

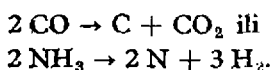
3. TERMO-HEMIJSKA OBRADA

Termo-hemijska obrada zasniva se na difuzionom zasićavanju površinskih slojeva predmeta izrađenih od ugljeničnih i legiranih čelika elementima: ugljenikom, azotom, hromom, silicijumom, aluminijumom, borom, sumporom i drugim. Pri ovoj vrsti obrade mijenja se hemijski sastav i struktura površinskog sloja pod uticajem sredine u kojoj se predmet nalazi, i temperature.

Predmeti pri termohemijskoj obradi su smješteni u sredinu koja je bogata elementom koji difuzijom prodire u površinske slojeve. Zavisno od agregatnog stanja sredine, razlikujemo termo-hemijsku obradu u čvrstoj, tečnoj i gasovitoj sredini.

Pri termo-hemijskoj obradi ostvaruju se tri procesa, i to: *disocijacija*, *apsorpcija* i *difuzija*.

Pri disocijaciji dolazi, na povišenim temperaturama, do raspadanja molekula i nastanka aktivnih atoma elementa koji difuzijom prodiru u površinu, na primjer:



Nastali aktivni atomi elemenata (C, N i dr.), u dodiru sa metalnom površinom, bivaju apsorbovani (upijeni) u površinski sloj. Apsorbovani atomi se ne zadržavaju u površinskom sloju, već difuzijom prodiru dublje u materijal. Da bi difuzija mogla da se obavi za što kraće vrijeme, potrebno je da apsorbovani elemenat sa metalnom površinom gradi čvrsti rastvor. Brzina nastanka sloja sa izmijenjenim hemijskim sastavom zavisi od navedena tri procesa. Sa povišenjem temperature sva tri procesa se ubrzavaju, a time raste brzina nastanka sloja sa izmijenjenim hemijskim sastavom.

3.1. CEMENTACIJA

Pod cementacijom podrazumijevamo žarenje ugljeničnih čelika sa sadržajem ugljenika od 0,05 do 0,2% na temperaturama od 850 do 1000°C u sredinama bogatim ugljenikom. Kao rezultat žarenja dobijamo površinski sloj obogaćen ugljenikom. Proces cementacije zasnovan je na sposobnosti rastvaranja ugljenika u γ željezu. Zbog toga proces se najčešće obavlja na temperaturama iznad A_{c3} , tj. u području austenita, kada željezo može da rastvori i do 2% ugljenika.

Sa povećanjem temperature brzina cementacije raste, ali se dobija sloj slabijih osobina. Lošije osobine nastaju zbog povećanja veličine zrna auste-

nita (krupnozrnasta struktura, koja je krta) i povećanja deformacija predmeta. Cementacija na temperaturama ispod A_{c3} se rijetko izvodi zbog smanjene rastvorljivosti ugljenika i pojave tanke i krte cementitne kore, koja otežava dalje prodiranje ugljenika u površinski sloj.

Dubina cementacionog sloja zavisi od: temperature, vremena žarenja, vrste sredstava za cementaciju i sastava materijala.

Najvažniji faktori su temperatura i vrijeme. U tabeli 3.1. dati su podaci o dubini cementacionog sloja zavisno od temperature i vremena žarenja za ugljenični čelik u čvrstom sredstvu za cementaciju.

Tabela 3.1.

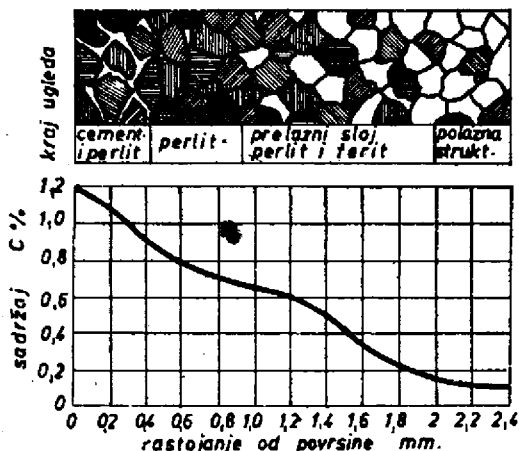
Dubina cementacionog sloja

Vrijeme (h)		1	5	10	30	60	
Temperatura °C	850	0,4	0,8	1,2	1,5	2,5	Dubina cementacionog sloja (mm)
	900	0,6	1,2	1,5	2,5	4,5	

Iz tabele se vidi da istu dubinu cementacionog sloja možemo postići na temperaturi od 900°C za 5 časova ili na temperaturi od 850°C za 10 časova. Ekonomičnost je sigurno veća kada se ista dubina dobije za kraće vrijeme, ali kvaliteti dobijenih slojeva su različiti. Na višim temperaturama dolazi do povećanja zrna i koncentracije ugljenika usljed povećane rastvorljivosti na povišenim temperaturama.

Dubina prodiranja ugljenika zavisi i od vrste legirajućih elemenata i njihove količine. Veću dubinu prodiranja ugljenika omogućavaju Mn, Ti, Cr, Co i V, dok elementi W, Ni, Al, Cu, smanjuju dubinu prodiranja ugljenika.

Debljina cementacionog sloja se obično kreće u granicama od 0,5 do 2 mm. Rijetko kada je ta dubina manja od 0,5 ili veća od 2 mm. Po završetku cementacije dobijamo jednu vrstu složenog materijala, koja se sastoji od jezgra,



Slika 3.1. Struktura cementacionog sloja i sadržaj ugljenika na različitim rastojanjima od površine

sa niskim sadržajem ugljenika i površinskog sloja sa visokim sadržajem ugljenika. Sadržaj ugljenika u površinskom sloju obično se kreće u granicama od 0,9 do 1%.

Cementacioni sloj se sastoji od tri zone, i to: nadeutektoidne, eutektoidne i podeutektoidne (slika 3.1).

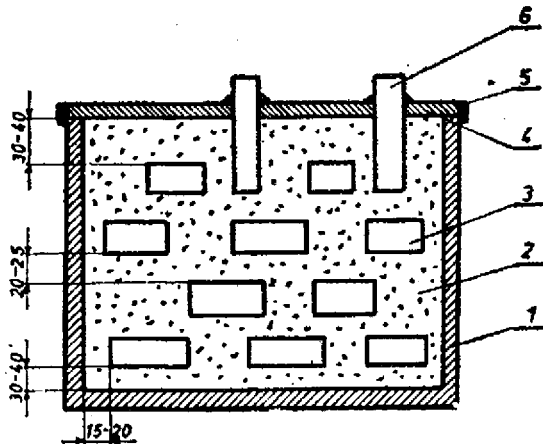
Nadeutektoidna zona se nalazi neposredno uz površinu, čija se struktura sastoji od perlita i cementita. Na ovu zonu nadovezuje se eutektoidna zona, čija se struktura sastoji od perlita. Prelazna zona između osnovnog materijala i eutektoidnog sloja je podeutektoidna zona sa strukturom koja se sastoji od perlita i ferita. Idući prema dubini, količina perlita se smanjuje, a povećava količina ferita.

Prema agregatnom stanju sredstva za cementaciju razlikujemo:

- cementaciju u čvrstom sredstvu,
- cementaciju u tečnoj sredini, i
- cementaciju u gasovitoj sredini.

3.1.1. Cementacija u čvrstom sredstvu

Cementacija u čvrstom sredstvu je najstariji metod termo-hemijske obrade. Pri ovoj vrsti hemijsko-termičke obrade očišćeni i pripremljeni predmeti se pakuju u posebne sanduke skupa sa praškom za cementaciju (slika 3.2).



Slika 3.2. Cementacija u čvrstom sredstvu

Upakovani predmeti poklapaju se poklopcem (4) koji se zamazuje glinom ili šamotnim malterom (5) da bi se spriječio pristup vazduha u sanduk. Obično se kroz poklopac postavljaju probni komadi (6), koji su od istog materijala kao i predmeti, a služe za kontrolu cementacije.

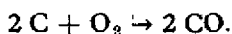
Ovako pripremljeni sanduci se stavljaju u peći gdje se zagrijavaju do temperature cementacije od 930 do 950°C. Zagrijavanje se obavlja u dvije faze. U prvoj fazi predmeti se veoma lagano zagrijavaju u peći na temperaturu 600 do 700 °C. U drugoj fazi predmeti se brže zagrijavaju do temperature cementacije.

Sredstvo za cementaciju se sastoji od praha drvenog uglja, kome se dodaju karbonati (CaCO_3 , K_2CO_3 , BaCO_3), koks u prahu i rožnate materije. Čvrsta sredstva za cementaciju se mogu koristiti više puta, ali se uvijek moraju osvježiti sa 15 do 20% novog drvenog uglja i 4 do 5% karbonata. U tabeli 3.2. dati su sastavi praška za cementaciju. Najpogodnije vrste drvenog uglja su od breze ili lipe.

Tabela 3.2. Sredstvo za cementaciju

Red. broj	Sastav	Količina u (%)
1.	Drveni ugalj Na_2CO_3	85 — 90 10 — 15
2.	Drveni ugalj BaCO_3 Na_2CO_3 Brašno Mazut	74 — 78 12 — 15 1 — 2 3 — 4 4 — 5
3.	Drveni ugalj Koks kamen. uglja BaCO_3 Na_2CO_3 Brašno Potaša	60 — 65 20 — 25 6 — 8 3 — 4 2 — 3 4 — 5
4.	Drveni ugalj BaCO_3 Na_2CO_3	85 — 90 5 — 8 5 — 8

Prilikom zagrijavanja u peći na višim temperaturama kiseonik iz vazduha, zaostao prilikom pakovanja dijelova, reaguje sa ugljenikom, pri čemu nastaje ugljen-monoksid (CO), tj.:



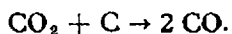
Nastali ugljen-monoksid u dodiru sa čelikom razlaže se na ugljen-dioksid (CO_2) i ugljenik u atomarnom obliku, tj.:



Nastali ugljenik (C) u atomarnom obliku biva apsorbovan u površinu predmeta i difuzijom prodire dalje u dubinu. Karbonati koji se dodaju drvenom uglju imaju ulogu aktivatora procesa oslobađanja ugljenika u atomarnom obliku. Na povišenim temperaturama karbonati se razlažu i izdvajaju ugljen-dioksid, na primjer:



Nastali ugljen-dioksid (CO_2) reaguje sa ugljenikom, pri čemu nastaje ugljen-monoksid, tj.:



Sredstvo za cementaciju se sastoji od praha drvenog uglja, kome se dodaju karbonati (CaCO_3 , K_2CO_3 , BaCO_3), koks u prahu i rožnate materije. Čvrsta sredstva za cementaciju se mogu koristiti više puta, ali se uvijek moraju osvježiti sa 15 do 20% novog drvenog uglja i 4 do 5% karbonata. U tabeli 3.2. dati su sastavi praška za cementaciju. Najpogodnije vrste drvenog uglja su od breze ili lipe.

Tabela 3.2. Sredstvo za cementaciju

Red. broj	Sastav	Količina u (%)
1.	Drveni uglj Na_2CO_3	85 – 90 10 – 15
2.	Drveni uglj BaCO_3 Na_2CO_3 Brašno Mazut	74 – 78 12 – 15 1 – 2 3 – 4 4 – 5
3.	Drveni uglj Koks kamen. uglja BaCO_3 Na_2CO_3 Brašno Potaša	60 – 65 20 – 25 6 – 8 3 – 4 2 – 3 4 – 5
4.	Drveni uglj BaCO_3 Na_2CO_3	85 – 90 5 – 8 5 – 8

Prilikom zagrijavanja u peći na višim temperaturama kiseonik iz vazduha, zaostao prilikom pakovanja dijelova, reaguje sa ugljenikom, pri čemu nastaje ugljen-monoksid (CO), tj.:



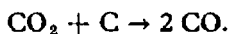
Nastali ugljen-monoksid u dodiru sa čelikom razlaže se na ugljen-dioksid (CO_2) i ugljenik u atomarnom obliku, tj.:



Nastali ugljenik (C) u atomarnom obliku biva apsorbovan u površinu predmeta i difuzijom prodire dalje u dubinu. Karbonati koji se dodaju drvenom uglju imaju ulogu aktivatora procesa oslobađanja ugljenika u atomarnom obliku. Na povišenim temperaturama karbonati se razlažu i izdvajaju ugljen-dioksid, na primjer:



Nastali ugljen-dioksid (CO_2) reaguje sa ugljenikom, pri čemu nastaje ugljen-monoksid, tj.:



Ugljen-monoksid u dodiru sa površinom predmeta razlaže se na ugljen-dioksid i ugljenik u atomarnom obliku, koji apsorbuje površina predmeta:



Pomoću aktivatora, proces naugljenisavanja površine se ubrzava.

Vrijeme trajanja cementacije određuje se prema potrebnoj dubini prodiranja ugljenika u površinski sloj. Obično se kreće u granicama od 8 do 12 časova.

Po završetku cementacije hlađenje predmeta se vrši lagano na vazduhu s tim da se sanduci ne otvaraju.

Poslije završene cementacije, da bismo dobili potrebnu tvrdoću cementacionog sloja, vršimo kaljenje sa otpuštanjem.

Osnovni nedostaci procesa cementacije u čvrstom sredstvu su: visoka cijena, koštanja, veliki gubici toplote potrebni za progrijavanje sredstva za cementaciju, dugo vrijeme cementacije, teškoće u regulisanju procesa, nemogućnost neposrednog kaljenja poslije cementacije, prezasićenje površine sa ugljenikom prilikom cementacije na veću dubinu itd.

3.1.2. Cementacija u tečnom sredstvu

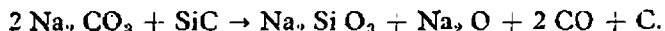
Cementacija u tečnoj sredini se ostvaruje u specijalnim kadama u kojima se nalaze rastopljene soli koje imaju nisku tačku topljenja. Primjenjuje se kod cementacije dijelova malih dimenzija (osovinice, prstenovi, zavrtnjevi, mali zupčanici itd.), kod kojih je dubina cementacije mala — od 0,2 do 0,3 mm.

Preimućstva cementacije u tečnom sredstvu su: kratkoća procesa cementacije, koja je uslovljena brzim zagrijavanjem u kadi i visokom aktivnošću komponenata koje sudjeluju u procesu cementacije. Dubina cementacije može se lako regulisati kao i mogućnost neposrednog kaljenja poslije cementacije, što daje čistu površinu predmeta itd. Glavni nedostaci su: nemogućnost cementacije dijelova srednjih i velikih dimenzija, što zahtijeva posebnu opremu i zaštitu radnika, brzo smanjivanje aktivnog ugljenika u kadi, a to uslovljava često obnavljanje soli.

U industriji se najčešće koriste mješavine soli sastavljene od tri ili četiri komponente. Pri cementaciji na male dubine (0,2 do 0,3 mm) uzimaju se soli sa tri komponente. Najčešću primjenu ima mješavina soli sastavljena od 83 do 84% Na_2CO_3 , 8 do 10% NaCl i 7 do 8% SiC . Silicijum karbid (SiC) služi kao osnovni izvor dobijanja ugljenika u atomarnom obliku koji je sposoban da prodire u površinu.

Cementacija u tečnom sredstvu se obavlja na temperaturama od 840 do 860°C. Da bismo dobili dubinu cementacionog sloja od 0,25 mm, potrebno je oko 50 do 60 minuta.

U kadi na temperaturama cementacije dešava se sljedeća reakcija:



Oslobođeni ugljenik u atomarnom stanju biva apsorbovan u površinu čeličnog predmeta i difuzijom prodire dalje u dubinu, dok šljaka sastavljena od $\text{Na}_2 \text{SiO}_3$ i $\text{Na}_2 \text{O}$ ispliva na površinu, odakle se uklanja, ali ne potpuno.

Ostavljeni dio šljake stvara na površini tanki pokrivač, koji sprečava isparavanja i oksidaciju. U toku procesa cementacije potrebno je stalno obnavljati sastav soli.

Za dobijanje veće dubine cementacionog sloja uzimaju se soli sastavljene od četiri komponente, najčešće mješavina soli koja se sastoji od 78 do 81% Na_2CO_3 , 5 do 6% NaCl , 8 do 6% SiC i 8 do 7% NH_4Cl . Tanki oksidni sloj, koji se nalazi na površini predmeta, reaguje na NH_4Cl i stvara veoma čistu površinu i na taj način omogućava veću brzinu difuzije. Osim toga, dolazi i do oslobađanja azota u atomskom obliku koji takođe prodire u površinu i povećava brzinu difuzije ugljenika.

Ispitivanja su pokazala da pri temperaturama cementacije od 850 do 870 °C srednja brzina prodiranja ugljenika u površinski sloj sa primjenom trokomponentne soli iznosi oko 0,25 do 0,35 mm/h, a za četverokomponentne soli oko 0,45 do 0,55 mm/h.

Po završetku cementacije u tečnoj sredini predmeti se odmah kale, a zatim otpuštaju.

3.1.3. Cementacija u gasovitom sredstvu

Ova vrsta cementacije se obavlja u gasovitoj sredini koja je sposobna da oslobodi ugljenik u atomarnom obliku. Gasna cementacija ima niz preimućstava u odnosu na cementaciju u čvrstoj sredini. Postupak je znatno ekonomičniji i traje kraće vrijeme. Priprema materijala za cementaciju je takođe kratka, a vrijeme zagrijavanja do temperature cementacije je takođe kratko. Pri gasnoj cementaciji moguće je regulisati dubinu cementacionog sloja, a takođe i sadržaj ugljenika. Deformacije predmeta se smanjuju usljed ravnomjernijeg zagrijavanja do temperature cementacije. Poslije gasne cementacije moguće je predmete kaliti odmah, što umanjuje cijenu koštanja ovog postupka.

Ovaj postupak ima i nedostataka: zahtijeva složeniju i skuplju opremu, kvalifikovaniju radnu snagu, složeniju eksploataciju, ravnomjernu cirkulaciju gasova i složeniju higijensko-tehničku zaštitu.

Gasna cementacija ima veliku primjenu pri masovnoj i serijskoj proizvodnji, a takođe i u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji i postepeno potiskuje cementaciju u čvrstom sredstvu.

Pri gasovitoj cementaciji koriste se dvije vrste sredstava, i to: tečna i gasovita. Tečna sredstva se uvode u peć za cementaciju i pod uticajem visoke temperature se brzo isparavaju, ili se prethodno, u specijalnom uređaju, prevode u gasovito stanje i uvode u peć. Prema tome, nezavisno od vrste polaznog sredstva za cementaciju, cementacija se obavlja u gasovitoj sredini. Gasovi u kojima se obavlja gasna cementacija sadrže ugljenik (CO , CH_4 itd.) i gasove koji ne sadrže ugljenik.

Osnovni gas koji se upotrebljava pri gasnoj cementaciji je metan (CH_4), čiji se sadržaj kreće i do 40%. Na drugo mjesto dolazi ugljen-monoksid (CO) sa sadržajem do 30%. Osim toga, ima mali sadržaj kiseonika (O) i ugljen-dioksida (CO_2), čija ukupna suma ne prelazi 2 do 3%. Gas sadrži veoma velik procenat vodonika (H_2) i do 80%, koji je nastao raspadanjem ugljovodonika.

U procesu gasne cementacije pri razlaganju ugljovodonika nastaje čađ i smola što otežava rad.

Gasovi uvedeni u peć pod pritiskom od 6,5 do 13,5 kPa pri visokim temperaturama od 900 do 1000 °C, raspadaju se na sastavne dijelove, tj.:



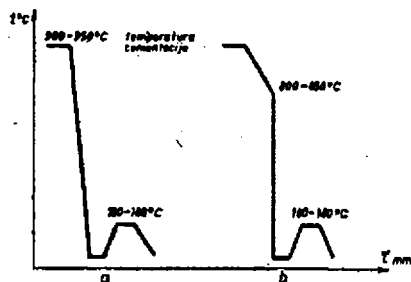
Oslobođeni ugljenik u atomarnom stanju biva apsorbovan na površini čeličnih predmeta.

Predmeti pripremljeni za cementaciju raspoređuju se u korpe i tako unose u peć. Peć se zagrijava do temperature cementacije uz uvođenje sredstva za cementaciju. Srednja brzina cementacije pri temperaturama od 930 do 950 °C kreće se u granicama od 0,1 do 0,12 mm/h.

3.1.4. Termička obrada po završetku cementacije

Poslije završetka cementacije, da bismo dobili visoku tvrdoću cementacionog sloja, obavezno vršimo kombinovanu termičku obradu, koja se sastoji od kaljenja i otpuštanja. Predmeti cementovani bilo u čvrstom, tečnom ili gasovitom sredstvu imaju nehomogen sastav, strukturu i svojstva. Jezgro ima strukturu, koja se sastoji od ferita i perlita (sa 0,05 do 0,2% C) dok, idući ka površini, procenat ugljenika raste čak i preko 1%.

Kakvu ćemo vrstu termičke obrade izvesti, zavisi od hemijskog sastava čelika i odnosa tvrdoće površinskog sloja, žilavosti jezgra i važnosti predmeta u konstrukciji.



Slika 3.3. Termička obrada neposredno poslije cementacije

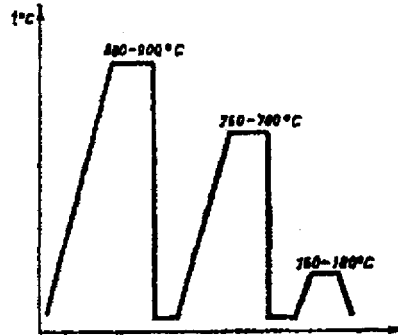
Najjednostavniji način termičke obrade je kaljenje — odmah poslije cementacije (slika 3.3). Može se koristiti samo poslije cementacije u tečnoj i gasovitoj sredini i za predmete od manje važnosti i manje napregnute u konstrukcijama. Predmeti poslije cementacije hlade se u vodi, ulju ili nekom drugom sredstvu, čime se dobije velika tvrdoća površinskog sloja sa martenzitnom strukturom, dok jezgro ima pretežno feritni sastav sa malo perlita. Poslije ovakvog kaljenja struktura je krupnozrnasta i krta zbog toga

što je površinski sloj sa oko 0,9% C pregrijan i dugo žaren na visokim temperaturama, pa je austenitno zrno postalo veoma grubo.

Poslije kaljenja neophodno je izvršiti otpuštanje na temperaturi od 160 do 180 °C u trajanju od 1 do 2 sata da bi se djelimično odstranila unutrašnja naprezanja.

Pošto se kaljenje vrši sa vrlo visokih temperatura, koje su znatno više od temperatura kaljenja površinskog sloja, postoje veće mogućnosti za de-

formacije i krivljenje predmeta. Da bi se to smanjilo, vršimo lagano hlađenje — do temperature od 800 do 850 °C, a zatim se vrši kaljenje u vodi, ulju ili nekom drugom rashladnom sredstvu i naknadno otpuštanje na temperaturama od 160 do 180 °C — u trajanju od 1 do 2 sata (slika 3.3). Ovakva vrsta termičke obrade, odmah poslije cementacije, može se koristiti kod čelika koji imaju prirodno sitnozrnastu strukturu. Kod čelika koji po prirodi imaju krupnozrnastu strukturu, koja se pri dugom žarenju kod cementacije još više ukрупnjuje, ovakav način termičke obrade nije povoljan. Da bismo uništili krupnozrnastu, a dobili sitnozrnastu strukturu, izvodimo dvojno kaljenje i otpuštanje. Dijelovi poslije cementacije u čvrstom sredstvu se hlade polagano do sobne temperature, a zatim se ponovo zagrijavaju do temperature koja odgovara temperaturi kaljenja jezgra, tj. oko 880 do 900 °C, a zatim se vrši normalizovanje (hlađenje na vazduhu) slika 3.4. Kao rezultat ovog postupka dobijamo sitnozrnastu strukturu sredine. Pošto je temperatura 880 do 900 °C suviše visoka za površinski ugljenisani sloj, i pored normalizacije, on ostaje krupnozrnast i krt. Da bismo i ovom sloju dali sitnozrnastu strukturu, poslije normalizacije vršimo ponovno zagrijavanje na temperaturu za 30 do 50 °C iznad kritične temperature koja odgovara površinskom sloju, tj. 760 do 780 °C. Pošto je ta temperatura daleko ispod kritične temperature koja odgovara jezgru, to ponovno zagrijavanje nema uticaja na veličinu zrna u jezgru predmeta. Na ovaj način površinski sloj dobija sitnozrnastu martenzitnu strukturu. Poslije kaljenja obavezno se izvodi otpuštanje na temperaturama od 160 do 180 °C. Kao rezultat ovakvog postupka dobijamo sitnozrnasto i žilavo jezgro, a sitnozrnastu i tvrdnu površinu.



Slika 3.4. Dijagram termičke obrade

Prilikom termičke obrade treba voditi računa o cementitnoj mrežici koja se pojavljuje u sloju materijala sa sadržajem ugljenika preko 0,8%.

Prisustvo cementitne mrežice u zakaljenom sloju izaziva krtost; cementitna mrežica se odstranjuje dovoljnim zadržavanjem predmeta na temperaturama normalizacije, sve dok se cementit ne rastvori u austenit.

3.1.5. Greške koje se javljaju pri cementaciji

U toku cementacije mogu se pojaviti greške koje dovode do neupotrebljivosti komada. Jedna od glavnih grešaka je prekomjerno naugljenisanje površinskog sloja. Ova greška se javlja pri upotrebi jakog sredstva za cementaciju i suviše visokih temperatura cementacije. Pri ovakvim uslovima stvara se cementacioni sloj sa sadržajem ugljenika, koji je znatno veći od eutektoidnog, čak i do 1,2%, što dovodi do izdvajanja cementita na granicama zrna i stvaranja cementitne mreže. Povećani sadržaj ugljenika dovodi do porasta zrna u cementitnom sloju i do krtosti. Poslije kaljenja dolazi do znatnih naprezanja unutar cementitnog sloja, što dovodi do stvaranja pukotina.

Prekomjerno naugljenisani površinski sloj može se popraviti žarenjem duže vrijeme na povišenim temperaturama, a cementitna mreža se uklanja normalizovanjem.

Česta greška pri cementaciji je neravnomjerna dubina cementacionog sloja. Pri jednakom vremenu cementacije dubina cementitnog sloja zavisi najviše od temperature. Različita dubina cementitnog sloja dobija se pri neravnomjernom zagrijavanju. Kod cementacije u čvrstom sredstvu ova greška je veoma česta, dok je kod cementacije u tečnoj i gasovitoj sredini — rijetka. Predmeti zapakovani u sredstvo za cementaciju neravnomjerno se zagrijavaju. Površine koje su bliže zidovima sanduka brže se zagrijavaju nego površine koje se nalaze u sredini sanduka. Usljed razlike u temperaturama dolazi do pojave različite dubine cementacije. Da bi se izbjegla ova greška, treba za cementaciju uzimati sanduke manjih dimenzija, kontrolisati sastav sredstva za cementaciju i ravnomjerno zagrijavati sanduke u peći.

Mala dubina cementacionog sloja je greška koja može nastati zbog jednog ili više uzroka: niža temperatura procesa cementacije, kraće vrijeme cementacije, poremećen režim dovođenja sredstva za cementaciju (kod cementacije u gasovitom sredstvu), slaba zaptivenost radnog prostora i prenatrpanost peći predmetima za cementaciju. Ova greška se može otkloniti ponovnom cementacijom.

Razugljenisanje površinskog sloja je greška koje može nastati u procesu cementacije ili pri hlađenju sanduka skupa sa predmetima. Ako sanduk ima na sebi pukotine, pregorjela mjesta ili je izvršeno slabo zaptivanje, postoji mogućnost da u sanduk prodru gasovi iz peći koji mogu izazvati oksidaciju i razugljenisanje površine predmeta.

Mali sadržaj ugljenika u cementacionom sloju je greška koja može nastati usljed tri uzroka: nedovoljne aktivnosti sredstava za cementaciju, neravnomjernog rasporeda aktivatora ($BaCO_3$) u sredstvu za cementaciju i narušenog temperaturnog režima procesa cementacije.

Pukotine u cementacionom sloju su greške koje se javljaju pri cementaciji predmeta izrađenih od legiranih čelika sa povećanim sadržajem hroma i nikla. Pukotine nastaju usljed zaostalih napona na istežanje pri laganom hlađenju predmeta u sanduku poslije izvršene cementacije. Pojavi pukotina naročito pogoduju prelazi sa manjeg na veći presjek, oštri uglovi, otvori, udubljenja i dr. Ako predmete ohladimo do temperature od $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, a zatim ih raspakujemo i odmah izvršimo otpuštanje na visokim temperaturama, pukotine se neće pojaviti.

3.1.6. Zaštita od cementacije i uređaji za izvođenje cementacije

Prije početka cementacije predmete treba dobro očistiti od prljavštine, masnoće, tragova korozije, a zatim pažljivo pregledati i samo ispravne komade podvrgnuti procesu cementacije. Površine koje nije potrebno cementovati — moramo zaštititi od cementacije.

U pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, kao i pri remontnim radovima, najjednostavniji način zaštite je ostavljanje dovoljnog dodatka za obradu, koji ćemo poslije cementacije na mašinama alatkama odstraniti. Veličina ovog dodatka mora biti za 1,5 do 2 puta veća od dubine cementacionog sloja.

Ovakav način zaštite površina od cementacije ne može se koristiti u krupno-serijskoj i masovnoj proizvodnji zbog gubitka vremena na dopunskoj obradi predviđenog dodatka i dosta velikog rasipanja materijala.

Najbolje rezultate zaštite od cementacije postizemo galvanskim prevlačenjem površina bakrom. Debljina sloja bakra je veoma mala i kreće se u granicama od 20 do 60 μm . Veće debljine se koriste kada se žele postići veće dubine cementitnog sloja. Ovaj način zaštite zahtijeva posebnu opremu i kvalifikovane radnike, kao i potreban prostor i može se koristiti u serijskoj i masovnoj proizvodnji. Zaštita površine na ovaj način postaje neefikasna ako se u sredstvu za cementaciju nalazi sumpor.

Dobru i sigurnu zaštitu od cementacije postizemo prevlačenjem površina tankim slojem aluminijuma debljine 0,3 do 0,5 mm. U procesu cementacije aluminijum se prevuče tankim slojem Al_2O_3 , koji ima visoku tvrdoću i teško se odstranjuje sa površine.

Prost, jeftin, ali i nedovoljno siguran način zaštite od cementacije je premazivanje površine pastama koje imaju različit sastav. Paste su obično u tečnom ili tjestastom stanju, a poslije nanošenja se suše. U periodu sušenja ili za vrijeme cementacije dolazi do stvaranja pukotina kroz koje prodire sredstvo za cementaciju. Debljina zaštitnog sloja se kreće u granicama od 2 do 3 mm. Sušenje se vrši na vazduhu ili u posebnim pećima.

Ako se na predmetu nalaze otvori koje nije potrebno cementirati, zaštićujemo ih. Male otvore zatvaramo čepovima izrađenim od bakra, a veće vatrostalnom glinom i slično.

Pripremljeni dijelovi, zavisno od izabranog postupka za cementaciju, stavljaju se u posebne peći, gdje se zagrijavaju do temperature cementacije sa područjem regulacije $\pm 15^\circ\text{C}$. Vrijeme trajanja cementacije zavisi od željene dubine cementacije.

Cementacija u čvrstom sredstvu. Predmeti upakovani u sredstvo za cementaciju u specijalnim sanducima i dobro zatvoreni ubacuju se u peći.

Najčešće se upotrebljavaju:

- komorne peći, koje se lože tečnim ili gasovitim gorivom i služe u pojedinačnoj i serijskoj proizvodnji,
- peći sa ognjištem na izvlačenje; lože se tečnim ili gasovitim gorivima i služe za cementaciju specijalnih dijelova,
- peći sa neprekidnim djejtvom; lože se tečnim ili gasovitim gorivima, a služe u serijskoj i masovnoj proizvodnji.

Cementacija u tečnom sredstvu: izvodi se u pećima sa sonim kupkama, koja se zagrijavaju tečnim i gasovitim gorivima ili električnom strujom — u pojedinačnoj i serijskoj proizvodnji.

Cementacija u gasovitom sredstvu: najčešće su peći:

- šahtne, mufolne i vertikalne, zagrijavane električnom energijom — za cementaciju dijelova u pojedinačnoj i serijskoj proizvodnji,
- peći sa neprekidnim djejtvom, zagrijavane tečnim i gasovitim sredstvima, za cementaciju dijelova pri masovnoj proizvodnji i
- retortne peći sa okretnom retortom — ložene tečnim i gasovitim gorivima; služe za cementaciju predmeta malih dimenzija.

3.2. NITRIRANJE

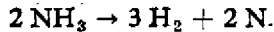
Nitriranje je postupak hemijsko-termičke obrade pri kojem se u površinski sloj mašinskih dijelova, izrađenih od čelika ili livenog gvožđa, putem difuzije, uvodi azot. Nitrirani površinski sloj daje predmetu posebne osobine, koje se odlikuju visokom tvrdoćom, koja se zadržava i na povišenim temperaturama, otpornošću na habanje i koroziju i povećanom dinamičkom čvrstoćom.

Ovakve osobine površinskog sloja određuju oblast primjene nitriranja. Nitriraju se košuljice cilindera i ventili motora sa unutrašnjim sagorijevanjem, vratila, vretena mašina alatki, zavojna vretena, elementi turbina, alati za obradu sa skidanjem strugotine i drugo.

Proces nitriranja se obavlja na relativno niskim temperaturama od 480 do 700 °C u sredini bogatoj azotom. Zavisno od agregatnog stanja, sredine u kojoj se vrši nitriranje razlikujemo:

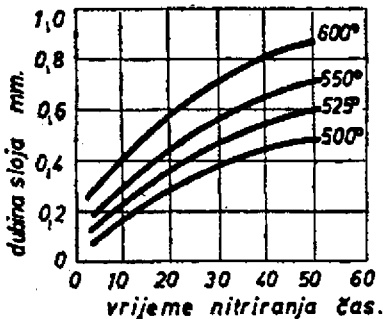
- nitriranje u gasovitoj sredini i
- nitriranje u tečnoj sredini.

Prilikom nitriranja u gasovitoj sredini u prostor peći gdje se vrši nitriranje kontinualno se dovodi gas amonijak (NH₃). Na povišenim temperaturama amonijak se raspada i oslobađa aktivne atome azota koji putem difuzije mogu prodirati u površinu:

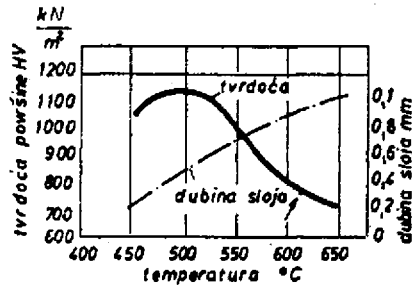


Količina aktivnog azota koja u početku procesa nitriranja može biti apsorbovana na površinskom sloju, a zatim difuzijom dalje prodire u površinu, zavisi od stepena disocijacije amonijaka. Stepem disocijacije amonijaka zavisi od temperature, pritiska u peći i brzine prolaza amonijaka kroz peć.

Sa povećanjem temperature raste stepen disocijacije amonijaka; povećava se i brzina difuzije azota u površinskom sloju. Na taj način za isto vrijeme možemo dobiti različite dubine nitriranog sloja — zavisno od temperature (slika 3.5). Uporedo sa porastom temperature i brzine difuzije opada tvrdoća (slika 3.6.). Pri nižim temperaturama stvaraju se nitridi



Slika 3.5. Uticaj temperature i vremena trajanja procesa na dubinu nitriranog sloja



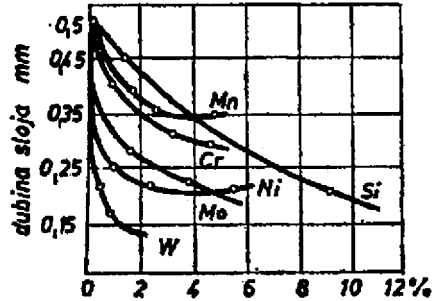
Slika 3.6. Uticaj temperature na tvrdoću i dubinu nitriranog sloja

koji se izdvajaju u disperznom submikroskopskom obliku; izazivaju jaka naprezanja rešetke, što dovodi do visoke površinske tvrdoće. Porastom tem-

perature smanjuje se disperznost nitrida, što dovodi do pada tvrdoće, a u izvjesnim slučajevima do stvaranja pukotina, pa čak i do odvajanja nitriranog sloja.

Da bi se smanjilo vrijeme nitriranja na određenu dubinu, a zadržala potrebna tvrdoća, u posljednje vrijeme se primjenjuje stepenasto nitriranje. U početku se proces nitriranja izvodi na temperaturama od 500 do 520 °C, u trajanju od 12 časova, pri čemu se dobija veoma tanak nitrirani sloj tvrdoće oko 1200 HV. U drugoj fazi temperatura se povećava na 600 do 620 °C i nitriranje se nastavlja u trajanju od 18 do 24 časa, pri čemu raste brzina difuzije, a tvrdoća površinskog sloja, dobijena u prvoj fazi, ostaje nepromijenjena. U trećoj fazi temperatura se smanjuje na 500 do 520 °C, a proces nitriranja se nastavlja još u trajanju od 12 časova. Na taj način dobije se dubina nitriranog sloja debljine oko 0,8 mm u trajanju od 42 do 48 sati sa visokom površinskom tvrdoćom. Na ovaj način vrijeme procesa nitriranja se smanjuje dva do dva i po puta.

Na dubinu nitriranog sloja utiče i sastav čelika za nitriranje (slika 3.7.). Sa porastom sadržaja ugljenika opada brzina difuzije, što se može vidjeti iz tabele 3.3.

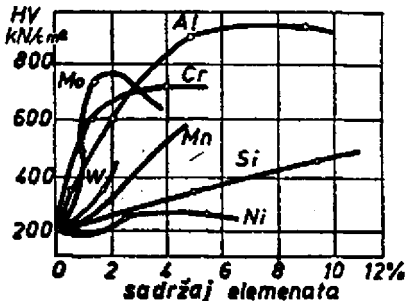


Slika 3.7. Uticaj legirajućih elemenata na dubinu nitriranog sloja pri nitriranju na 500°C

Tabela 3.3. Dubina nitriranja pri temperaturi od 550°C za različito vrijeme i % C

Trajanje nitriranja [h]	6	12	24	30
Čelik sa 0,06% C	0,48	0,70	0,81	1,00
Čelik sa 0,54% C	0,20	0,40	0,52	0,72
Čelik sa 0,82% C	0,13	0,25	0,32	0,46

Svi legirajući elementi smanjuju dubinu nitriranog sloja, naročito pri malim procentima.



Slika 3.8. Uticaj legirajućih elemenata na tvrdoću nitriranog sloja pri nitriranju na 500°C

Azot sa legirajućim elementima gradi tvrde nitride (AlN , CrN , Cr_2N , TiN , VN , MoN , Mo_2N , V_2N , W_2N , Fe_2N , Fe_4N i dr.).

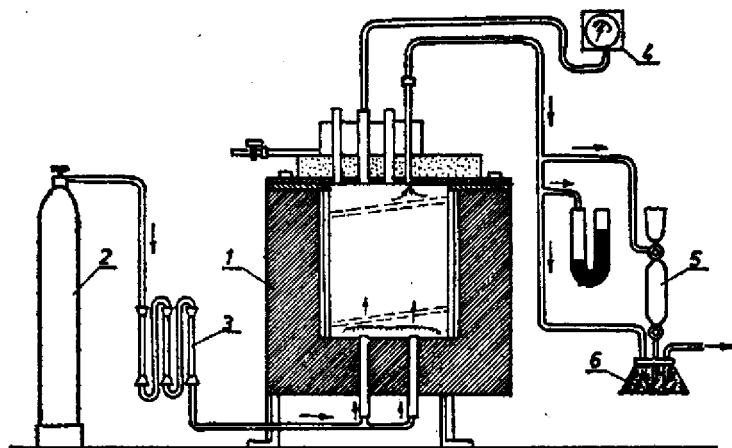
Nastali nitridi legirajućih elemenata povećavaju tvrdoću nitriranog sloja. Što je veći stepen disperznosti nitrida, to je veća tvrdoća. Tako nitridi aluminijuma imaju najveći stepen disperznosti, zbog čega aluminijum ima i najjači uticaj na tvrdoću nitriranog sloja. Nikl sa azotom ne gradi nitride, zbog čega sadržaj nikla nema bitnog uticaja na tvrdoću površinskog sloja (slika 3.8).

Za nitriranje se koriste ugljenični (nisko, srednje i visoko ugljenični) čelici, nisko i visoko legirani čelici i brzorezni čelici. Većina legiranih čelika za nitriranje spada u grupu čelika za poboljšanje sa sadržajem legirajućih elemenata u granicama Al 0,4–1,1%; Cr 1,0–1,8%; Mo 0,15–0,25%; V 0,1–0,2%; W 0,2–0,4% sa sadržajem ugljenika 0,1–0,4%.

Nitriranje spada u grupu konačne obrade, poslije koje se može izvršiti samo završno fino brušenje. Velika tvrdoća nitriranog sloja isključuje druge vidove mehaničke obrade.

Prije nitriranja dijelovi se obrađuju na tačnu mjeru, a pogodnom termičkom obradom (poboljšanjem) dobijamo željenu strukturu koja daje predmetu najpogodnije mehaničke osobine. Čelici se obično kale zavisno od hemijskog sastava sa temperature od 900 do 950°C, a zatim otpuštaju na temperaturama od 600 do 650°C. Po završetku otpuštanja predmeti se lagano hlade u peći do 300 °C, a zatim na vazduhu do sobne temperature. Brušenjem se dovode na tačne mjere, a razugljenisana mjesta se odstranjuju, jer, ukoliko ostanu, mogu biti uzroci krтости nitriranog sloja, čak i da se taj sloj odvoji od osnovnog materijala. Predmeti se čiste i pregledaju i samo ispravni komadi podvrgavaju nitriranju.

Površine koje nije potrebno nitrirati zaštićujemo. Najpogodniji način zaštite je prevlačenje površine galvanskim putem, tankim slojem kalaja debljine od 8 do 10 μm. Pripremljene komade stavljamo u posebne držače ili korpe i unosimo u peć koja je zagrijana na 400 °C, a zatim lagano podižemo temperaturu do željene temperature nitriranja. Da bismo dobili sloj debljine od 0,25 do 0,3 mm pri temperaturi od 500 do 520 °C, potrebno je oko 24 časa, a za sloj debljine 0,4 mm oko 48 časova.



Slika 3.9. Shema uređaja za nitriranje: 1 – peć, 2 – boca sa amonijakom, 3 – uređaj za sušenje amonijaka, 4 – pirometar, 5 – disocimetar, 6 – boca za sušenje gasova

Na slici 3.9. data je shema uređaja za nitriranje. Iz boce sa amonijakom (2) pomoću vodova dovodi se amonijak kroz sušionicu (3) u prostor peći (1), gdje su smješteni predmeti za nitriranje. Iz prostora peći disocirani amonijak se vodi jednim dijelom u disocimetar (5), gdje se mjeri stepen disocijacije, a drugim dijelom u posudu za hlađenje (6).

Upoređivanjem postupaka cementacije i nitriranja dolazimo do sljedećih zaključaka:

- u procesu cementacije, s obzirom na visoke temperature procesa (900 do 950°C), a zatim termičkom obradom (kaljenjem i otpuštanjem) u predmetima se stvaraju jaka naprezanja koja dovode do deformacija, pa čak i do pojave pukotina. Nitriranje se obavlja na znatno nižim temperaturama, a poslije nitriranja nije potrebna nikakva termička obrada, tako da nema termičkih naprezanja i deformacija predmeta,
- nitrirane površine su tvrđe i tvrdoću zadržavaju sve do temperature od 500 °C, dok cementovane površine imaju nižu tvrdoću i već pri temperaturama oko 200 °C dolazi do pada tvrdoće,
- nitrirani sloj ima veću dinamičku čvrstoću i otpor protiv korozije nego cementovani sloj,
- nitriranje je skuplji postupak, traje duže vrijeme i zahtijeva kvalitetnije materijale u odnosu na cementaciju.

3.3. KARBONITRIRANJE

Karbonitriranje je postupak hemijsko-termičke obrade pri kome istovremeno u površinski sloj predmeta uvodimo ugljenik i azot. Obavlja se u sredinama bogatim ugljenikom i azotom, koje su na temperaturama karbonitriranja sposobne da oslobađaju ugljenik i azot u atomarnom obliku. Oslobođene atome ugljenika i azota apsorbiraju površina predmeta, koji putem difuzije prodiru dalje u dubinu. Sredstva za karbonitriranje mogu biti u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju. Najviše se koristi karbonitriranje u tečnoj i gasovitoj sredini.

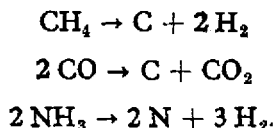
Osnovni parametri koji određuju dubinu i sastav površinskog sloja dobijenog karbonitriranjem određeni su temperaturom i vremenom trajanja procesa, vrstom materijala predmeta i sastavom sredstava za karbonitriranje. Sa povećanjem temperature sve je manje azota, a više ugljenika u karbonitriranom sloju. Što duže traje proces, to je veća i dubina karbonitriranog sloja.

Zavisno od temperature karbonitriranja razlikujemo:

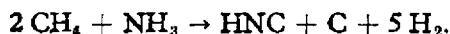
- niskotemperaturno karbonitriranje, koje se obavlja na temperaturama od 550 do 570 °C. Pri ovom procesu u površinski sloj najviše prodire azot, poslije čega nije potrebna nikakva naknadna termička obrada i
- visokotemperaturno karbonitriranje, koje se obavlja na temperaturama od 830 do 960 °C, pri čemu u površinu najviše prodire ugljenik. Ovom postupku se podvrgavaju konstrukcioni čelici sa sadržajem ugljenika od 0,2 do 0,4%. Po završetku karbonitriranja predmeti se odmah kale, a zatim otpuštaju na temperaturama od 160 do 180 °C.

Kod gasnog karbonitriranja u radni prostor peći uvode se gasovi koji sadrže ugljenik i gas amonijak. Osim toga, u peć se uvodi izvjesna količina

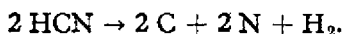
vazduha i vode, jer se u prostoru peći stvaraju gasovi CO, CO₂, i H₂. Na temperaturama karbonitriranja dešavaju se sljedeće reakcije:



Pored ovih reakcija, u prostoru peći dolazi do uzajamnog djelovanja amonijaka i ugljovodonika, pri čemu nastaje cijanovodonična kiselina HCN, koja je veoma jak otrov:



Cijanovodonična kiselina HNC, pod katalitičkim djelovanjem metalnih površina predmeta koji se karbonitriraju, disocira se na sastavne elemente:



Gasno karbonitriranje može biti niskotemperaturno i visokotemperaturno. Poslije visokotemperaturnog karbonitriranja obavezno se mora izvršiti kaljenje i otpuštanje.

Vrijeme trajanja procesa gasnog karbonitriranja možemo odrediti na osnovu srednje brzine prodiranja azota i ugljenika, koja je različita za razne temperature tabela, 3.4.

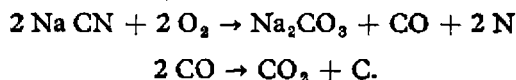
Tabela 3.4.

Dubina sloja

Dubina karbonitriranog sloja u mm	Brzina karbonitriranja (mm/h)		
	860°C	930°C	950°C
do 0,5	0,20	0,40	0,50
0,5 – 1,0	0,15	0,30	0,40
1,0 – 1,5	0,12	0,20	0,30

Produžavanje procesa karbonitriranja ima uticaja na sastav i strukturu površinskog sloja. Dugo držanje na povišenim temperaturama dovodi do povećanog sadržaja ugljenika i azota u karbonitriranom sloju, usljed čega, poslije kaljenja, dolazi do povećane količine zaostalog austenita, što znatno utiče na tvrdoću.

Karbonitriranje u tečnoj sredini obavlja se u sonim kupkama u kojima se nalaze rastopljene soli (cijanidi), kao što su: kalijum cijanid KCN, natrijum cijanid NaCN, kalcijum cijanid Ca(CN)₂ i druge soli. Na visokim temperaturama, na primjer, natrijum cijanid na površini kupke u dodiru sa vazduhom reaguje sa kiseonikom i nastaje:



Oslobodene atome azota i ugljenika apsorbuje površina predmeta, a ovi dalje difuzijom prodiru u površinski sloj. Glavna karakteristika karbonitriranja u tečnoj sredini je kratko vrijeme trajanja procesa. Ispitivanja su

pokazala da je pri istoj temperaturi procesa i dubini karbonitriranog sloja, proces karbonitriranja u tečnoj sredini približno dva puta kraći.

Soli, kao i gasovi za karbonitriranje, stvaraju otrovne pare zbog čega se moraju preduzeti posebne HTZ mjere. Osoblje koje radi u prostorijama koje moraju biti posebno odvojene, je specijalno osposobljeno. Prostorije imaju dobru ventilaciju, radnici zaštitnu opremu, a predmeti poslije karbonitriranja se moraju dobro oprati toplom vodom.

Karbonitriranje u tečnoj sredini, zbog upotrebe cijanida, često se naziva cijaniziranje.

3.4. OSTALE VRSTE TERMO-HEMIJSKE OBRADU

Ostale vrste termo-hemijske obrade imaju za cilj povećanje površinske tvrdoće i zaštitu od korozije. Procesi su poznati pod imenom difuzione metalizacije, a sastoje se u zasićavanju površinskog sloja čeličnog predmeta nekim metalom ili drugim elementom. Najčešće se koriste hrom (hromiranje), Al (alitiranje), Si (siliciranje), B (boriranje) i drugi. Difuziona metalizacija može se obaviti u čvrstoj, tečnoj i gasovitoj sredini.

Pri difuzionoj metalizaciji u čvrstoj sredini uzimaju se ferolegure uz dodatak NH_4Cl . Kao rezultat reakcije između metalizatora i HCl ili Cl_2 nastaju hloridi metala kojima vršimo metalizaciju AlCl_3 , SiCl_4 , CrCl_2 i dr., koji u dodiru sa metalnim površinama disociraju uz obrazovanje slobodnih atoma Al, Si, Cr i dr. Oslobođeni atomi na površini predmeta bivaju apsorbirani, a kasnije difuzijom prodiru dalje u dubinu.

Difuzionu metalizaciju u tečnoj sredini izvodimo potapanjem čeličnih predmeta u rastopljene metalizatore (Al, Cr, Si, B i dr.).

Difuzionu metalizaciju u gasovitoj sredini izvodimo u gasovima hlorida različitih metala.

Hromiranje je postupak pri kome se površina predmeta zasićuje hromom (Cr). Treba razlikovati galvaniski postupak hromiranja od difuzionog. Kod difuzionog hromiranja u površinski sloj se uvodi hrom, koji površini predmeta daje posebne osobine, koje se odlikuju visokom tvrdoćom i otpornošću na habanje, povećanom otpornošću na koroziju i otpornošću na oksidaciju pri temperaturama do 800°C . Kod galvanskog postupka površina se presvlači slojem hroma, pri čemu se površina zaštićuje od korozije i ima lijep izgled.

Difuziono hromiranje se može obavljati u čvrstoj, tečnoj i gasovitoj sredini. Najčešće se obavlja u čvrstoj sredini.

Pripremljeni predmeti se pakuju u metalne sanduke, gdje se zatrpavaju u prah, koji se sastoji od 60 do 65% ferohroma, 30 do 35% Al_2O_3 i 2 do 3% NH_4Cl . Proces se obavlja u pećima na temperaturi od 1050 do 1150°C u trajanju od 12 do 15 časova.

Brzina difuzije atoma hroma zavisi od sadržaja ugljenika. Veća je brzina kod čelika sa manjim sadržajem ugljenika. Kod niskougljeničnih čelika formira se sloj debljine 0,2 do 0,3 mm sa koncentracijom hroma oko 25 do 30%. Kod srednje i visokougljeničnih čelika u površinskoj zoni formira se tanki sloj karbida hroma debljine 0,02 do 0,04 mm; površina je jako tvrda oko

1350 HV, što je više od cementovane i kaljene površine, pa čak i nitrirane. Hrom ima veoma veliki afinitet prema ugljeniku i povlači ga čak iz unutrašnjih slojeva, da bi sa njima u površinskom sloju gradio tvrde karbide.

Siliciranje je postupak pri čemu se u površine predmeta izrađenih od čelika i sivog liva zasićuju silicijumom. Dobivene površine odlikuju se povećanom postojanošću prema sumpornoj, sonoj, azotnoj i drugim kiselinama, kao i morskoj vodi. Osim toga, siliciranjem se povećava postojanost na povišenim temperaturama od 700 do 750 °C.

Pri siliciranju u čvrstom sredstvu pripremljeni predmeti se stavljaju u čelične kutije i zatrpavaju praškom za siliciranje, koji se sastoji od: 60% ferosilicijuma, 38 do 39% Al_2O_3 i 1–2% NH_4Cl . Kutije se hermetički zatvore i stavljaju u peć, koja je zagrijana na temperaturu 950 do 1000°C. U trajanju od 4 do 5 časova na površini se formira silicirani sloj debljine oko 0,5 mm sa 14 do 15% Si. Ovaj sloj je krt, otporan na koroziju i habanje, međutim, često je porozan, zbog čega ovaj postupak ima ograničenu primjenu.

Alitiranje je postupak pri kome se u površinski sloj predmeta izrađenih od čelika ili sivog liva uvodi aluminijum. Cilj ove vrste hemijsko-termičke obrade je povećanje otpornosti na koroziju i postojanosti na povišenim temperaturama od 800 do 900 °C. Najčešće se alitiraju niskougljenični čelici, vatrootporni čelici i liveno gvožđe. Alitirane površine se odlikuju 10 puta većom otpornošću na oksidaciju u odnosu na ugljenične čelike i povećanom tvrdoćom 400 do 500 kN/cm² mjereno po Vikersu.

3.5. DEFORMACIJE PRI TERMO-HEMIJSKOJ OBRADI

Deformacije dijelova pri termo-hemijskoj obradi mogu biti dvostruke:

- deformacije geometrijskog oblika u uzdužnom i poprečnom presjeku i
- promjene dimenzija.

Deformacije geometrijskog oblika nastaju usljed nepravilnog pakovanja i slaganja za termo-hemijsku obradu, nepravilnim nanošenjem zaštitne presvlake, njenim lošim kvalitetom ili slabom termičkom obradom koja prethodi termo-hemijskoj obradi.

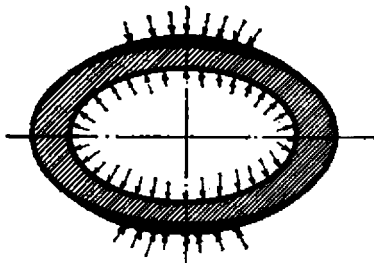
Da bi se poboljšao kvalitet proizvoda, prije termo-hemijske obrade potrebno je pripremiti dijelove. Priprema se sastoji od mehaničke obrade i termičke obrade poboljšanjem. Ako poboljšanje nije dovoljno kvalitetno izvedeno i pri visokotemperaturnom otpuštanju nisu odstranjena unutrašnja naprezanja (npr. usljed kratkog vremena držanja na temperaturi otpuštanja), to će pri termo-hemijskim obradama koje se obavljaju na relativno niskim temperaturama, npr. nitriranje, doći do samootpuštanja. Pri tome se unutrašnja naprezanja, usljed dužeg zadržavanja na visokim temperaturama, odstranjuju, ali dijelovi se pri tome deformišu. Pored toga, ako prilikom hlađenja, poslije pravilno izvedenog zagrijavanja, brzinu hlađenja povećamo, to će dovesti do pojave zaostalih termičkih naprezanja koja se pri termo-hemijskoj obradi uklanjaju, a rezultat je pojava deformacija predmeta.

Pored toga, deformacijama predmeta pogoduju velika unutrašnja naprezanja površinskog sloja koji je obogaćen drugim elementom. Ova unutrašnja naprezanja nastaju usljed razlike u specifičnoj zapremini i koeficijentu linearnog

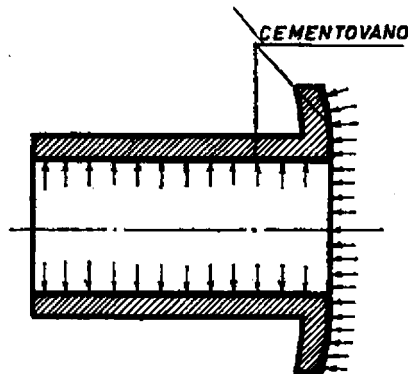
širenja površinskih slojeva i sredine predmeta. Zasićeni površinski sloj povećava specifičnu zapreminu, što izaziva jaka naprezanja na pritisak, dok unutrašnjost materijala trpi napone na istezanje. Kod simetričkih dijelova se, zbog nesavršenstva geometrijskog oblika, ta unutrašnja naprezanja ne mogu uravnotežiti, što dovodi do deformacije dijelova. Kod dijelova koji nisu simetrični ili kod simetričnih dijelova kod kojih termo-hemijsku obradu izvodimo samo sa jedne strane, deformacije mogu biti znatne, zbog neuravnoteženosti unutrašnjih napona.

Direktna posljedica povećanja specifične zapremine zasićenog površinskog sloja je povećanje dimenzija predmeta. Sa povećanjem dubine hemijski zasićenog površinskog sloja dolazi i do povećanja dimenzija. Tako npr. pri nitriranju na dubinu 0,5 mm dimenzije predmeta se uvećavaju za 0,02 do 0,04 mm na jednoj strani. Promjena dimenzija ne zavisi samo od dubine sloja no i od režima termo-hemijske obrade, hemijskog sastava materijala predmeta, oblika i dimenzija predmeta.

Zapreminske promjene pri termo-hemijskoj obradi mogu dovesti do deformacija i promjena geometrijskog oblika. Tako, pri lošoj pripremi za termo-hemijsku obradu, ako je zaštitni sloj loše izveden, dolazi do mjestimičnog lokalnog zasićenja i pojave lokalnih deformacija koje izazivaju promjene geometrijskog oblika (slika 3.10.).



Slika 3.10. Deformacije cilindra



Slika 3.11. Deformacije cilindra sa obodom

Deformacije pri termo-hemijskoj obradi javljaju se pri lošoj konstrukciji dijelova koji se podvrgavaju ovoj obradi. Na slici 3.11. prikazan je cilindar sa obradom, kod koga će se javiti jaka deformacija zbog toga što termo-hemijsku obradu izvodimo samo sa jedne strane oboda.

Da bi se izbjegle deformacije pri termo-hemijskoj obradi, neophodno je površine koje su zaštićene nanošenjem prevlake kvalitetno izvesti, a takođe i simetrično rasporediti. Prilikom pakovanja dijelova u peći, moramo voditi računa da ne dođe do deformacija usljed sopstvene težine ili težine drugih dijelova. Zagrijavanja dijelova, a takođe i hlađenje moramo izvoditi što je moguće laganije. Male deformacije, a takođe i promjene dimenzija možemo odstraniti brušenjem.

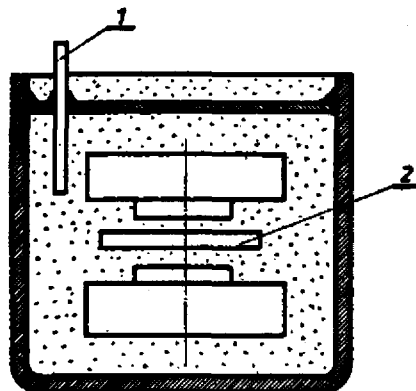
3.6. METODE OCJENE KVALITETA CEMENTOVANIH I NITRIRANIH DIJELOVA

Dijelove koji su podvrgnuti termo-hemijskoj obradi kontroliramo spoljnim posmatranjem, mjerenjem dimenzija, mjerenjem dubine sloja i mjerenjem tvrdoće.

Spoljnim pregledom kontroliramo da li na površini ima naprslina i drugih grešaka koje se mogu utvrditi golim okom, (površine moraju biti iste boje, bez svjetlijih mjesta). Dijelove od kojih se traži veća tačnost kontroliramo mjerenjem dimenzija i položaja pojedinih površina.

Za određivanje dubine pri cementaciji ili nitriranju koristimo se probnim štapovima, najčešće kružnog poprečnog presjeka, prečnika 10 do 15 mm, a dužine 100 do 250 mm. Probni štapi se izrađuju od istog materijala od koga su izrađeni i dijelovi za koje određujemo dubinu cementacije ili nitriranja.

U serijskoj i masovnoj proizvodnji, kada su procesi cementacije uhodani, kontrolu dubine cementacije i kvaliteta naugljenisanog sloja obavljamo pomoću probnih uzoraka koji su smješteni u sanduk zajedno sa ostalim dijelovima. Iz sanduka se uzorci vade po završetku procesa cementacije, kada vadimo i ostale dijelove. Kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje, gdje se režim cementacije često mijenja, kontrolu treba obaviti u toku samog procesa cementacije. U tom slučaju poslužiće nam dva probna štapa, (slika 3.12).



Slika 3.12. Postavljanje probnih štapova:
1. spoljni, 2. unutrašnji

Probni štap (1) postavljamo kroz poklopac, a unutrašnji (2) u sredinu, između predmeta. Spoljni probni štap (1) vadimo sat prije predviđenog završetka cementacije i na njemu određujemo dubinu sloja. Ako je dubina sloja nedovoljna, proces produžavamo dok ne dobijemo željenu dubinu. Konačnu dubinu cementacije utvrđujemo na probnom štapu (2). Kontrolu dubine cementacionog sloja možemo obaviti na probnom štapu prije ili poslije termičke obrade.

Poslije termičke obrade probnog štapa, dubinu cementacionog sloja određujemo na poprečnom prelomu, nakon ispitivanja i utvrđivanja mehaničkih osobina.

Za utvrđivanje dubine cementacije moramo obaviti brušenje, poliranje i nagrizanje, čime se utvrđuje jasna granica između cementacionog sloja i osnovnog materijala. Brušenje i poliranje se mora vršiti okomito na površinu cementacije, jer u protivnom dobijamo pogrešnu sliku o dubini cementacije.

S obzirom da između cementacionog sloja i osnovnog materijala nema jasnog prelaza, slika 3.1., to se za dubine cementacije do 1,2 mm uzima u obzir i jedna polovina prelaznog sloja. Za dubine cementacije preko 1,2 mm, kod kojih je prelazni sloj mali, uzima se i cijela dubina prelaznog sloja.

Dubinu nitriranog sloja određujemo brušenjem probnog štapa. Pri tome se jasno uočava razlika između nitriranog sloja i osnovnog materijala. Dubinu

nitriranog sloja najtačnije određujemo brušenjem, poliranjem i nagrivanjem probnog štapa sa 4% rastvorom azotne kiseline, a zatim — posmatranjem pod mikroskopom.

Kontrolu tvrdoće cementacionog ili nitriranog sloja vršimo na probnim štapovima ili samim dijelovima, ako dozvoljavaju oblik i dimenzije:

Tvrdoću cementovanih i zakaljenih površina kontrolišemo Rokvelovom skalom C ako je dubina cementacionog sloja veća od 0,65 mm. Za manje dubine cementacije tvrdoću kontrolišemo po Vickersovoj metodi. Na sličan način kontrolišemo i tvrdoću nitriranog sloja.