

Daugavpils Būvniecības tehnikums

Mācību priekšmets:

Materiālmācība

Specialitāte:

Inženierkomunikāciju tehniķis

1., 2., 3. kurss

Termiskās apstrādes tehnoloģijas principi

Metodiskā izstrādne

Pedagogs: **Raimonds Vadzis**

Daugavpils

2020

Anotācija

Metodiskais līdzeklis paredzēts “Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas” nodaļas profesionālo priekšmetu pedagogiem, kā arī to ir iespējams izmantot informācijas ieguvei programmas “Materiālmācība” izglītojamajiem.

Metodiskā līdzekļa mērķis: Dalīties pieredzē un uzlabot mācību metožu pielietošanu – Materiālmācības teorijas un praktisko mācību nodarbībās.

Nodarbības metodiskais apraksts

Nodarbības tēma: Metālu termiskās apstrādes tehnoloģija.

Pamatojums tēmas izvēlei: Metālu termiskā apstrāde ir cieši saistīta ar tādām metālu pamatīpašībām kā : siprība, nodilumizturība, un tā ir svarīga metāla raksturīpašība kas nepieciešama metālapstrādes instrumentu izvēlei (urbju, vītņurbju, griežņu, frēžu u.c.) Bieži pēc metālu termiskās apstrādes var spriest par metāla spēju pretoties dilšanai, piemēram, jo cietāks tērauds, jo mazāk tas nodilst un otrādi. Tāpēc nepieciešams veikt metālu izstrādājumu termisko apstrādi.

Nodarbības mērķis: Apgūt teorētiskās prasmes un pielietot tās praksē metālu izstrādājumu termiskai apstrādei.

Nodarbību uzdevumi:

- Prast izvēlēties dažādu marku metālu paraugus termiskai apstrādei.
- Prast sagatavot izvēlētos materiālu paraugus termiskai apstrādei, pēc to karsēšanas temperatūras.
- Ievērot darba aizsardzības un drošības noteikumus, strādājot ar ierīcēm paraugu sagatavošanai un darbam ar elektriskām un indukcijas krāsnīm.

Tēmas apguvei paredzētas 240 min.

Stundas posms	Aktivitāte/mācību situācija			Laiks (min.)	Nepieciešamie resursi
	Skolotāja darbība	Audzēkņu darbība	Metodes		
Ievaddaļa	Stāsta par stundas mērķi, uzdevumiem, atbild uz jautājumiem.	Klausās, uzdod jautājumus.	Izklāsts.	20	
Teorētiskā daļa	Atkārtot mācību vielu (sk. pielikums), uzdod jautājumus, skaidro, izdala dažādus paraugus.	Konspektē, atbild uz jautājumiem, uzdod jautājumus, pēta paraugus un izsaka viedokli.	Darbs grupās, vizualizācija, diskusija.	40	Apgūst paraugu sagatavošanas principus un mērīšanu ar aparātiem.
Praktiskā daļa	1) Rāda piemērus 2) Skaidro un rāda nesaprotamo 3) Sadala audzēkņus pāros pa divi	1) Sagatavo paraugus darbam 2) Konsultējas ar skolotāju 3) Strādā pāros	Demonstrācija, problēmu risināšana, darbs pāros.	160	Slīpmašīna, metāla griešanai rokas zāģis, virsmu pulēšanas ierīce, mikroskopi, skrūvspīles.
Nobeigums			Analīze, problēmu risināšana, demonstrācija	20	

Stundas pašvērtējums	
Iegūtie rezultāti un atgriezeniskā saite	Strādājot grupās audzēkņi ieguva jaunas zināšanas teoretiskajā un praktiskajā daļā.
Izmantoto metožu efektivitāte	Izmantoto metožu efektivitāte deva pozitīvus rezultātus
Stundas norises un izstrādāto materiālu pilnveides nepieciešamība un iespējas	Stundas norises laikā, tika iegūtas zināšanas, kuras tiek pielietotas metālu termiskās apstrādes tehnoloģijā.
Veiktie vērojumi	Veiktie vērojumi audzēkņiem deva iespēju izprast metālu termiskās apstrādes tehnoloģijas pielietošanu praksē, strādājot uzņēmumos, kas saistīti ar metālu mehāniskām īpašībām.
Ieteikumi līdzīgu stundu veidotājiem un īstenotājiem	Veidojot līdzīgas stundas, iesaku vairāk pievērst uzmanību jaunāko tehnoloģiju pielietošanu teoretiskajā un praktiskajā daļā.

TERMISKĀS APSTRĀDES TEHNOLOĢIJA

Termiskās apstrādes tehnoloģijas izstrāde ir svarīga detaļas izgatavošanas tehnoloģijas sastāvdaļa. Ar termisko apstrādi izstrādājumiem piešķir vajadzīgās mehāniskās īpašības, lielā mērā nosaka detaļu, instrumentu un citu izstrādājumu kvalitāti un nodrošina tiem normālu darbību. Metālapstrādē pielieto gan tiešu termisko apstrādi, gan arī termiskās apstrādes apvienojumu ar plastisko deformāciju, gan virsmas piesātināšanu ar dažādiem elementiem. Termiskās apstrādes tehnoloģijas būtiski atšķiras nelegētiem tēraudiem, legētiem tēraudiem, čuguniem un krāsainiem metāliem un to sakausējumiem. Speciāli termiskās apstrādes paņēmieni ir izstrādāti stieplu, mēru, ātrgriezējtēraudu instrumentu, velmju, liela izmēra kalumu, zobratu, cilindrisku gliemežu u.c. izstrādājumiem.

Visiem termiskās apstrādes veidiem obligāta sastāvdaļa ir detaļu karsēšana. Tam nepieciešamas karsēšanas iekārtas un metālu karsēšanas procesa tehnoloģijas.

Karsēšanas iekārtas

Metālu karsēšanai izmanto dažāda veida iekārtas, kurās izmanto gan dažādus siltuma avotus (cietais, šķidrās vai gāzveida kurināmais, elektrība), gan arī karsēšanas vides (gaiss, aktīvas gāzes, neitrālas gāzes, šķidrums, metāls, sāļi, vakuums).

Karsēšanas ātrumu izvēlas atkarībā no tērauda ķīmiskā sastāva un struktūras, kā arī no izstrādājuma formas un izmēriem. Tēraudiem ar paaugstinātu oglekļa saturu, legētiem tēraudiem un sarežģītas formas lieliem izstrādājumiem izvēlas mazu karsēšanas ātrumu. Samazinātā tēraudu siltuma vadītspēja un lielā temperatūru starpība izstrādājumu ārējos un iekšējos slāņos var izraisīt lielus iekšējos spriegumus, kas savukārt izraisa detaļas samešanos vai pat plaisāšanu.

Metāla karsēšana visātrāk noris krāsnīs-vannās ar izkausētu metālu vai sāļiem. Krāsnīs ar gāzes vidi karsēšana noris 4...5 reizes lēnāk.

Konstrukciju tērauda (oglekļa saturs 0,25...0,6 %) detaļām 1 mm bieza metāla slāņa sakarsēšanai līdz 770...820 °C temperatūrai elektriskajās krāsnīs vajag 50...80 s, sāļu vannās – 12...14 s, svina vannās – 6...8 s. Sarežģītas formas detaļām, piemēram, instrumentiem, ieteicams izdarīt iepriekšēju karsēšanu līdz 400...500 °C temperatūrai. Tas dod iespēju samazināt varbūtēju deformēšanos.

Kad sasniegta karsēšanas temperatūra, detaļu noteiktu laiku iztur šādā temperatūrā, lai tā izlīdzinātos pa visu šķērs griezumā, lai līdz galam notiktu fāzu pārvērtības un izlīdzinātos ķīmiskais sastāvs.

Ja rūdīšanas temperatūra ir 750...900 °C un karsēšanu izdara elektriskajā krāsnī, nelegētiem instrumentu tēraudiem (0,7...1,3 % C) 1 mm bieža metāla slāņa sakarsēšanai ieteicamais izturēšanas ilgums ir 50...80 s, bet legētajiem tēraudiem – 70...90 s. Ja turpretī karsēšanu izdara sāļu vannā, izturēšanas ilgums nelegētiem instrumentu tēraudiem ieteicams 20...25 s, bet legētajiem tēraudiem – 25...30 s.

Jo augstāka karsēšanas temperatūra, jo ātrāk notiek detaļas sasilšana. Legētajiem tēraudiem parasti salīdzinājumā ar nelegētajiem tēraudiem karsēšanas un izturēšanas ilgums ir par 25...40 % lielāki.

Palielinot temperatūru, pieaug metālu ķīmiskā aktivitāte, tādēļ, karsējot tos virs 500...600 °C liesmu vai elektriskajās krāsnīs, metālu virsējais slānis mijiedarbojas ar krāsns vidi. Oksidēšanās notiek, dzelzij reaģējot ar skābekli, ūdens tvaiku un ogļskābo gāzi. Rezultātā notiek virsējā slāņa atogļošanās un oksidēšanās.

Līdz 500...550 °C temperatūrai oksidēšanās ātrums ir neliels, augstākā temperatūrā tas strauji pieaug, it sevišķi tad, ja oksīdu kārtiņa (FeO) ir poraina. Oksidēšanās rada neatgriezeniskus metāla zudumus, pasliktina virsmas slāņa stāvokli un īpašības. Pēc termiskās apstrādes oksīdu kārtiņa jānotīra. Lai samazinātu metāla zudumus un detaļu uzlaides, kas nosaka mehāniskās apstrādes darbietilpību, detaļas karsē karsēšanas iekārtās ar kontrolējamu aizsargatmosfēru, sāļu vannās vai vakuumā. Kontrolējamo aizsargatmosfēru sagatavo speciālās iekārtās. Tā ir neitrāla gāze ar noteiktu oksidējošu un reducējošu, atogļojošu un apogļojošu sastāvdaļu attiecību: CO₂/CO, H₂O/H₂, CH₄/H₂. Kontrolējamās aizsargatmosfēras mijiedarbību ar tēraudu var regulēt vēlamā virzienā. Šim nolūkam izmanto amonjaka disociācijas vai daļējas sadegšanas produktus (H₂, H₂O, N₂), ģeneratorgāzi (CO, CO₂, N₂) un gāzu maisījumu, ko iegūst, nepilnīgi sadedzinot dabasgāzi vai citus ogļūdeņražus. Lieto arī aizsargatmosfēras, kuras veido tīra gāze: ūdeņradis, argons, hēlijs u.c.

Aizsargatmosfēru sagatavo endogāzu vai eksogāzu ģeneratoros. Endotermisko atmosfēru iegūst, nepilnīgi sadedzinot augstā temperatūrā (1000...1200 °C) kataliza-

toru klātbūtnē dabasgāzi vai rūpnieciskos ogļūdeņražus. Endogāzes sastāvs: 20 % CO, 40 % H₂ un 40 % N₂.

Tēraudi, kuriem ir dažāds oglekļa saturs, var atrasties līdzsvara stāvoklī ar kontrolējamo aizsargatmosfēru tikai noteikta neliela CO₂ un H₂O satura gadījumā. Mainot ģeneratorā ievadāmā gaisa daudzumu, var iemainīt CO₂ un H₂O saturu aizsargatmosfērā un iegūt dotajam tēraudam vēlamo neitrālo atmosfēru. Par gāzes aizsargatmosfēras oglekļa potenciālu sauc tās spēju palielināt oglekļa saturu tēraudā līdz noteiktai koncentrācijai. Tā kā aizsargatmosfērā dotajam CO₂ daudzumam vienmēr atbilst noteikts H₂O daudzums, tad atmosfēras kontrolei izmanto vienu no šiem komponentiem. Biežāk kontroli veic, nosakot ūdens tvaika daudzumu pēc rāsas punkta temperatūras. Oglekļa potenciālu regulē gan aizsargatmosfēras iegūšanas procesā ģeneratorā, gan arī karsēšanas iekārtas darba telpā. Oglekļa potenciāla regulēšana pēc CO₂ satura ir stabilāka. To veic, izmantojot infrasarkanos starus. Lai karsēšanas rezultātā metāla virsma iegūtu vai saglabātu noteiktu ķīmisko sastāvu, karsēšanas iekārtās ierīko vairākas kameras ar dažādu oglekļa potenciālu.

Ja karsēšanu veic izkausētos sāļos, kas iepriekš speciāli reducēti, lai samazinātu skābekļa saturu, tad tēraudu oksidēšanās un atogļošanās notiek ar niecīgu ātrumu. Atkarībā no nepieciešamās karsēšanas temperatūras izmanto dažādus sāļus vai sāļu maisījumus: temperatūras intervālā 1000...1300 °C izmanto bārija, kālija un nātrijs hlorīdu maisījumu (BaCl₂, KCl, NaCl), bet temperatūrā 300...550 °C – kālija un nātrijs salpetra sāļu maisījumu (KNO₃, NaNO₃).

Karsēšanu vakuumā izmanto ķīmiski aktīviem metāliem un to sakausējumiem.

Augstās temperatūrās ūdeņraža un skābekļa iedarbības rezultātā tērauda detaļu virskārtā noris atogļošanās process, kas pazemina tērauda cietību, nodilumizturību un nogurumizturību.

Termiskās apstrādes tehnoloģiskie procesi

Termiskās apstrādes tehnoloģijas ir izstrādātas ar mērķi nodrošināt detaļai vai izstrādājumam tādas mehāniskās, fizikālās, tehnoloģiskās un ekspluatācijas īpašības, kādas ir uzdotas rasējumā vai tehniskajos noteikumos. Lai īstenotu šo mērķi, ir izstrādātas dažādas termiskās apstrādes tehnoloģijas, kuras dod iespēju piešķirt detaļai

vēlamās īpašības, ievērtējot materiāla ķīmisko sastāvu un fizikāli mehāniskās īpašības, detaļu izmērus un formu, detaļu skaitu, tehnoloģiskās iespējas un citus parametrus. Atkarībā no karsēšanas temperatūras, izturēšanas ilguma, dzesēšanas ātruma termiskās apstrādes veidus var iedalīt grupās: rūdīšana, atkvēlināšana, atlaidināšana, vecināšana.

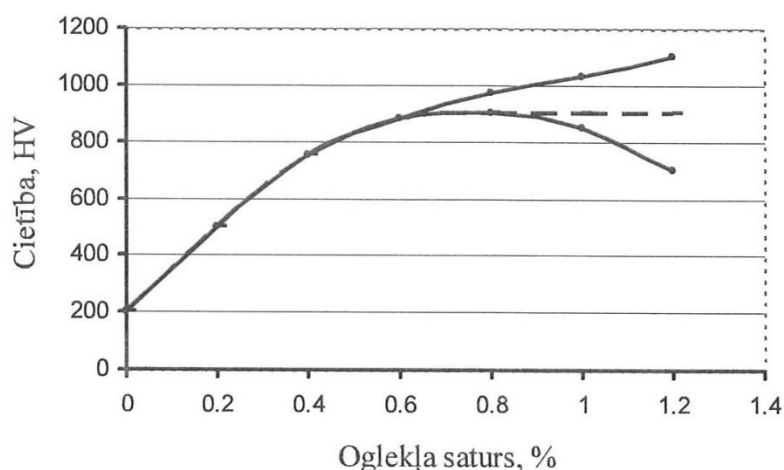
Tēraudu rūdīšanas tehnoloģija

Par tēraudu, kuriem ir polimorfās pārvērtības, *rūdīšanu* sauc tādu termiskās apstrādes operāciju, kuras mērķis ir palielināt tērauda cietību, veidojot martensīta un karbīdu mikrostruktūru. Lai realizētu šīs pārvērtības, karsējot jānodrošina pilnīga fāzu pārvērtība un pilnīga vai daļēja karbīdu izšķīdināšana un tam sekojoša dzesēšana. Lielākā vai mazākā mērā var rūdīt jebkuru tēraudu. Rūdīšanās vai caurrūdīšanās ļoti atkarīga no oglekļa un citu elementu satura tēraudā. Par tēraudu rūdāmību spriež pēc tā spējām veidot martensīta struktūru un paaugstinātu cietību noteiktā biezumā. Visas detaļas var iegūt martensīta struktūru, ja atdzesēšanas līkne nešķērso pārvērtību sākuma temperatūru ne perlīta, ne beinīta rajonā. Tas nozīmē, ka dzesēšanas ātrumam jābūt lielākam par kritisko.

Tērauda caurrūdīšanos raksturo minimālais laiks līdz perlīta (beinīta) pārvērtību sākumam. Mazoglekļa nelegētiem tēraudiem šis laiks ir ļoti mazs, tikai dažas sekundes desmitdaļas. Caurrūdīšanos tiem var realizēt tikai ļoti maziem šķēlumiem (folijām, plānām sloksnēm). Palielinoties detaļu izmēriem, norūdās tikai detaļu virskārta.

Tēraudu rūdāmība galvenokārt ir atkarīga no oglekļa satura. Nelegētu tēraudu cietība pēc rūdīšanas atkarībā no oglekļa satura dota attēlā.

Tēraudiem ar oglekļa saturu līdz 0,6 % visos aplūkotos gadījumos cietība ir vienāda. Atšķirības sākas pie lielāka oglekļa satura. Vislielākā cietība ir tēraudam, kura struktūra pēc rūdīšanas sastāv vienīgi no martensīta. Šādu struktūru var iegūt, rūdot plānus paraugus un dzesējot tos ļoti zemās temperatūrās. Cietība nemainās atkarībā no oglekļa satura tiem tēraudiem, kurus karsē tikai līdz austenītisko pārvērtību realizācijai, saglabājot cementīta tīkliņu. Cietība materiālam nepieaug tāpēc, ka, pieaugot oglekļa saturam, pieaug paliekošā austenīta saturs, kura cietība ir neliela.



Nelegētu tēraudu cietība pēc rūdīšanas atkarībā no oglekļa satura:
 apakšējā līnija – rūdot sakarsētu virs *GSE* temperatūras ūdenī (20 °C); augšējā līnija –
 ja struktūra pēc rūdīšanas sastāv 100 % no martensīta; vidējā pārtrauktā – rūdot
 sakarsētu virs *GSK* temperatūras ūdenī (20 °C)

Cietības samazināšanās, pieaugot oglekļa saturam, novērojama tēraudiem, kuri sakarsēti līdz pilnīgai austenitizācijai. Strauji atdzesējot, cementīta tīkliņš nespēj izveidoties un bez martensīta veidojas paliekošais austenīts, kurš samazina kopējo tērauda cietību. Aizeitektoīdo tēraudu struktūra vispārīgā gadījumā sastāv no martensīta un paliekošā austenīta, kā arī karbīdiem. Šo fāzu attiecību nosaka rūdīšanas tehnoloģija. No struktūras lielā mērā atkarīgas izstrādājumu īpašības. Instrumentu tēraudiem no struktūras atkarīga nodilumizturība un formas noturība.

Nelegētu tēraudu nepārtrauktā rūdīšana vienā dzesējošā vidē

Konstrukciju tēraudus rūda, lai palielinātu stiprību, nodrošinātu pietiekamu plastiskumu un stigrību. Instrumentu tēraudus rūda un atlaidina, lai palielinātu cietību, stiprību un nodilumizturību. Rūdīšanas rezultāts ir atkarīgs no karsēšanas ātruma, rūdīšanas temperatūras, izturēšanas ilguma un dzesēšanas ātruma.

Rūdīšanas temperatūras izvēle. Pēc karsēšanas apstākļiem izšķir pilno un nepilno rūdīšanu. Pilnajā rūdīšanā tēraudu karsē līdz austenīta stāvoklim, t.i., virs līnijai *GSE* atbilstošām temperatūrām, turpretim nepilnajā rūdīšanā tēraudu karsē tikai virs līnijai *GSK*.

Pirmseitektoīdiem tēraudiem lieto pilno rūdīšanu. Pilnajā rūdīšanā karsēšanas laikā veidojas smalkgraudains austenīts, bet dzesēšanas laikā – smalku plāksnīšu

martensīts. Ja nesakarsē līdz vajadzīgajai temperatūrai, struktūrā saglabājas ferīts, kas pazemina cietību un pasliktina mehāniskās īpašības. Tādēļ šiem tēraudiem nepilno rūdīšanu nelieto.

Ja tēraudus pārkarsē, sākas strauja austenīta graudu augšana, bet atdzesējot veidojas rupjš adatveida martensīts, kā arī pazeminās stigrība un palielinās plaisu rašanās iespēja.

Aizeitektotīdos nelegētos tēraudus pakļauj nepilnai rūdīšanai. Šo tēraudu optimālā rūdīšanas temperatūra ir 40...60 °C virs 727 °C temperatūras, kad struktūrā blakus austenītam saglabājas daļa neizšķīdušā cementīta. Pēc rūdīšanas martensīta struktūrā atrodas cementīta daļiņas. Cementīta daļiņu cietība ir lielāka nekā martensīta cietība, līdz ar to rūdīšanas struktūra – martensīts ar cementīta daļiņām – ir ievērojami nodilumizturīgāka nekā struktūra, kas iegūta, rūdot vienfāzes austenītu.

Dzesēšanas ātrums rūdīšanā. Lai iegūtu martensīta struktūru, nepieciešams pārdzesēt austenītu līdz martensīta pārvērtību temperatūrām, t.i., dzesēšanas ātrumam jābūt lielākam par rūdīšanas kritisko ātrumu V_{krit} . Vislielākais rūdīšanas kritiskais ātrums ir nelegētiem tēraudiem – 1400...400 °C·s⁻¹.

Dzesējošai (rūdīšanas) videi jānodrošina liels dzesēšanas ātrums austenīta mazākās stabilitātes temperatūras intervālā (650...550 °C), lai novērstu tā pārvēršanos ferīta un cementīta maisījumā. Toties martensīta pārvērtību temperatūras intervālā vēlams samazināt dzesēšanas ātrumu, lai novērstu iekšējo spriegumu rašanos, detaļu deformēšanos un plaisu rašanās iespēju.

Nelegētiem tēraudiem, kuriem ir liels rūdīšanas kritiskais ātrums, rūdīšanas procesā dzesēšanu izdara ūdenī vai sāļu šķīdumos.

Ūdenim, eļļām un citiem šķīdumiem, iegremdējot tajos sakarsētu metālu, var novērot trīs periodus ar dažādām dzesēšanas intensitātēm.

1. Vispirms ap rūdāmo izstrādājumu izveidojas tvaika apvalks, kas traucē siltuma atdevi.

2. Nākamajā mirklī tvaika apvalks sairst un dzesējošais šķidrums, nonākot saskarē ar metāla virsmu, sāk vārīties, izdalot tvaika burbulīšus. Dzesējošās vides kontakts ar metālu virsmu periodiski atjaunojas, ko raksturo liels dzesēšanas ātrums.

3. Zem vārīšanās temperatūras siltuma konvekcijas rezultātā dzesēšana notiek lēni.

Dzesējošo vidi izvēlas tādu, kas nodrošina pietiekami lielu dzesēšanas ātrumu austenīta minimālās stabilitātes temperatūras intervālā (650...400 °C). Jāatzīmē, ka pārāk liels dzesēšanas ātrums martensīta pārvērtību apgabalā (zem 300 °C) var radīt virsmas plaisāšanu un izstrādājuma samešanos. Ūdenim kā dzesējošai videi ir liels dzesēšanas ātrums, kas saglabājas arī martensīta pārvērtību apgabalā un ir lielu struktūras spriegumu rašanās cēlonis. Ūdens dzesēšanas ātrums strauji samazinās, paaugstinoties tā temperatūrai. Lai novērstu minētos trūkumus, ūdenim dzesēšanas tvertnēs uztur pastāvīgu temperatūru (20...40 °C) un to pakļauj cirkulācijai.

Ūdens dzesējošās īpašības var uzlabot, izšķīdinot tajā vārāmo sāli, sārmus vai sērskābi. Šādos šķīdumos tvaika apvalks nerodas un austenīta minimālās stabilitātes temperatūras intervālā tiek sasniegts liels dzesēšanas ātrums, bet martensīta pārvērtību temperatūras intervālā šo šķīdumu dzesēšanas ātrums ir mazāks nekā ūdenim.

Rūdīšanā minerāleļļas dzesē daudz lēnāk nekā ūdens, un arī martensīta pārvērtību intervālā to dzesēšanas ātrums ir 20...25 reizes mazāks nekā ūdenim. Tas ievērojami samazina rūdīšanas defektu veidošanās iespējas. Eļļas dzesējošās spējas ir maz atkarīgas no temperatūras. Minerāleļļu būtisks trūkums ir to vieglā uzliesmošana. Eļļas izmanto legēto tēraudu un nelielu nelegēto tēraudu detaļu rūdīšanai.

Rūdīšanas veidi. Atkarībā no dzesēšanas paņēmiena izšķir vairākus rūdīšanas veidus. Visizplatītākais un vienkāršākais rūdīšanas veids ir *nepārtrauktā rūdīšana vienā dzesējošā vidē*. Šādu rūdīšanu sauc arī par *nepārtraukto rūdīšanu* un to pielieto nelegētiem konstrukciju tēraudiem, nelielām vienkāršas formas detaļām.

Rūdīšanas procesā galvenais spriegumu veidošanās cēlonis ir tilpuma palielināšanās, austenītam pārvēršoties martensītā, ko pastiprina apstākļi, ka pārvērtības nenotiek vienlaicīgi visā detaļas šķērsgriezumā. Paliekošos iekšējos spriegumus var samazināt, ja samazina dzesēšanas ātrumu martensīta pārvērtību temperatūras intervālā un panāk, lai struktūras pārvērtības notiktu pēc iespējas vienlaicīgi visā izstrādājuma šķērsgriezumā.

IZMANTOTA LITERATŪRA

1. Ozoliņš J. *Materiālu mācība*. Zvaigzne, 1978.
2. Ozoliņš J., Straume I. *Konstrukciju materiālu tehnoloģijas*. RTU, 1992.
3. Avotiņš J., Freimanis V., Roze I., Vējiņš O. *Mašīnbūves materiāli un to apstrāde*. Rīga: Zvaigzne, 1985.
4. Berenfelds V. *Tehniskais minimums metālapstrādē*. Rīga: Avots, 1989.
5. Bolhovitinovs N. *Metālu mācība un termiskā apstrāde*. Tulkots no 4. izdevuma. Rīga: LVI, 1961.
6. LVS EN 6507-1. *Metāliskie materiāli. Vikersa cietības tests*. 1. daļa: Testēšanas metode. 2006. g. 16. maijs.
7. LVS CR 10260 *Apzīmējumu sistēmas tēraudiem. Papildus simboli*. 2001. g. janvāris.