	0	+	+	0
	Cr7C3	++	++	+	0/-	0	++	+	0	-
	VC	+	++	+	-	0	0	+	+	+
PVD, CVD	TiC	±	+	+(+)	-	+	0	+	+	+
	Ti(C,N)	-	+	+(+)	0	0	0/+	+	+	+
	TiC/Ti(C,N)	0	+	+(+)	-	0	0	+	+	+
	TiN	0/-	+	+	-	0	0	+	+	+
	Ti(C,N)/ TiN	0	+	+(+)	-	0	0	+	+	+
	CrN	0	+	0	-	0	++	+	+	+
	Cr7C3	+	±	+(+)	-	0	0	+	0	-
	Ni/W2C	0	-	+	0	--	--	+	+	+
	TiC/TiN·Al2O3	+	0/-	0/+	-	0	-	+	+	+
Plazma püskürtmə	Mo	++	-	0	0	--	--	0	-	-
	Cr2O3	+	-	+	-	--	--	0	-	-
	Al2O3	+	-	++	-	--	--	+	-	-
	WC-Co	+	++	+	0	0	-	+	0	0

13.4. CVD üsulları. Adi CVD üsulu

Texnikada 3 növ CVD üsulları geniş yayılmışdır. Bunlara adi, hot-filament və plazma CVD üsulları daxildir.

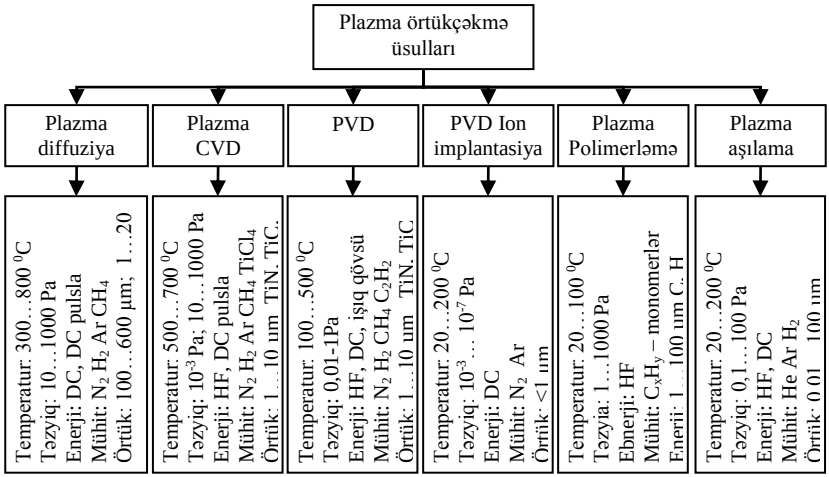
Adi CVD buxar çıkdürmə üsulunun da 3 müxtəlif növləri vardır. Bu üsulların tətbiqində istifadə olunan texnoloji parametrləri müqayisə edək:

- **APCVD**: (atmosfer təzyiqli CVD)
  - atmosfer təzyiqində aparılır;
  - T ≈ 1000 -1300°C (yüksək temperaturlu -CVD);
  - detalın məqsədəuyğun qızdırılması „soyuq“ reaktor divarı;
  - adətən nazik yarımkeçirici təbəqə çəkilir.
- **LPCVD**: (aşağı təzyiqli CVD)
  - p = 0.01-10 mbar;
  - T = 500-1000°C (orta temperaturlu CVD);
  - reaktor diavrı və detal isti olur;
  - Silisiumun çökdürülməsi (SiO_2, Si_3N_4, SiOxNy);
- **PECVD**: (plazma tətbiqi ilə CVD)
  - p ≈ 1mbar;
  - T = 200 - 500°C (aşağı temperaturlu -CVD);
  - detal isti, reaktor divarı soyuqdur;
  - əsasən dielektriklər çökdürülür (legirli və legirsiz SiO_2, Si_3N_4, SiOxNy);
  - çətin əriyən metallar və silisidlər- silisiumun metalla birləşmələri (W, Ta və s.) çökdürülür.

13.5. Plazmanın tətbiqi ilə CVD üsulları

Bu üsullarda reaksiya üçün lazım olan enerji, reaksiya qazlarını közərmə boşalması vasitəsi ilə plazmaya çevirir. Detalın səthində gedən kimyəvi reaksiyalar detalı əhatə edən közərmə örtüyündə baş verir və plazmanın köməyi ilə aşağı əməliyyat temperaturuna nail olunur.

Aşağıdakı şəkildə müxtəlif plazma örtükçəkmə üsullarının texnoloji parametrləri təqdim olunmuşdur.



Şəkil 13.9. Plazma örtükçəkmə üsulları və onların xüsusiyyətlər.

Plazma çökdürmə üsulunun digər növü CVD mikrodalğalı plazma çökdürmə üsuludur. Səthə bu üsulla almaz örtüklərin çəkilməsi zamanı emal parametrlərini nəzərdən keçirək:

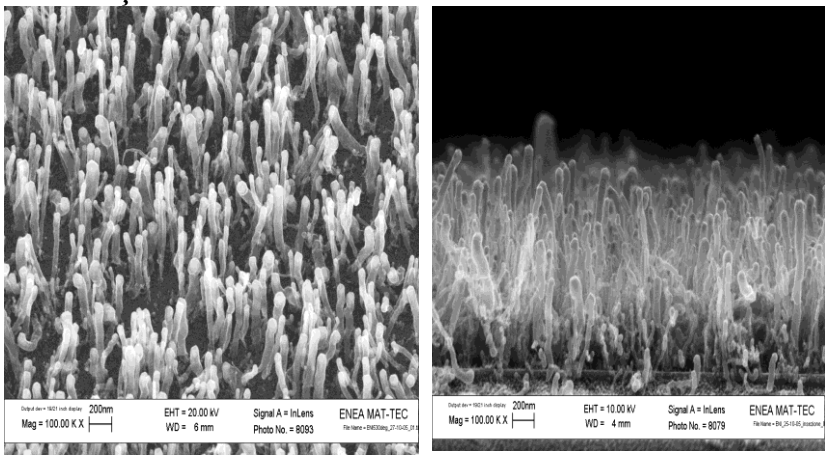
- detalın temperaturu: 970 - 990°C;
- təzyiq: 10 kPa
- artma dərəcəsi: 0,7 - 0,75 mkm/saat
- qazın tərkibi: H_2: 98-99; CH_4: 1 - 2 %
- alınabilən təbəqənin qalınlığı: 6 - 14 mkm.

13.6. Hot-filament CVD üsulu

Hot–Filament–CVD (HFCVD) üsulu almaz örtüklərin alınmasında geniş yayilmiş (hot-filament - həmçinin, isti məftil üsulu da adlandırılır) və bu əməliyyat zamanı tətbiq olunan əsas texnoloji parametrlər bunlardır:

– detalın temperaturu: 950-1050°C
– təzyiq: 5-12 kPa
– qazın axma miqdarı: 50-100 cm^3/dəq
– qazın tərkibi: H2 : 99-99,9 %; CH_4 : 0,1-1 %
– közərmə temperaturu: 2000 - 2500°C

HFCVD üsulu ilə səthə çökdürülmüş karbon nano-borucuqlarının EDX analizi şək. 13.10.- da təsvir olunmuşdur.

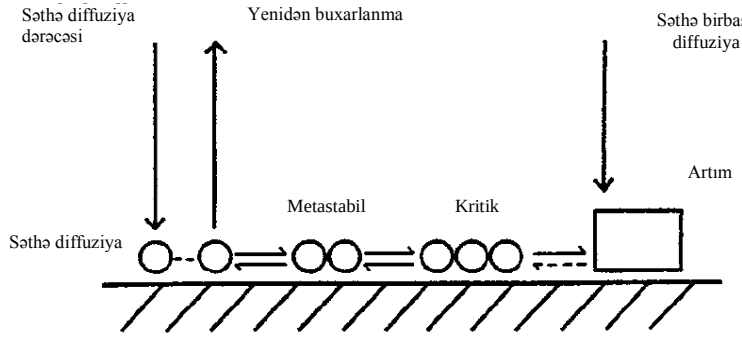


Şəkil 13.10. CVD üsulu ilə alınmış karbon nano-borucuqları.

14. Fiziki buxar çökdürmə (CVD) üsulu ilə səthə örtüklərin çəkilməsi

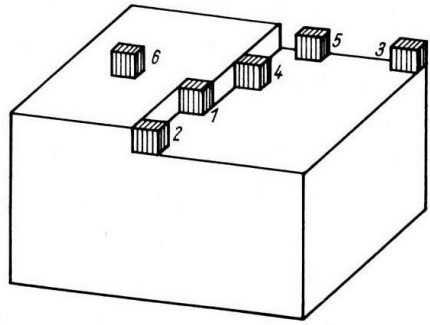
14.1. Fiziki buxar çökdürmə üsulunun iş prinsipi

PVD üsulu ilə örtükçəkmədə təbəqənin əmələ gəlməsi prosesinin texnoloji sxemi aşağıdakı şəkildə təsvir olunmuşdur.



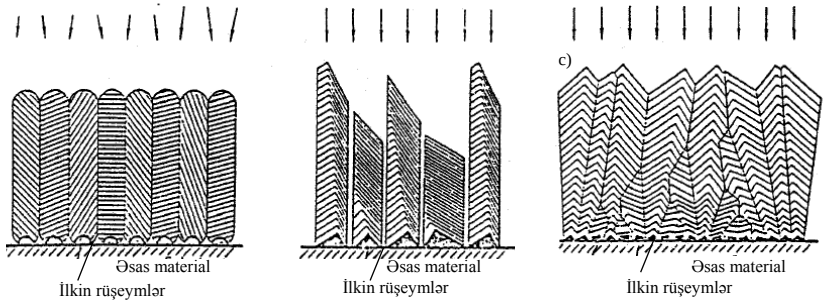
Şəkil 14.1. PVD üsulu ilə örtükçəkmədə təbəqənin əmələ gəlməsi prosesinin sxemi.

Səthlə görüşən atomlar energetik baxımdan əhəmiyyətli olan mövqelərə, adətən mümkün qədər çoxlu qonşu atomlar olan yerlərə diffuziya edirlər (şək. 14.2.).



Şəkil 14.2. Örtük buxarının səthə diffuziya etmə potensialı

Örtüklərin çökdürülməsi zamanı dissosasiyanın baş verməsi və elementlər arasında tarazlığın pozulması hesabına bir çox hallarda arzu olunan fiziki tərkib alınmır (şək. 14.1.). Prosesin gedişinə diffuziyanı aktivləşdirmə enerjisi, əsas material və örtük atomları arasındakı birləşmə enerjisi əhəmiyyətli təsir edir.



Şəkil 14.3. Hissəciklərin fərqli enerjilərinin təbəqənin strukturuna müxtəlif təsirləri. a- kiçik, b- orta, c- yüksək enerjili çökdürmə.

Səthə düşən hissəciklərin enerjisi termiki və ionun enerjilərinin cəmindən ibarətdir. Hissəciklərin fərqli enerjiləri təbəqənin strukturuna müxtəlif təsirlər edəcəkdir (şək. 14.3.). Belə ki, enerji kiçik olduqda diffuziya baş vermir və kölgə effekti alınır. Hissəciklərin enerjisi nisbətən yüksək olduqda səthi, hissəciklərin enerjisi yüksək olduqda isə həcmi diffuziya baş verir.

Təbəqənin əmələ gəlməsinə əsas (metal, keramika, plastik və s.) və örtük materialı (metal, legirləyici elementlər, kimyəvi birləşmələr və s.), örtükçəkmə parametrləri (təzyiq temperatur) və örtük çəkmə üsulu əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

14.2. PVD üsulunun tətbiqi potensialı

PVD üsulunun geniş yayılmış CVD üsullarına nisbətən tətbiqi potensialını qiymətləndirmək üçün, onların mənfi və müsbət cəhətlərinin müqayisəli analizi aşağıdakı sxemdə təqdim olunmuşdur:

PVD

Üstünlükləri:

- Çökdürmənin geniş temperatur sahəsində mümkünlüyü və hətta otaq temperaturunda (20 – 400^{0}C)
- Yüksək çökdürmə dərəcəsi
- Ultra təmiz örtüyün alınması
- Ekoloji təmizliyi: heç bir ixrac və zəhərli qazlar

Mənfi cəhətləri:

- Örtüyün qalınlığı istiqamətdən asılıdır
- Bahalı qurğu

CVD

Üstünlükləri:

- Deatalın bütün həndəsi ölçüləri boyunca sıx təbəqə
- Yüksək iqtisadi səmərəlilik- sadə konstruksiya və istismar
- Örtüyün qalınlığı istiqamətdən asılı deyildir

Mənfi cəhətləri

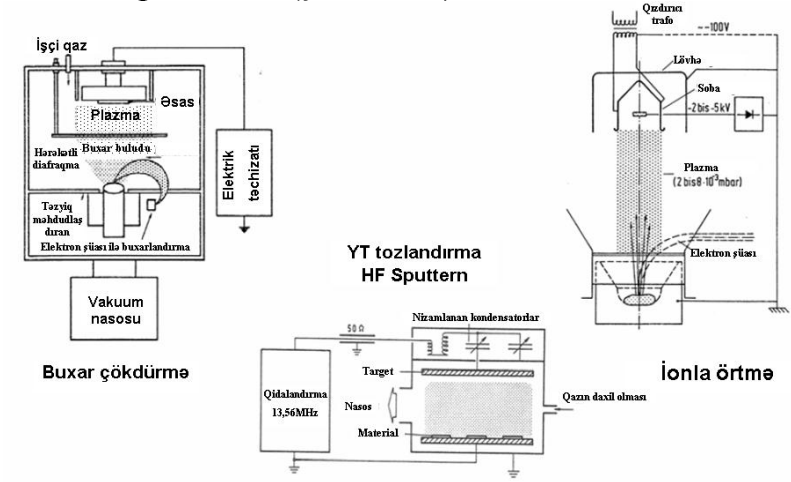
- Qeyri – üzvi presursorlar (Precursor – reaksiya qazları) yüksək proses temperaturu (T > 600°C)
- Üzvi metal presursorlar çətin tapılır və bahadır

Qeyd olunanlarla yanaşı, PVD üsulu ilə aşağı təzyiq və bununla yanaşı az miqdarda qalıq qazların təsiri hesabına xüsusi optik və elektrik xüsusiyyətlərinə malik təbəqələrin alınması mümkündür. Həmçinin, buxarlanacaq hissəciklərin az sahədə səpələnməsi, yəni buxar dənəciklərin yayilma istiqamətinin kiçik mühitdə dəyişməsi nəticəsində yalnız buxarlandırıcıya qarşı olan tərəfə örtük çəkilir.

14.3. PVD örtükçəkmə üsulları.

14.3.1. Səthə buxarlandırmaqla örtükçökdürmə

PVD üsulunun səthə buxarlandırma, tozlandırıb çökdürmə (eng. sputtering) və ion implantasiya kimi 3 növü fərqləndirilir (şək. 14.4.).

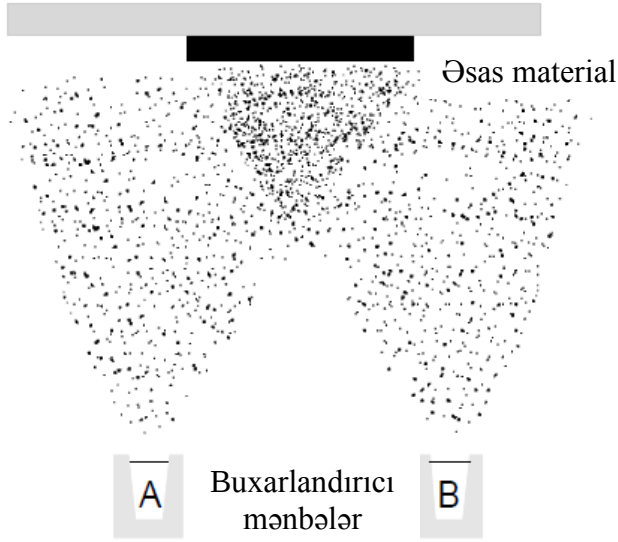


Şəkil 14.4. PVD örtükçökdürmə üsulları.

Səthə buxarlandırma üsulu termiki enerjinin köməyi ilə materialın səthinə örtükçökdürmə üsulu olub, əsasən növbəti 3 mərhələdə aparılır:

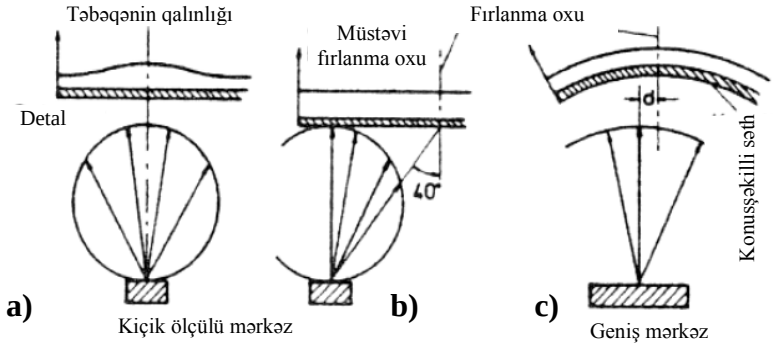
- Kamerada vakuumun(10^{-3}-10^{-6} Pa) yaradılması;
- Termiki enerjinin hesabına buxar hissəciklərinin vakuumda yayılaraq materiala çatması;
- Buxarlanmış hissəciklərin materialın səthinə enməsi ilə təbəqənin əmələ gəlməsi.

Legirləyici elementlərin çökdürülməsi zamanı onların müxtəlif ərimə temperaturları səbəbindən müxtəlif fraksiyalar əmələ gəlir və qeyri-bircins təbəqə alınır (şək. 14.5.). Belə çökdürməni təzyiqi azaltmaqla, eyni zamanda buxarlandırmaqla, elektron şüasını bu və ya digər istiqamətlərə yönəltməklə, bir tiqeldə fasiləsiz idarə etməklə buxarlandırma hesabına reallaşdırmaq olar.



Şəkil 14.5. A və B mənbəyindən eyni zamanda buxarlandırmaqla səthə elementlərin çökdürülməsi.

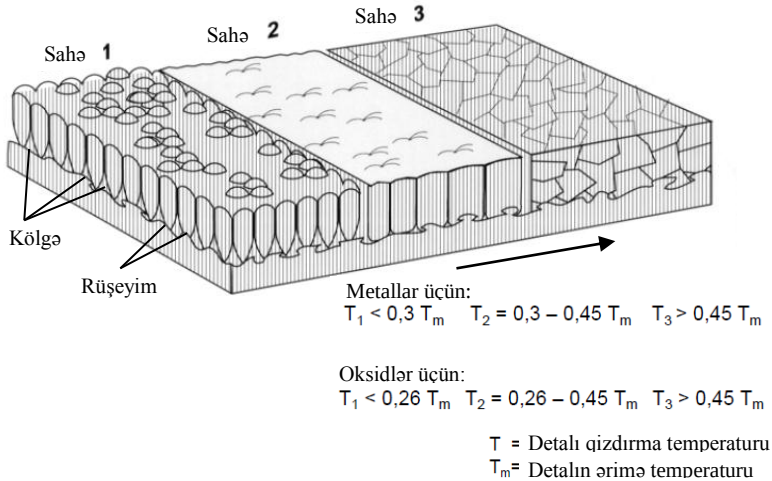
Buxar axınının xarakteristikası növbəti şəkildə təsvir olunmuşdur.



Şəkil 14.6. Buxar axınının xarakteristikası.

Ümumiyyətlə, buxarlandırıcılar nöqtəvi mərkəzli olurlar. Buxar axınının fəzada paylanması cosinus paylanmasına uyğundursa, o zaman detal üzərindəki təbəqə qeyri-homogen paylanır (şək. 14.6.,*a*). Materiala hərəkət verməklə (şək. 14.6.,*b*) və onu hissəcik axınına münasib yerləşdirməklə (şək. 14.6.,c) detalın səthində olan təbəqə qalınlığının homogenliyi dəyişdirilə bilər.

Buxar halından çökdürülən təbəqənin strukturuna səthi və həcmi diffuziyaları aktivləşdirmə enerjisi və detalın səthi ilə yad atom arasında birləşmə enerjisi əhəmiyyətli təsir edir. Bir çox metallar üçün bu enerji mütləq ərimə temperaturuna mütənasübdür (T_m).



Şəkil 14.7. Struktur sahəsinin modeli.

Şək. 14.7.- də qeyd olunan birinci sahədəki örtük təbəqəsi (metallar üçün $T_1<0,3T_m$, oksidlər üçün $T_1<0,26T_m$) növbəti xüsusiyyətlərə malikdir:

- səthi diffuziya prosesi kölgəli əraziləri əhatə etməyə kifayət etmir;
- rüşeym yerlərindən iynəvari kristallar böyüyür;
- kristallar növbəti atomları tutmaqla genişlənirlər;
- təbəqə məsaməli olub, səthlə kiçik ilişmə möhkəmliyinə malikdir;
- yüksək daxili gərginliklər yaranır.

Şək. 14.7.- də qeyd olunan ikinci sahədəki örtük təbəqəsi növbəti xüsusiyyətlərə malikdir:

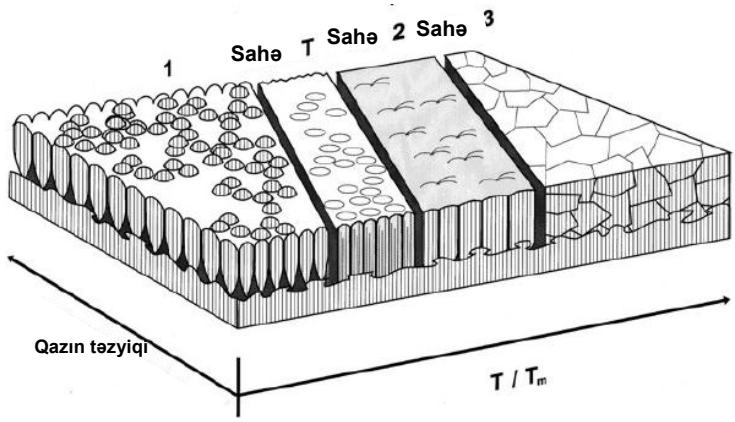
- səthdə güclü diffuziya baş verir və bununla da kristalların artması sürətləndirilir;

- təbəqə sütun formalı quruluşa malikdir;
- detalın temperaturu artdıqca, sütunların diametri genişlənir;
- təbəqə sıx alınır;
- səthlə ilişmə möhkəmliyi artır.

Şək. 14.7.- də qeyd olunan üçüncü sahədəki örtük təbəqəsi növbəti xüsusiyyətlərə malikdir:

- kristalların böyüməsı həçmi diffuziya ilə baş verir;
- yüksək sıxlığa malik rekristallaşma strukturu alınır;
- səthə buxarlanma, tozlandırma və CVD üsulları ilə yarımkeçiricilərin epitaktik (növbəti təbəqənin inkişafı) artması üçün münasib temperatur;
- hər hansı bir üsulla səthə atom gətirilir və sonrakı proseslər öz-özünə baş verir.

Səthə örtükçökdürmə zamanı əməliyyat təzyiqi (10-400 mbar) və temperatur əmsalı (T/T_m) nəzərə alınarsa, bu halda örtüyün 3D struktur modeli növbəti şəkildə təsvir olunduğu formada olacaqdır.



Şəkil 14.8. Örtük təbəqəsinin təzyiq və temperatur əmsalından asılı olaraq, 3D struktur modeli.

Şək. 14.8.- də qeyd olunduğu kimi səmərəli variantla elə bir T örtükçəkmə sahəsinə nail olmaq olar ki, bu sahədə səthə diffuziyanın artması, adsorbsiya olunmuş atomların hesabına kölgələrin həcminin azalması, lifli örtük strukturunun və 1-ci sahə ilə müqayisədə sıx sahə təbəqəsinin alınması müşahidə oluna bilər.

Reaksiya atmosferinin (təsirsiz qaz) təzyiqinin artırılması ilə keçid temperaturu artır ki, bu da növbəti təsirlərə səbəb olur.

Təsir1:

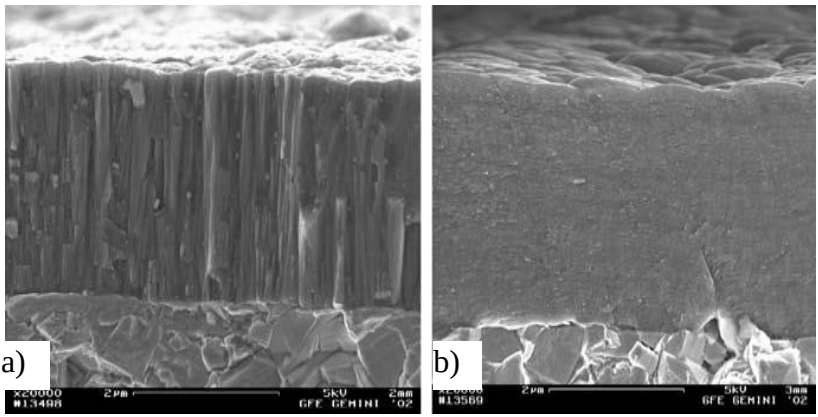
- Atomlar onu əhatə edən qaz atomları ilə toqquşaraq, tozlandırma nəticəsində əldə etdikləri enerjinin bir hissəsini itirir və bununla da onun səthə köçməsi enerjisi azalır;

- az kinetik enerjiyə malik hissəciklər səthlə toqquşduqda onu nisbətən az qızdırırlar.

– **Təsir 2 (əksinə) :**

- təzyiqin kifayət qədər artırılması ilə atomlar təsirsiz qazla toqquşaraq hərəkət istiqamətini dəyişir və detalın səthinə bucaq altında düşərək, kölgənin miqdarını azaldırlar.

Adi DC-texnikası (şək. 14.9.,*a*) və bipolyar puls texnikasının (şək. 14.9.,*b*) köməyi ilə bərk materialın səthinə çökdürülmüş (Ti,Al)N təbəqəsinın EDX mikroskopu vasitəsi ilə təsviri növbəti şəkildə təqdim olunmuşdur (Mənbə: CemeCon).



Şəkil 14.9. Sütunvari və həcmi diffuziya hesabına inkişaf etmiş örtüklər.

14.3.2. PVD- sputtering (tozlandırma) üsulu ilə səthə çökdürmə

PVD- sputtering (qazla tozlandırma) üsulu ilə səthə çökdürmə zamanı texnoloji əməliyyat aşağıdakı mərhələlərdən ibarət olur:

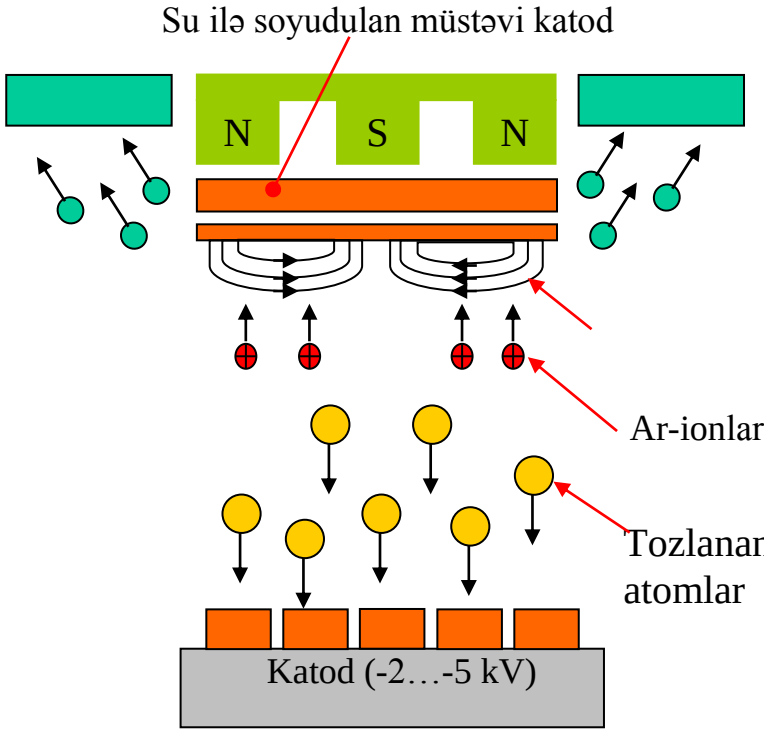
- kameranı yüksək vakuuma qədər evakulasiya etmək;
- qazı kameraya daxil etmək (məsələn, Ar 1 - 10 Pa təzyiqdə);
- közərmə boşalmasının işə qoşulması ilə ionların yaradılması;
- ionların elektrik sahəsinin köməyi ilə tarqetə tərəf sürətləndirilməsi;
- ionla bombalamaqla (məsələn, Ar ionları ilə) katod materialının (tarqet) tozlandırılması;
- tarqet (hədəf) atomlarının detalın (substrat) sıthinə toplanması ilə təbəqənin əmələ gəlməsi.

Tarqetin bomarduman edilməsi ilə atomların ondan qoparılması impuls ötürülməsi ilə həyata keçirilir və tozlandırmanın məhsuldarlığı tarqetlə toqquşan hər bir ionun ondan qopardığı atomların sayı ilə xarakterizə olunur. Bu məhsuldarlığa təsir edən əsas amillər tarqet materialı, ionun düşmə bucağı, enerjisi və kütləsidir.

Bir çox hallarda səthlə ilişmə möhkəmliyini yüksəltmək məqsədi ilə örtükçəkmə əməliyyatından əvvəl detalların səthi müxtəlif üsullarla təmizlənir. Bunlara detalın yüksək enerjili nəcib qazlarla

bombarduman edilməsi (məsələn: arqon və detala verilən bias gərginliyi >1kV) və izolyasiya olunmuş detallarda yüksək tezlikli gərginliklərin tətbiqi ilə onun səthindən nazik təbəqənin qoparılması aiddir.

Əgər əməliyyat maqnit sahəsində aparılarsa, bu zaman örtüyün keyfiyyətini və məhsuldarlığını daha da yüksəltmək olar və belə üsul maqnitron tozlandırma üsulu adlandırılmışdır. Maqnitron tozlandırmanın iş prinsipi aşağıdakı şəkildə təsvir olunmuşdur.



Şəkil 14.10. Maqnitron tozlandırmanın iş prinsipi.

Maqnitron tozlandırma üsulunun xüsusiyyətlərinə aiddir:

- E- sahəsinə perpentikulyar olan B- sahəsinin tətbiqi;
- yüksək tozlandırma dərəcəsi;
- boşalma fəzasında adətən daşıyıcı qaz kimi arqon və reaktiv qaz kimi azot tətbiq olunur;
- tozlandırma zamanı tarqet hər iki qazla bombarduman olunur.

14.3.3. İonla səthə örtükçəkmə

Səthə ionla örtükçəkmə vakuumda aparılır və üsulun iş prinsipi aşağıdakılardan ibarətdir:

– örtükçəkmədən əvvəl detalın səthinin tozalandırma ilə təmizlənməsi (əks qoşma və səthdən adsorbsiya, reaksiya, əsas materialın tozlandırılması);
– örtükçəkmədə səthinə örtük çəkilən materialın katod, buxarlanma məbəyinin isə anod kimi qoşulması (düz qoşma);
– buxarlandırıcı və ya tozlandırıcı mənbələrlə buxarın əmələ gətirilməsi;
– tələbdən asılı olaraq, buxarın yenidən ionlaşdırılası;
– ion bombardumanı vasitəsi ilə örtükçökdürmə.

İon implantasiya üsulu ilə örtükçəkmə zamanı səth ionla bombarduman olunur və bunun nəticəsində aşağıdakı təsirlər yaranır:

- səthə sürətləndirilən hissəciyin termiki enerjisi ilə yanaşı, yüksək kinetik enerjisi hesabına səthlə örtük arasında yüksək ilişmə möhkəmliyi təmin olunur;
- bombarduman nəticəsində səthi qüsurların konsentrasiyası artır;
- materialın səthinin qızması və nöqtəvi xətaların yaranması;
- müxtəlif tozlandırma dərəcəsinə uyğun olaraq, səthin topoqrafiyasının dəyişməsi (material, enerji və hissəciyin səthə düşmə bucağından asılı olaraq);
- ionla təmizlənmiş təbəqələrdə, eyni örtükçəkmə temperaturunda örtüklər sıx alınır;
- sərhəd sahəsi daha da dərin T/Tm- qiymətinə malik olurlar.

14.4. PVD üsullarının tətbiq sahələri və tribotexniki xüsusiyyətləri

PVD üsulları əsəsən detalların səthinə antifriksion (aşağı sürtünmə əmsalına malik örtüklər: məsələn, MoS), korroziyaya (Al, Cr, Ti, Ta örtüklər) və yeyilməyə qarşı davamlı (bərk örtüklər) örtüklərin çəkilməsi məqsədi ilə aparılır. Bundan başqa xüsusi olaraq naqillərə və elektrik kontaktlarına örtüklərin çəkilməsində (Al, Au, Pt, Pd), səthə nazik yarımkeçirici, müqavimət və tutumların çökdürülməsində tətbiq olunur.

Optikada PVD örtükləri aşağıdakı sahələrdə tətbiq olunur:

- Al və Cr- dan olan optik örtüklər;
- proyektor lampaları, avtomobilin işıqları üçün güzgüləşdirilmiş əksetdiricilər;
- linza sistemlərində və eynəklərdə şüanın əks olunmasına qarşı səthin tündləşdirilməsi;
- interferensiyadan, istilikdən qorunma üçün filtirlər;
- tikintidə şüşələrə örtükçəkmə və s.

Digər tətbiq sahələrinə misal olaraq, temperatura qarşı alüminiumla örtülmüş plastik lentləri, qablaşdırma materiallarına örtük çəkməni, maqnit lentləri və yaddaş mücrüləri üçün maqnit örtükləri və s. göstərmək olar.

Şəkil 14.11. PVD örtüklərinin tətbiq sahələrinə aid nümunələr: a- dekorativ, b- alətlər üzərində yeyilməyə davamlı örtüklər.

Detalın yeyilməyə davamlılığının yüksəldilməsi üçün əsasən onların səthinə TiC, TiN, W_2C, Cr_7C_3 və Al_2O_3 örtüklər çökdürülür. Belə ki, bərk material kimi əsasən Mendelyev cədvəlində IV, V və VI qrupun nitridləri və karbidləri (TiN, HfC, TiC və WC) həmçinin boridlər, oksidlər və silisidlər tətbiq olunur. Səthə çökdürülmüş bərk örtüklər bir-birləri və polad materialla cüt işlədikdə quru sürtünmə şəraitində belə aşağı sürtünmə əmsalına və yeyilmə intensivliyinə malikdirlər.

Yüksək tribogərginlik vəziyyətində işləyən maşın elementlərinin (kosmosda yüksək vakuum şəraitində, tekstil maşınlarında, nüvə texnikasında, silah istehsalında və s.) səthlərinə PVD örtükləri çəkməklə yüksək yeyilməyə davamlığa nail olunur. Səthə bərk yağlayıcı maddələri (məsələn, MoS_2, WSe_2, BNhex,

teflon) PVD üsulu ilə çökdürməklə quru sürtünmə şəraitində cütlərin aşağı sürtünmə əmsalına və yeyilmə intensivliyinə nail olunur. Bu üsulla kəsici alətlərə əsasən almaz və CBN (Kubic Bor Nitrid) örtüklər çökdürülərək onların yeyilməyə qarşı davamlılığı 100 dəfələrlə artırılaraq, sürtünmə əmsalı, kəsmə qüvvəsi və s. azaldılaraq səth keyfiyyəti yüksəldilir.

Səthdə alınan nanoqalınlıqlı təbəqələrin üstün triboloji xüsusiyyətlərini aşağıdakı cədvəllərə əsasən müqayisəli şəkildə dəyərləndirmək olar.

Cədvəl 14.1. VDI 3824/1 görə təbəqə xüsusiyyətlərini ifadə edən parametrlər.

Örtük materialı	MeC:H	a-C:H	a-C	Almaz
Alınma üsulları	PVD	CVD	PVD	CVD
Təbəqə qalınlığı, mkm	1-10	1-5	1-3	3-10
Mikrobərklik, HV0,05	800-1800	1500-3500	3000-7000	10000
Qalıq gərginliklər, GPa	0,1-1,5	1-3	2-6	-
Qrafitləşmə temperaturu ^{0}C	350	400	450	>600
Abraziv yeyilməyə davamlılıq	+	+++	++++	++++
Adheziyalı yeyilməyə davamlılıq (polad cütlə)	+++	+++	+++	(+++) yaxşı soyutmada
Əsas materialı korroziyadan qoruma	+	+++	+++	+++

Cədvəl 14.2. VDI 3824/1 görə təbəqə xüsusiyyətlərini ifadə edən parametrlər

Örtük materialı	***TiN***	***TiCN***	TiC	TiAlN	CrN	Al_2O_3
Alınma üsulları	***PVD/CVD***	***PVD/CVD***	CVD	PVD	PVD	CVD/PVD
Təbəqə qalınlığı, mkm	**1-5**	**1-5**	1-5	1-5	1-10	1-5
Berklik, HV0,05`	**2300**	**3000**	3100	3000	1900	2100
Oksidləşmə temperaturu ^0C	**>450**	**>350**	>350	>700	>600	-
Abraziv yeyilməyə davamlıq	++	+++	+++	+++	++	++
Adheziv yeyilməyə davamlıq (polad cütlə)	++	++	+	++	++	+++
Diffuziyalı yeyilməyə davamlıq (polad cütlə)	++	+	+	+++	++	+++
Əsas materialı korroziyadan qoruma	+	+	+	+	++	+

Cədvəl 14.3. Adi və azotla implantasiya olmuş detalların kürə-şayba sistemində yeyilmə miqdarı.

Polad	Şaybanın həcmi yeyilməsi ($x10^{-15}m^3/m$)			
	Kürə materialı-yastıq poladı100Cr6 (62 HRC)		Kürə materialı-bərk metal	
	İmplantasiya olunmayıb	Azotla implantasiya	İmplantasiya olunmayıb	Azotla implantasiya
100Cr6 (62 HRC)	130	130	2,6	2,6

42CrMo4	180	60	3,2	2,2
9S20	300	300	3,7	3,7
34CrAlS5	600	430	12	7,8
X12CrS13	2200	<10	6,0	2,9
X12CrNiS188	430	<10	96	3,8
X100CrNiTi189	1000	<10	910	3,9
X90CrMoV18 (280HV)	3000	2	6,0	1,4
X90CrMoV18 (770HV)	40	<2	2,3	0,7
Xrom təbəqəsi	20	<2	2,0	0,2

Cədvəl 14.4. Müxtəlif ionların tətbiq sahələri və ionla implantasiya olmuş detalların tribotexniki xüsusiyyətləri

Tətbiqi	İonun növü	Material	Nəticələr
Stamp, kəsmə və forma vermə alətləri	N	Alət və HSS poladları, Volfram karbid	Uzunömürlülüyü 3-5 dəfə yüksəldilir
Burğularda	N	Volfram karbid	Uzunömürlülüyü 4 dəfə yüksəldilir
Yastıqlarda	N, Ti, Ta; Cr, Mo, P	Dayaq yastıqları	Korroziyaya, sürüşmə sürtünməsinə və yorulmaya müqavimət artırılır
Puassonlar, püskürdücü ucluqlar, sonsuz vint ötürmələri	N, Cr+C; Ti+B; Al, Y	Müxtəlif legirləyicilər	Uzunömürlülüyü 4-10 dəfə yüksəldilir
Tibbdə (süni çanaq və oynaqlar)	N, C	Ti-6Al-4V	Uzunömürlülüyü əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldilir (labor sınağına əsasən 400 dəfə)
Frezlər	Ti, N, C	Alət və HSS poladları, Volfram karbid	İş şəraitinin optimal vəziyyətində yeyilməyə davamlıq 7 dəfə yüksəldilə bilər

Cədvəl 14.5. Azotla imlpantasiya olunmuş müxtəlif poladların yeyilmə həcmi.

Polad	Şaybanın həcmi yeyilməsi ($x10^{-15}m^3m^{-1}$)			
	Kürə materialı-yastıq poladı100Cr6 (62 HRC)		Kürə materialı-bərk metal	
	İmplantasiya olunmayıb	Azotla implantasiya	İmplantasiya olunmayıb	Azotla implantasiya
100Cr6 (62 HRC)	130	130	2,6	2,6
42CrMo4	180	60	3,2	2,2
9S20	300	300	3,7	3,7
34CrAlS5	600	430	12	7,8
X12CrS13	2200	<10	6,0	2,9
X12CrNiS188	430	<10	96	3,8
X100CrNiTi189	1000	<10	910	3,9
X90CrMoV18 (280HV)	3000	2	6,0	1,4
X90CrMoV18 (770HV)	40	<2	2,3	0,7
Xrom təbəqəsi	20	<2	2,0	0,2

15. Birləşdirmə və örtükçəkmə texnoloji əməliyyatlarının mexanikləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması

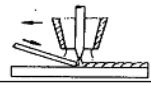
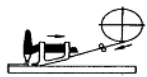
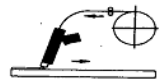
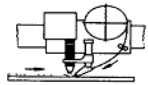
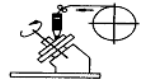
Bir çox qaynaq prosesləri qismən və ya tam mexanikləşdirilə, hətta avtomatlaşdırıla bilər. Əl ilə qaynağın mümkün olmadığı yerlərdə elektroqövs qaynaq üsulu imkan veririr ki, proses mexanikləşdirilmiş (avtomatlaşdırılmış) üsulla həyata keçirilsin.

İstehsalın növündən asılı olaraq, qaynaq üsulları normalara görə mexanikləşdirmə dərəcələrinə bölünürlər (şək. 19.1.). Əl ilə qaynaq zamanı texnoloji prosesi xarakterizə edən bütün əməliyyat əl ilə yerinə yetirilir. Buna xarakterik misal olaraq, həmçinin mineralla əhatə olunmuş cubuq şəkilli elektrodla qaynaq üsulunu misal göstərmək olar. Bu zaman elektrik qövsü əl ilə idarə olunur.

Qismən mexanikləşdirilmiş qaynaq zamanı texnoloji əməliyyatın bəziləri mexaniki üsulla yerinə yetirilir. Buna əyani misal olaraq, QQM qaynağını misal gətirmək olar. Məftil mexaniki üsulla ötrülür və məftilin verişinə nəzarətlə elektrik qövsünün uzunluğu sabit saxlanılır. Digər amillər isə əl ilə yerinə yetirilir.

Əgər QQM qaynaqğı zamanı, yandırıcı başlıq qaynaq sahəsində əl ilə deyil mexaniki üsulla hərəkət etdirilərsə (nəql edən arabacıq, fırlanma qurğusu), onda qısmən mexanikləşdirilmiş QQM qaynaqğından

tam mexanikləşdirilmiş qaynağa keçirlər. Bu halda qaynaq əməliyyatına aid olan bütün əməliyyat, mexanik üsulla həyata keçirilir.

Adlandırma	Nümunə		Hərəkət prosesi		
	TİG	QQM	Başlığın hərəkəti	Məftilin verilməsi	Yükləyib-boşaltma
Əl ilə qaynaq		-	Əl ilə	Əl ilə	Əl ilə
Qismən mexanikləşdirilmiş qaynaq			Əl ilə	Mexaniki	Əl ilə
Tam mexanikləşdirilmiş qaynaq			Mexaniki	Mexaniki	Əl ilə
Avtomatlaşdırılmış qaynaq			Mexaniki	Mexaniki	Mexaniki

Şəkil 15.1. İstehsal növünə görə elektroqövs qaynaq üsulunun mexanikləşdirmə (avtomatlaşdırma) dərəcəsi.

Bütün qaynaq əməliyyatının mexanikləşdırılmiş üsulla yerinə yetirilməsi ilə yanaşı, qaynaq olunan materiallar qaynaq yerinə mexanikləşdırılmış üsulla yüklənib-boşaldılarsa (nəqledici lent, robot vasitəsi ilə), onda qaynaq əməliyyatı avtomatlaşdırılmış üsulla həyata keçirilir.

Mexanikləşdirmənin həyata keçirilməsi yalnız iqtisadi baxımdan əhəmiyyətli olmayıb, həmçinin digər səbəblər də (məsələn, radiasıyanın olduğu sahələrdə) nəzərə alınmalıdır.

Mexanikləşdirilmiş qaynaq prosesləri bir qayda olaraq yüksək əritmə gücünə (məhsuldarlığa) malik olub, uzun müddət fasiləsiz işləyə bilirlər. Yüksək ərimə sürəti, qaynaq prosesinin sürətini artırır və nəticədə qaynaq xərcləri azalır. Amma bu əməliyyatın həyata keçirilməsi o zaman əhəmiyyətli olur ki, qoyulan əsaslı xərclər istehsal prosesindən əldə olunan səmərə ilə uzlaşsın.

Hətta yüksək ixtisaslı qaynaqçının, qaynaq zamanı yol verdiyi qüsurlar səbəbindən prosesi mexanikləşdirmə tələbatı yarana bilər. Bu zaman qaynaqçı birbaşa qaynaq prosesinə təsir etməsə də mexanikləşdirmə qurğularına təsir etməni bacarmalıdır.

Qaynaq parametrlərinin- yandırıcı başlığın hərəkət sürətinin, təcillənməsinin, maillik bucağının və s. mexanizmlər tərəfindın qabaqcadan müəyyən olunmuş verilənlər əsasında idarə olunması qaynağın keyfiyyətini yüksəldir və keyfiyyətin daha da inkişaf etdirilməsi üçün əsas verir.

Mexanikləşdirmə ilə əldə olunan üstünlüklər texnoloji prosesin fasiləsiz gedişini təmin edir. Aralıq, yeni proseslərə başlama və bitirmə kəmiyyəti azalır və bu arada prosesə başlama zamanı materialla əlaqədar olan itgilər minimumlaşdırılır.

16. Birləşdirmə və örtükçəkmə texnoloji əməliyyatlarında əməyin mühafizəsi

Qaynaq texnoloji əməliyyatları zamanı əməyin mühafizəsi əsasən iki istiqamətdə aparılır:

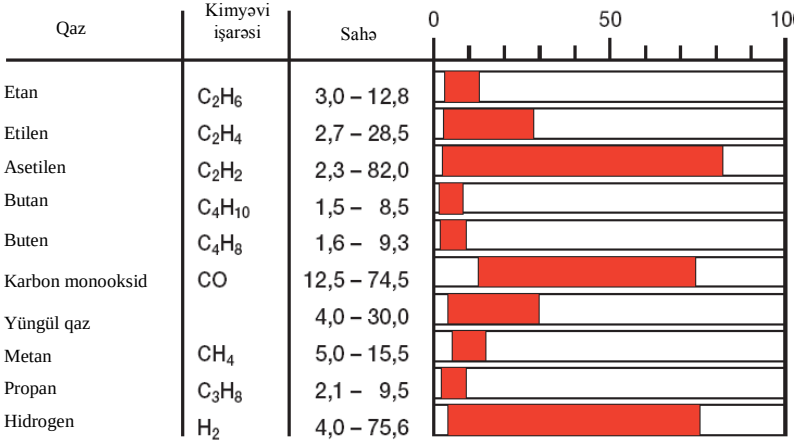
1. Qəzanın aradan qaldırılması;
2. Sağlamlığın qorunması.

Qəzadan qorunmaq və baş verdikdə onun aradan qaldırılması üçün qəbul edilmiş əlavə normalara ciddi şəkildə əməl etmək lazımdır. Burada yanma, partlayiş təhlükəsi və elektrik cərəyanından yaranan təhlükələrə daha çox rast gəlinir.

Yanıcı və boğucu qazlardan yaranan təhlükələrə əməl etmək üçün texnoloji və texniki əməliyyat norma qaydaları əsasında yerinə yetirilməlidir. Bu zaman mümkün ola biləcək təhlükələr və təhlükə yaradan səbəblər bunlardır:

- qazların qarışması ilə yanma / partlayış;
- oksigenin balona qayıtması – alovun zərbəsindən;
- səs – küydən zədələnmələr;
- isti materiallardan və ərimiş metaldan yanmalar;
- optik şüalanma;
- boğucu və partlayici təhlükəli maddələr (qazlar/tüstü);
- ionlaşma;
- kiçik otaqda işləmə;
- dərinin yanması.

Yanıcı qazların qapalı iş yerinə sızması nəticəsində baş verə biləcək partlayış sahəsi qaz-hava-qarışığının %- lə həcmindən asılı olaraq, aşağıdakı şəkildə təqdim olunmuşdur. Şəkildən göründüyü kimi asetilen, hidrogen və karbon monooksidin hava ilə qarışığı daha çox partlayış sahəsini əhatə edir.



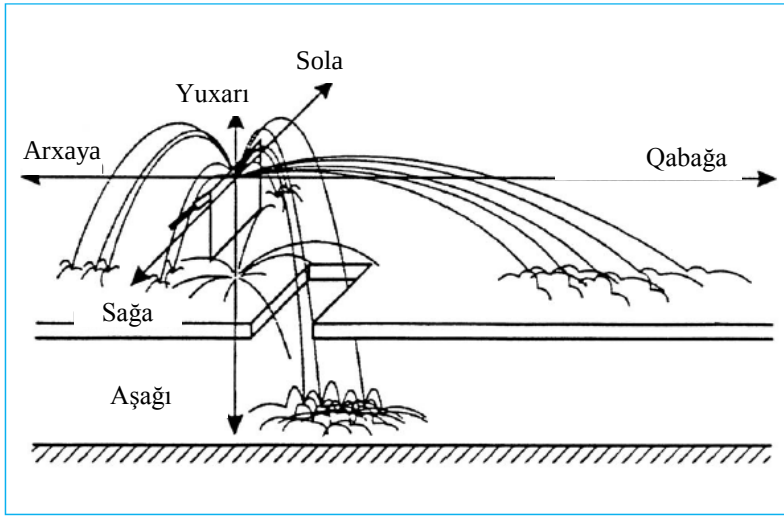
Şəkil 16.1. Qaz-hava-qarışığının %- lə həcmindən asılı olaraq partlayış sahəsi.

Qaynaq və lehimləmə əməliyyatı zamanı gözün birbaşa optik şüalanmadan qorunması üçün əməliyyata uyğun qoruyucu eynəklər və maskalar istifadə olunmalıdır (cəd. 16.1.).

Cədvəl 16.1. Asetilenin istifadə həcmindən asılı olaraq, qoruyucu eynəyin markasının seçilməsi.

İşin tapşırığı	q ≤ 70	70 < q ≤ 200	200 < q ≤ 800	q > 800
Qaynaq və bərk lehimləmə	4	5	6	7
Qeyd: q asetilenin hər saatda litirlə istifadəsinin həcmidir				

Əritmə texnoloji əməliyyatları zamanı isti hissəciklərin səpələnməsi nisbəti şək. 16.2.- də təqdim olunmuşdur.



İş üsulu	Qığılcımın uçması ilə təhlükə yaranan sahə		
	Horizontal yayılma[1]	Vertikal yayılma	
		Yuxarı	Aşağı
Alovla lehimləmə	≤ 2 m	≤ 2 m	≤ 10 m
Əl ilə qaz və elektroqövs qaynaq üsulları	≤ 7,5 m	≤ 4 m	< 20 m
Termiki kəsmə	≤ 10 m	≤ 4 m	≤ 20 m

[1]- 2-3m işçi hündürlüyündə

Şəkil 16.2. Qaynaq və lehimləmə əməliyyatı zamanı isti hissəciklərin səpələnməsi məsafəsi.

Elektrik cərəyanından insan həyatı üçün yaranan təhlükələr (məsələn, elektroqövs üsulu ilə qaynaqda) əzələlərin gərginləşməsi, ürək ritminin pozulması və yanmalar ola bilər.

Sabit cərəyanla qaynaq zamanı insana cərəyanın fizioloji təsir təhlükəsi daha da yüksəkdir.

Tezliyi 50 Hs təsir müddəti >0,3san olan dəyişən cərəyanın insana fizioloji təsirləri aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 16.2. Cərəyanın insana fizioloji təsirləri (tezlik 50Hs, təsir müddəti >0,3san).

Cərəyanın gücü	Təsiri
0...25mA	>5mA: güclü silkələmə >15mA: əzələlərin gərginləşməsi
25...80mA	Əzələlərin intensiv gərginləşməsi >50mA: Nəfəsalmaya mane olma, huşu itirmə mümkünlüyü
80mA...5A	Ürək kamerasının titrəməsi, yüngül yerli yanıq
>5A	Ürəyin durması, güclü yerli yanıqlar

***Cədvələ əsasən bir misalı nəzərdən keçirək:*:** Elektrik qövsü ilə qaynaq zamanı yüksək elektrik təhlükəsində (dəyişən cərəyan: 42V) insana təsir amilini qiymətləndirək. Bədəndən eninə cərəyan axdıqda, heç bir qoruma tədbiri olmadan əldən-ələ müqavimət təxminən 1000Om- dur. Onda, cərəyan şiddəti İ=U/R=42V/1000=42mA. Cəd. 16.2.- yə

əsasən əzələlərin intensiv gərginləşməsi baş verəcəkdir.

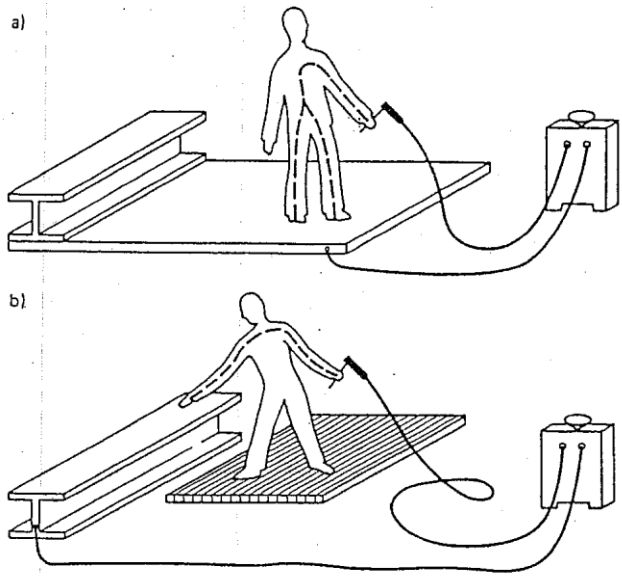
Qeyd etmək lazımdır ki, yüksək tezlikli və sabit cərəyanla qaynaq zamanı insana cərəyanın fizioloji təsir təhlükəsi daha da yüksəkdir. Gərginlik amplitudasının artmaslı ilə bədəndən axan cərəyan və elektrik təhlükəsi artdığından aşağıdakı cədvələ əsasən qaynaq maşınlarında boş iş gərginliyinin maksimal qiyməti məhdudlaşdırılmışdır.

Cədvəl 16.3. Qaynaq maşınlarında boş iş gərginliyinin maksimal qiyməti.

Qaynaq	**Maximal boş iş gərginliyi**	
Sabit cərəyanla	113V pik qiyməti	
Dəyişən cərəyanla	113V pik qiyməti 80V təsir qiyməti	
Kiçik otaqlarda qaynaq	113V sabit cərəyan	
	68V pik qiyməti 42V effektiv qiyməti	Dəyişən cərəyan

Cərəyanın yolu: nə qədər qısa və ürəyin üzərindən keçərsə, bu o qədər təhlükəlidir (şək. 16.3.). Əgər müqavimət elektrik cərəyanının keçdiyi yolda azalarsa, aşağı boş iş gərginliyi də öldürücü ola bilər (əl dərisinin zəifləməsi, əldə yara və s.).

Ümumiyyətlə, qaynaq əməliyyatı zamanı insan sağlamlığı üçün yaranan əsas təhlükələr havanın çirklənməsi, səs-küy və şüalanmadan yaranan təhlükələrdir.



Şəkil 16.3. İnsan bədənində cərəyanın yolu. a- uzununa axın, b) eninə axın.

İş yerində havanın tərkibində olan çirklər qazlardan və toz şəkilli materiallardan ibarət olub, bunlara əməliyyat zamanı yaranan məhsullar, köməkçi tozlar, qazlar və s. aiddir.

Bəzi kimyəvi elementlərin insan sağlamlığı üçün yarada biləcəyi fizioloji təsirlər aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 16.4. Bəzi maddələrin insan fiziologiyasına təsiri xüsusiyyətləri.

Kimyəvi formul	Adlandırılması	Əmələ gəlməsi səbəbi	Sağlamlığa təsiri
NO_x (NO_2)	Nitrid qazları (azot oksidi)	Yüksək temperaturlarda azotla kimyəvi reaksiyalar	Ağ ciyəri su alma
CO	Karbon monooksid	Karbonun tam yanmaması	Zəhərlənmə
CO_2	Karbon dioksid	Karbon qazının tam yanması	boğulma
O_3	Ozon	Bənövşəyi şüalanmadan yaranır	Ağ ciyəri su alma
$COCl_2$	Fosgen	Xlor karbohidrogen qızması və ya ultrabənövşəyi şüalanması	Nəfəs yollarının qıcıqlanması, ağ ciyəri su alma
CaF_2	Kalsium fluorid	Tərkibində fluor olan qələvi tərkibli qaynaq materialının əriməsi ilə	Selikli qişanın və nəfəs yolunun qıcıqlanması, Sümük zədələri
ZnO+(qaz)	Tərkibində sink oksidi olan qazlar	Tərkibində sink olan materialların əridilməsi	Metalın təsirindən qızdırma xəstəliyi

Nəfəs alına bilən tozlar E-tozu olub, 100mkm- ə qədər ölçüdə olan ümumi toz hesab olunur və onların

mühitdə maksimal miqdarı 10mq/m^3 olmalıdır. Ciyərə keçə bilən tozlar A-tozu olub, 10mkm- ə qədər ölçüdə olan narın toz olub, onların mühitdə maksimal miqdarı 3mq/m^3 olmalıdır. Qaynaq tüstüsünün tərkibi A-tozlarına aid olub, onun miqdarı qaynaqçının nəfəsalma sahəsində ≤3mq/m^3 olur (məsələn, qaynaqçının qoruyucu maskasının arxasında ölçülüb).

Tozun ümumi sərhəd qiymətini norma daxilində saxladıqda sağlamlığa zərər verməyə bilər və bu norma aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 16.5. İş yerində elementlərin maksimal konsentrasiyası.

Maddə	**İş yerində elementin maksimal miqdarı**	
	ml/m^3 (ppm)	**mq/m^3**
Al_2O_3		6
Sb		0.5
Pb		0.1
CaO		5
$COCl_2$		0.4
FeO, Fe_2O_3		6
F_2	0.1	0.2
CO_2	5000	9000
CO	30	33
Cu, tüstü		0.1
Cu, toz		1
MgO		6
Mn		5
O_3	0.1	0.2
Propan	1000	1800
Ag		0.01

NO_2	5	9
TiO_2		6
ZnO		5
Qalayın birləşməsi, üzvi		2
Qalay birləşməsi, qeyri üzvi		0.1

İnsanda xərçəng və irsi xəstəliklər yarada bilən maddələr aşağıdakı cədvəldə verilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, qaydalara əməl etdikdə belə qeyd olunan təhlükə riski qalır və təhlükəli maddədən işləməkdən imtina edərək proseslərin avtomatlaşdırılmasına cəhd etmək lazımdır.

Cədvəl 16.6. Xərçəng və irsi xəstəliklər yarada biləcək maddələrin texniki hesabat konsentrasiyaları.

İşçi maddə	Texniki hesabat konsentrasiyası
Berillium və Be- birləşmələri	0.002...0.005
Kadmium və Cd- birləşmələri	0.015...0.03
Kalsium xromat	0.1
Xrom-III-xromat (Cr-VI-birləşməsi)	0.05
Kobalt və Co-birləşmələri	0.1...0.5
Ni və Ni- birləşmələri	0.05...0.5
Sink xromat	0.1

İş yerində səs-küyün səviyyəsi >85dB olduqda, ağır eşitmə və anlama təhlükəsi yaranır və səs-küyün səviyyəsi >90dB olduqda, səs-küydən qorunmaq lazımdır. Belə ki, danışanı başa düşmə səviyyəsində

qulaqlıqlardan istifadə olunmalı və işlə bağlı müntəzəm tibbi tədqiqat aparılmalıdır.

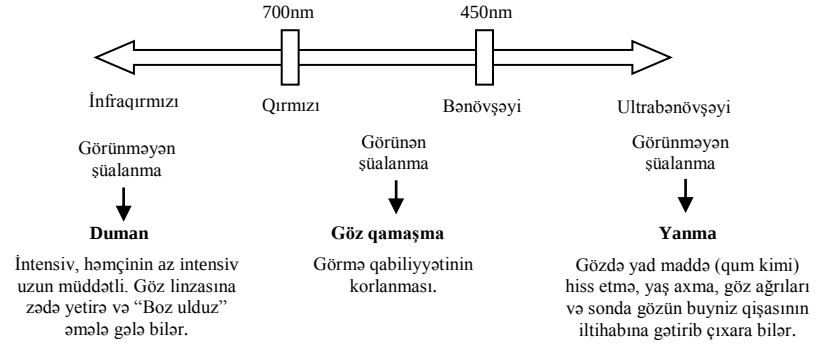
Cədvəl 16.7. Müxtəlif sahələrdə səs-küyün səviyyəsi.

Səs-küyün mənbəyi	**Səs-küyün səviyyəsi, *dB***
Reaktiv mühərrik	120...130
Odun doğrayan motorlu mişar Elektrik qövsü ilə qaynaq	110...120
Diskotek Əl pardaq maşını Plazma üsulu ilə kəsmə Plazma üsulu ilə qaynaq	100...110
Qabaqcadan qızdırma (14-20mm) Yandırıb kəsmə (20-30mm)	90...100
Çubuq şəkilli elektrodla kəsmə	80...90
Adi toz sovuran Qaz qaynağı	70...80

Şüalanmadan yaranan təhlükələr və onların xarakteristikalarına aiddir:

- elektrik qövsü, qaynaq alovu və qaynaq vannasından yayılan görünən və görünməyən şüalar;
- gözün zədələnməsi mümkünlüyü dalğa uzunluğundan asılıdır;
- ultrabənövşəyi şüalanmanın təsirindən göz və dəri yana bilər (buna “günəş yandırması” da deyirlər).

Aşağıdakı şəkildə optik şüaların dalğa uzunluğundan asılı olaraq, yaratdığı təhlükələr təqdim olunmuşdur.



Şəkil 16.4. Optik şüaların dalğa uzunluğundan asılı olaraq, yarana biləcək təhlükələr.

Ədəbiyyat

1. Şirzadov F.M. “Mexanika mühəndisliyi” ixtisası (proqramı) üzrə magistr hazırlığı üçün “Maşınların etibarlılığının texnoloji təminatı” fənninin proqramı. AzTU- nun mətbəəsi, Bakı 2015. 15 səh.
2. Czichos H., Habig K. H. Tribologie-Handbuch. Reibung und Verschleiß; System-Analyse, Prüftechnik, Werkstoffe und Konstruktionselemente. Braunschweig; Wisbaden: Vieweg, 2001. 562 S.
3. А. И. Садыхов. Повышение износостойкости и восстановление деталей прецизионных пар. Баку - ЭЛМ – 2001. 148 с.
4. A.N. Tağızadə. Maşın hissələrinin bərpa olunması və yeyilməyə davamlılığının artırılmasının texnoloji metodları. “Təhsil” NPM nəşriyyatı, 2003. 150s.
5. Brendel H. Wissensspeicher Tribotechnik. Leipzig, 1988. 416 S.
6. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 2002. -300с.
7. Фролов К.В. Машиностроение, Энциклопедия. Том-3. Технология изготовления деталей машин. М.: Машиностроение 2000, 840с.
8. Чумаченко Ю.Т., Федорченко А.А. Кузовные работы. Легковой автомобиль. Издательство: Феникс 2005, 251с.
9. Ə.H. Sadıxov, P.A. Məmmədov, Ə.M. Hacıyev. Elektrofiziki və Elektrokimyəvi emal üsulları. Bakı, AzTU 2010. 305s.
10. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей. М: Колос, 1981, 351с.
11. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Конструирование, Изяотовление и эксплуатация машин. -М.:Издельство МСХА, 2002. 632с.

12. И. М. Жарский, И.М. Баршай и др. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин. Минск, "Вышэйшая Школа" 2005, 229 с.
13. Жуков Е.Л. Технология машиностроения. -М.: 2003. - 295с.
14. Иванович П.Ф. Восстановление деталей машин. М.: Машиностроение. 2003, 667 с.
15. Иванов А. Ф.. Гальванотехника для мастеров. М.: Металлургия, 1990. 208 с.
16. Ильин М.С. Кузовные работы. Рихтовка, сварка, покраска, антикоррозийная обработка. Современная школа 2009, 480 с.
17. Лащенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. Киев, Экотехнология -2003. 64 с.
18. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. -М.: Машиностроение, 1987, 328с.
19. Пенкин Н.С. Основы трибологии и триботехники. М.:Машиностроение, 2008. 206 с.
20. Д.Н. Решетов. Работоспособность и надежность деталей машин. Москва "Высшая Школа" 1974, 206 с.
21. Pigors Oltwig. Werkstoffe in der Tribotechnik. Reibung, Schmierung und Verschleißbeständigkeit von Werkstoffen und Bauteilen. Deutsche Verlag 1993, 546 S.
22. Lutz Dorn. Fügen und thermisches Trennen, Expert Verlag 1984. 263 S.
23. Lutz Dorn, Johannes Wilden. Vorlesungen. Füge- und Beschichtungstechnik, TU Berlin. 2010.
24. Gabriele Nutsch. Grundlagen der Oberflächentechnik. Physikalische Verfahren. Kurzfassung der Vorlesungen. 2010.
25. Klaus-Peter Mueller. Praktische Oberflächentechnik. Vorbehandeln, Beschichten, Fügen. Wieveg 1999. 560 S.

26. J. Eichler, H.J. Eichler. Laser. Bauformen, Strahlführung, Anwendungen. Springer 2003. 455 S.
27. Böhme Herrmann. Handbuch der Schweißverfahren. Teil I und Teil II, Düsseldorf 1992. 320 S.
28. Jobst H. Kerspe. Aufgaben und Verfahren in der Oberflächenbehandlung. Expert Verlag 2000. 348 S.
29. Killing, Robert. Handbuch der Schweißverfahren, Teil 1, Düsseldorf- 1991. 224 S.
30. Sindo Kou. Welding Metallurgy. Wiley-Interscience 2003. 480 p.
31. Lichtbogen Schweißtechnik. Schweißverfahren, Energiequellen, Zusatzwerkstoffe. Die Bibliothek der Technik 57. Verlag Moderne Industrie 1992. 70 S.
32. Marfels Orth. Der Lichtbogenschweißer. DVS Verlag, Düsseldorf 2006. 109 S.
33. Reinhart Poprawe. Lasertechnik für die Vertigung. Springer 2005. 526 S.
34. F.Q. Əmirov. Təmirdə tətbiq edilən termiki və kimyəvi termiki emallar. Bakı, AzTU 2002. 42s.
35. Shirzadov F.M. Erhöhung der Verschleißbeständigkeit von Ventiltrieb-Werkstoffpaarungen mittels unterschiedlicher Randschichtmodifikationen.Dissertation.Berlin 2012. 178 S.

Mündəricat

Giriş.....4

1. Maşınların etibarlılığı, etibarlılığa təsir edən amillər və etibarlılığın təminatı.....7
1.1. Etibarlılıq anlayışı və etibarlılıq göstəriciləri.....7
1.2. Ehtimal nəzəriyyəsinə əsasən etibarlılığın qiymətləndirilməsi.....12
1.3. Qəfləti imtina.....16
1.4. Tədrici imtina.....17
1.5. Bərpa olunan məmulun etibarlılığı.....23
1.6. Rezervli sistemin etibarlılığı.....25
1.7. Maşınların etibarlılığının yüksəldilməsi üsulları.....27
2. Tribotexniki materiallar və səthin emalı texnologiyası.....29
2.1. Materialın seçilməsində sistem metodu.....29
2.2. Materiala ümumi texnoloji tələblər.....31
2.3. Yeyilmə və yeyilmənin azaldılması tədbirləri....34
2.4. Səth təbəqəsi və səthin emalı texnologiyaları....40
3. Yüksək tezlikli cərəyanın tətbiqi ilə detalların emalı texnologiyası.....45
3.1. Yüksək tezlikli cərəyanın tətbiqi ilə detalların emalının aktuallığı.....45
3.2. Yüksək tezlikli cərəyanla materialların emalı fizikası.....46

3.3. Yüksək tezlikli cərəyanla materialın emalına metallurji baxış.....49
3.4. Yüksək tezlikli cərəyanla materialın emal texnologiyası.....50
4. Elektrokimyəvi örtükçəkmə texnologiyası.....55
4.1. Üsulun prinsipi və texnologiyası.....55
4.2. Səthin örtükçəkmə üçün hazırlanması.....57
4.3. Kimyəvi üsulla səthə örtükçökdürmə.....59
4.4. Elektroliz üsulu ilə səthə örtükçəkmə.....63
5. Yastıqlarda tətbiq olunan antifriksion örtüklər və bişirmə texnologiyası.....72
6. Səthə funksional təbəqənin lehimlənməsi.....78
7. Səthə mina təbəqəsinin çəkilməsi.....83
7.1. Mina təbəqəsinin alınma prinsipi, xüsusiyyətləri və tətbiq sahəsi.....83
7.2. Mina təbəqəsi üçün xammalın hazırlanması.....85
7.3. Səthə mina təbəqəsinin çəkilməsi üsulları.....87
7.4. Səthə çəkilmiş mina təbəqəsinin qurudulması /yandırılması.....88
8. Mayeyə batırmaqla səthə örtükçəkmə.....91
8.1. Əməliyyatın prinsipi, tələblər və tətbiq sahələri.....91
8.2. Mayeyə batırmaqla səthə alüminium örtüklərin çəkilməsi.....95
8.3. Mayeyə batırmaqla səthə sink örtüklərin çəkilməsi.....102
8.4. Mayeyə batırmaqla səthə qalay örtüyün çəkilməsi.....112

8.5. Mayeyə batırmaqla səthə qurğuşun örtüyün çəkilməsi.....115
9. Elektron şüası ilə materialların emalı.....118
10. Lazerlə emalı texnologiyası.....123
11. Termomexaniki püskürtmə texnologiyası.....131
11.1. Üsulun prinsipi, təsnifi və tətbiq sahələri.....131
11.2. Səthin keyfiyyətinə təsir edən amillər və örtük materialları.....135
11.3. Səthin örtükçəkməyə hazırlanması.....143
11.4. Püskürdülmüş sətin növbəti emalı.....147
12. Boyama texnologiyası və boyanın xüsusiyyətləri.....149
12.1. Boyaların tətbiqinin aktuallığı.....149
12.2. Boyanın tərkibi və bəzi xüsusiyyətləri.....150
12.3. Boyama əməliyyatına hazırlıq.....155
12.4. Boyanı qurutma mərhələləri və üsulları.....156
12.5. Boyama zamanı prosesə nəzarət və keyfiyyətin təmin.....157
12.6. Boyamada nano-texnologiyanın tətbiqi.....159
13. Kimyəvi buxar çökdürmə (CVD) üsulu ilə səthə örtüklərin çəkilməsi.....162
13.1. Kimyəvi buxar çökdürmə texnologiyası və üsulun tətbiqinin aktuallığı.....162
13.2. Səthə örtükçəkmədə baş verən kimyəvi reaksiyalar.....164
13.3. CVD örtüklərinin xüsusiyyətləri.....166
13.4. CVD üsulları. Adi CVD üsulu.....174
13.5. Plazmanın tətbiqi ilə CVD üsulları.....175
13.6. Hot-filament CVD üsulu.....177

14. Fiziki buxar çökdürmə (PVD) üsulu ilə səthə örtüklərin çəkilməsi.....178
14.1. Fiziki buxar çökdürmə üsulunun iş prinsipi...178
14.2. PVD üsulunun tətbiqi potensialı.....180
14.3. PVD örtükçəkmə üsulları.....182
14.3.1. Səthə buxarlandırmaqla örtükçökdürmə.....182
14.3.2. PVD- sputtering (tozlandırma) üsulu ilə səthə çökdürmə.....189
14.3.3. İonla səthə örtükçəkmə.....191
14.4. PVD üsullarının tətbiq sahələri və tribotexniki xüsusiyyətləri.....193

15. Birləşdirmə və örtükçəkmə texnoloji əməliyyatlarının mexanikləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması.....199

16. Birləşdirmə və örtükçəkmə texnoloji əməliyyatlarında əməyin mühafizəsi.....202

Ədəbiyyat.....213

Dosent, t.f.d. (Dr.-İng.) Fərhad Məhəmməd oğlu Şirzadov

MAŞINLARIN ETİBARLILIĞININ TEXNOLOJİ TƏMİNATI

(Dərs vəsaiti)

Çapa imzalanıb 27.01.2018- ci il

Sayı 200. Formatı 60×84 1/16.

Əla növ kağız

AzTU- nun mətbəəsi. H. Cavid pr. 25.

Tel: (+12) 539-14-52

E-mail: aztumetbee@yahoo.com

F.M. Şirzadov Maşınların etibarlılığının texnoloji təminatı