

Lämpökäsittelyn ohjelehdet

Oheiset lämpökäsittelyn ohjelehdet on tarkoitettu erityisesti lämpökäsittelypalveluita tilaaville yrityksille. Ohjelehtiin on kerätty perustietoja keskeisimmistä lämpökäsittelyistä helpottamaan lämpökäsittelymenetelmän valintaa ja sen määrittelyä. Lämpökäsittelijä tarvitsee määrättyjä tietoja tilaajalta onnistuneen lämpökäsittelyn varmistamiseksi, joten myös nämä asiat esitetään ohjelehdissä.

Sisällys

- Hehkutukset
- Nuorrutus
- Pintakarkaisu
- Liekki- ja induktiokarkaisu
- Typetyt
- Ruostumattomien terästen lämpökäsittelyt
- Alumiiniseosten lämpökäsittelyt
- Kovuusmittaus

Lämpökäsittelyn ja takomoiden toimialaryhmä
Teknologiateollisuus ry
PL 10, 00131 Helsinki
puh. (09) 19 231
www.teknologiateollisuus.fi

Hehkutukset

Hehkutusten tarkoituksena on helpottaa kappaleen muokkaamista ja käsittelyä erilaisten austeniitin hajoamisen myötä muodostuvien mikrorakenteiden avulla. Ennen kuumamuokkausta suoritettava tasausherkutus tasaa koostumusta ja vähentää siten suotautumien haitallisia vaikutuksia. Normalisointi poistaa edellisen lämpökäsittelyn vaikutuksia sekä hienontaa raekokoja. Pehmeäsihehkutus parantaa muovattavuutta sekä lastuttavuutta kuumamuokkauksen ja normalisoinnin jälkeen. Myöstöhehkutus vähentää kappaleeseen muokatessa, nopeasti jäädytettäessä, hitsatessa tai lastuavassa työstössä muodostuneita jännityksiä. Vedynpoistohehkutus vähentää esim. sähkökemiallisessa pinnoituksessa teräkseen diffuntoituneen vedyn määrää.

Hehkutusmenetelmiä

Tasausherkutus: Usein käytetty menetelmä valukappaleiden jähmettymisen aikaisten suotautumien liuottamiseksi, tavoitteena mahdollisimman tasalaatuinen koostumus. Tasausherkutus on erityisen tärkeä runsaasti seostetuilla teräslajeilla, joissa seosaineina tai epäpuhtauksina on usein hyvin herkästi suotautuvia aineita, kuten rikkiä, hiiltä tai fosforia. Myös typpi, mangaani, nikkeli, kromi ja pii voivat suotautua voimakkaasti.

Normalisointi: Poistaa aiempien lämpökäsittelyjen vaikutuksia sekä hienontaa raekokoja. Normalisointi tehdään yleisimmin alle 0,8 % hiiltä sisältäville teräksille, joissa on riski epätasaisen raekoon muodostumiselle (esim. valuille, paksuille tuotteille ja takeille, joissa on suuria poikkipintaeroja). Normalisointia käytetään usein muiden lämpökäsittelyiden seurauksena muodostuneen rakenteen tasaamiseksi, terästen lastuttavuuden ja iskutheyden parantamiseen, takeiden nauharakenteen sekä epätasaisen muokkauksen aiheuttaman karkearakaisuuden poistamiseen.

Pehmeäsihehkutus: Runsaasti seostetun teräksen rakenne on kuumamuokkauksen ja normalisoinnin jälkeen usein liian kova muovaavaa tai lastuavaa työstöä varten. Pehmeäksi hehkuttamalla saadaan rakenteesta ferriittis-perliittinen tai palloutunut karbidirakenne.

Myöstöhehkutus: Myöstöhehkutuksella voidaan vähentää materiaalin sisäisiä jännityksiä, joita muodostuu esim. kylmämuokkauksessa, lastuavassa työstössä, nopeassa jäähdytymisessä, valuissa, hitseissä jne.

Vedynpoistohehkutus: Teräkseen voi liueta vetyä esim. hitsauksen, erilaisten pintakäsittelyjen, kuten peittauksen, sähkösinkityksen, kromauksen jne. aikana. Taipumus pintakäsittelyissä syntyvään vetyhaurauteen lisääntyy teräksen lujuuden kasvaessa.

Rekristalisaatiohehkutus: Kylmämuokkauksessa lujittunutta terästä voidaan pehmentää hehkuttamalla sitä lämpötila-alueella 600 °C...A₁. Kappaleen muokkausaste vaikuttaa valittavaan hehkutusmenetelmään. Muokkausasteen ollessa suhteellisen pieni, on normalisointi usein rekristalisaatiohehkutusta parempi vaihtoehto.

Tärkeät tiedot tilauksessa

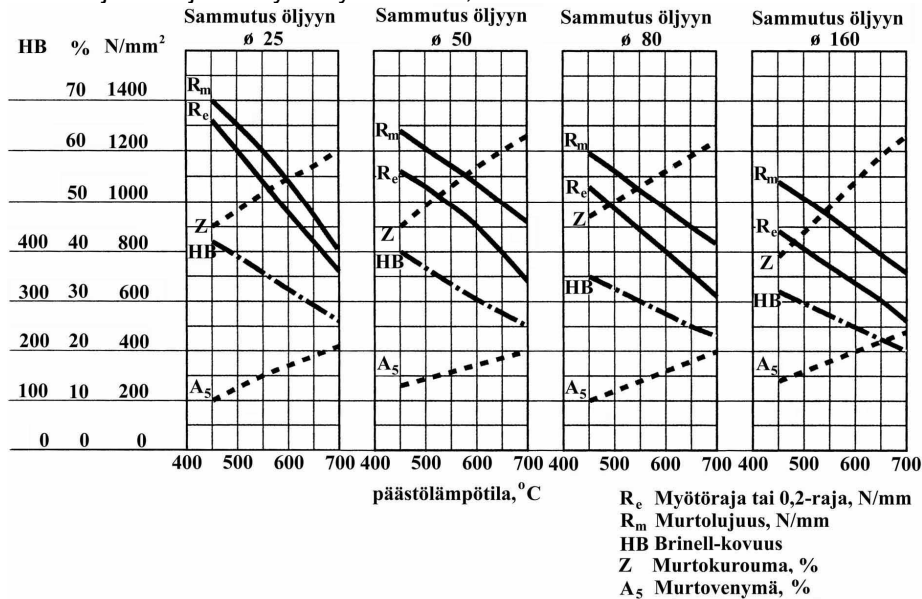
- Tarjouskyselyn liitteenä on hyvä olla kappaleen piirustus, sekä tieto kappaleen mahdollisista aiemmista lämpökäsittelyistä
- Viittaus tarjoukseen tilausta vahvistettaessa
- Tilaajan yhteystiedot mukaan
- Ole aina yhteydessä lämpökäsittelijään, mikäli haluat lisätietoa teknisistä kysymyksistä tai toimitusajoista

Lisätietoa

- Lämpökäsittelyoppi, Kivivuori, S. & Härkönen, S., Teknologianfo Teknova Oy, Tampere, 2009

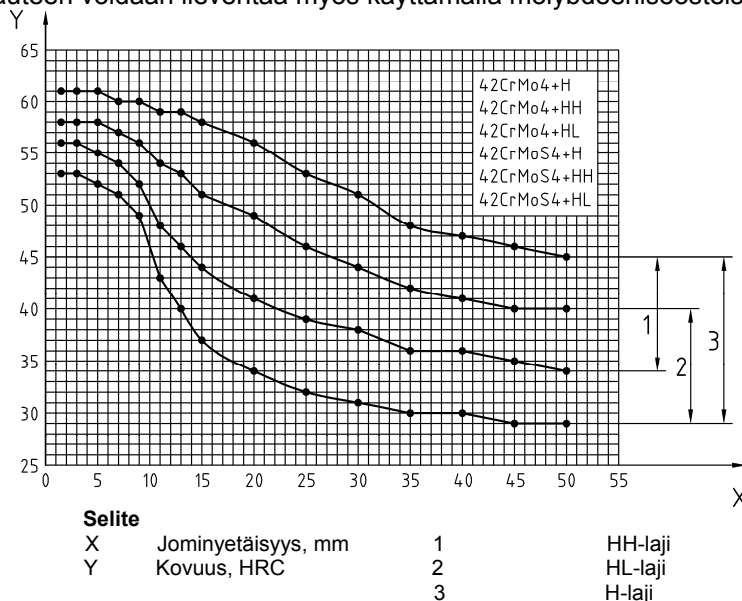
Nuorrtutus

Nuorrtutus on lämpökäsittely, jossa teräs karkaistaan ja sen jälkeen päästetään lämpötila-alueella 500...700 °C. Nuorrtamalla saadaan erinomainen lujuuden, sitkeyden ja väsymislujuuden yhdistelmä. Nuorrtutus on koneenrakennuksen tärkein lämpökäsittely. Nuorrtutus on myös useimmiten induktiokarkaisua ja tyytystä edeltävä lämpökäsittely. Nuorrtuskäsittelyn vaiheet ovat austenitointi- ja karkausvaihe, sammutus ja päästö. Päästöllä on suuri vaikutus nuorrtetun kappaleen ominaisuuksiin. Päästölämpötilaa muuttamalla voidaan valita haluttu lujuuden ja sitkeyden yhdistelmä, ks. kuva 1.



Kuva 1 Esimerkkejä teräksen 42CrMo4 nuorrtuspiirroksista

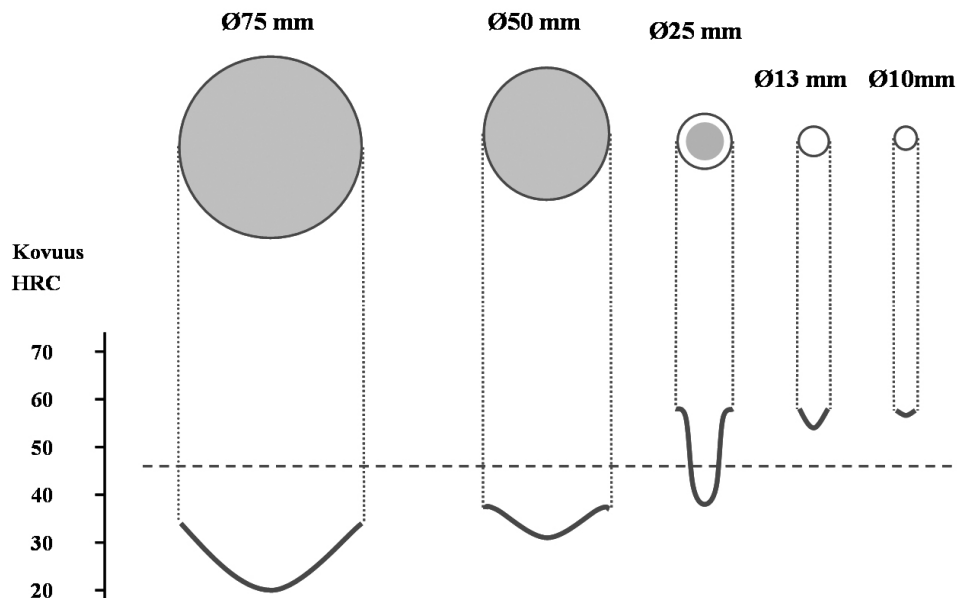
Koska nuorrtutus käsittää teräksen karkausvaiheen ja sitä seuraavan päästön suhteellisen korkeassa päästölämpötilassa, edellyttää nuorrtuksen hallinta teräksen karkenevuuden tuntemista. Karkenevuuseroja on havainnollistettu kuvan 2 jominypiirroksessa, josta havaitaan teräksen karkenevuuden vaihtelu jominy nauhan osoittamissa rajoissa. Terästen ylempi (noin 450...600 °C) ja alempi (noin 300...400 °C) päästöauraus tulee myös ottaa huomioon, sillä näillä lämpötila-alueilla päästettyä teräksen sitkeysarvo alenee. Ylempää päästöaurautta korkeammista lämpötiloista kappale tulisi jäähdyttää nopeasti. Taipumusta ylempään päästöaurautteen voidaan lieventää myös käyttämällä molybdeeniseosteisia teräksiä.



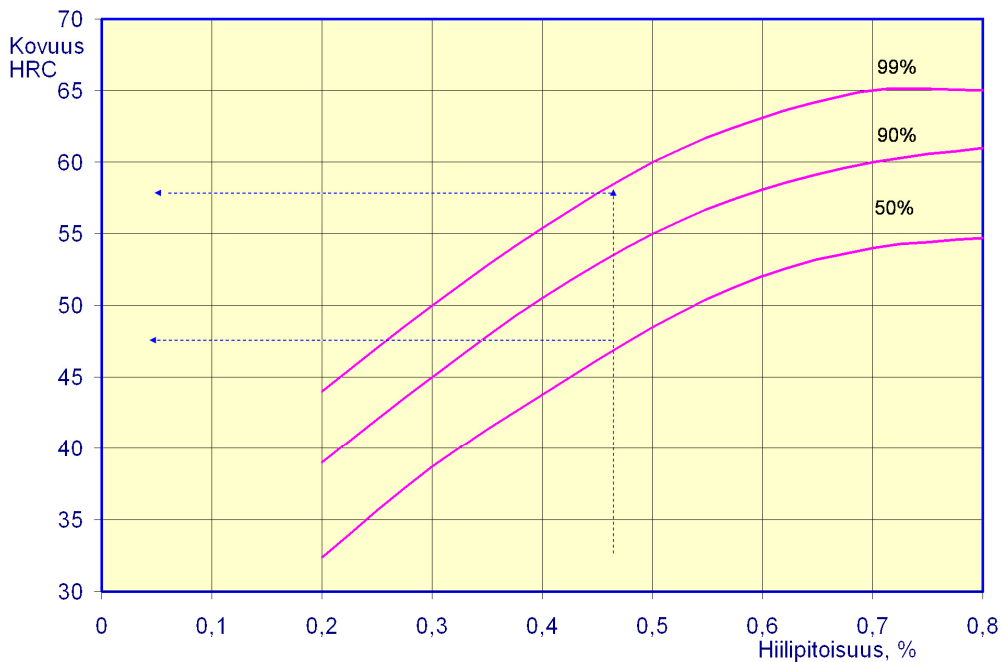
Kuva 2 Nuorrtusteräksen 42CrMo4 jominy nauhat standardin SFS-EN 10083-3 mukaan

Jominykoe

Jominykokeella saadaan tietoa teräksen karkenevuudesta, eli siitä kuinka kovaa teräs on tietyllä syvyydellä kohtisuoraan kappaleen pinnasta. Tähän vaikuttavat teräksen seosaineet, kun taas suurimman saavutettavan kovuuden määrittää lähinnä hiilipitoisuus. Jominykokeessa standardin mukaisesti valmistettu sylinterin muotoinen teräskappale austenoidaan standardin mukaisessa tai erikseen sovitussa lämpötilassa, jonka jälkeen kappale sammutetaan tarkoitukseen rakennetulla laitteistolla, jossa jäähdyttävä vesisuihku kohdistuu kappaleen toiseen otsapintaan. Samaan aikaan toinen otsapinta jäähtyy vapaasti ilmassa. Kappaleeseen muodostuu tällöin eri jäähdytysnopeuksia vastaavia rakenteita. Kun sauva on kokonaan jäähtynyt, sivupinnasta hiotaan 0,5 mm pois ja muodostuneelta tasopinnalta mitataan kovuus sopivin välimatkoin. Mitatuista arvoista muodostetaan jominykäyrä, ks. kuva 2. Kuvaajan vaaka-akselilla on etäisyys vesijäähdytetystä pinnasta ja pystyakselilla tällä etäisyydellä kappaleen pinnasta lukien saavutettu kovuus. Mikäli kappaleen karkenevuus on riittämätön sen paksuuteen nähden, edes pintaan ei välttämättä muodostu 100 % martensiittia, jolloin ei saavuteta täyttä kovuutta. Tätä on havainnollistettu kuvassa 3. Teräksen karkenemissyvyyden on se syvyys pinnasta, jossa martensiittipitoisuus on 50 %. Kuvassa 4 esitetään eri hiilipitoisuuksilla saavutettavia kovuuksia eri martensiittipitoisuuksilla.



Kuva 3 Eri läpimittaisten teräksestä C45E valmistettujen pyörötankojen karkeneminen vesisammutuksessa. Ohuin kappale karkenee kokonaisuudessaan noin kovuuteen 58 HRC ja on täysin martensiittinen. Paksuin kappale jää käytännössä karkenematta.



Kuva 4 Karkaistun teräksen kovuuden riippuvuus hiilipitoisuudesta ja martensiitin osuudesta. Mikäli teräksen hiilipitoisuus on 0,45 % ja martensiitin osuus lähes 100 %, on sen kovuus 58 HRC. Mikäli martensiitin osuus on 50 %, kovuus on 47 HRC.

Nuorrutusteräkset

Nuorrutusteräkset ja niiden ominaisuudet ovat pitkälle standardisoituja. Nuorrutusterästen käyttö Suomessa ja pohjoismaissa on keskittynyt muutamaani lajiin, joita on saatavana myös varastotoimituksina. Varastoista toimitettavat nuorrutusteräkset on nuorrutettu valmiiksi terästehtaalla. Näiden yleisimpien nuorrutusterästen standardin mukaiset koostumukset on esitetty taulukossa 1 ja mekaaniset ominaisuudet taulukossa 2.

Taulukko 1 Yleisimpien nuorrutusterästen koostumuksia standardin SFS-EN 10083-1 mukaan

	% C	% Si max.	% Mn	% P max.	% S max.	% Cr	% Mo	Muut
C45E C45R	0,42...0,50	0,40	0,50...0,80	0,030	0,035	max. 0,40	max. 0,10 %	Cr+Mo+Ni max. 0,63 %
25CrMo4	0,22...0,29	0,40	0,60...0,90	0,025	0,035	0,90...1,20	0,15...0,30	
42CrMo4	0,38...0,45	0,40	0,60...0,90	0,025	0,035	0,90...1,20	0,15...0,30	
34CrNiMo6	0,30...0,38	0,40	0,50...0,80	0,025	0,035	1,30...1,70	0,15...0,30	Ni: 1,30...1,70 %
IMACRO ¹⁾	0,03...0,06	0,40	0,85...1,15	0,025	0,035	3,75...4,25	-	Nb: 0,04...0,08 %

¹⁾ Ei sisälly standardiin SFS-EN 10083-1.

Taulukko 2 Yleisimpien nuorrutusterästen mekaanisia ominaisuuksia nuorrutettuna standardin SFS-EN 10083-2 ja -3 mukaan

	Halkaisija mm	Myötöraja $R_{p0,2}$ MPa, min.	Murtolujuus R_m MPa	Murtovenymä A_5 %, min.	Iskusitkeys KV +20 °C J, min.
C45E C45R	≤ 16	490	700...850	14	-
	> 16...40	430	650...800	16	25
	> 40...100	370	630...780	17	25
25CrMo4	≤ 16	700	900...1100	12	-
	> 16...40	600	800...950	14	50
	> 40...100	450	700...850	15	50
	> 100...160	400	650...800	16	45
42CrMo4	≤ 16	900	1100...1300	10	-
	> 16...40	750	1000...1200	11	35
	> 40...100	650	900...1100	12	35
	> 100...160	550	800...950	13	35
	> 160...250	500	750...900	14	35
34CrNiMo6	≤ 16	1000	1200...1400	9	-
	> 16...40	900	1100...1300	10	45
	> 40...100	800	1000...1200	11	45
	> 100...160	700	900...1100	12	45
	> 160...250	600	800...950	13	45
IMACRO ¹⁾	25...140	700	800...1100	12	(27)

¹⁾ Ei sisälly standardiin SFS-EN 10083-3.

Tärkeät tiedot tilauksessa

- Tarjouskyselyn liitteenä on hyvä olla kappaleen piirustus, sekä tieto kappaleen mahdollisista aiemmista lämpökäsittelyistä
- Viittaus tarjoukseen tilausta vahvistettaessa
- Tilaaajan yhteystiedot mukaan
- Ole aina yhteydessä lämpökäsittelijään, mikäli haluat lisätietoa teknisistä kysymyksistä tai toimitusajoista

Tärkeät tiedot piirustuksessa

- Materiaali, lämpökäsittelytila
- Myötölujuus

Standardit

- SFS-EN 10083-1 Nuorrutusteräkset. Osa 1: Yleiset tekniset toimitusehdot. 2006
- SFS-EN 10083-2 Nuorrutusteräkset. Osa 2: Seostamattomat teräkset. Tekniset toimitusehdot. 2006
- SFS-EN 10083-3 Nuorrutusteräkset. Osa 3: Seostetut teräkset. Tekniset toimitusehdot. 2006
- SFS-EN ISO 642 Teräksen karkenevuuden määrittäminen otsapinnan sammutuskokeen avulla (Jominykoe). 2000

Lisätietoa

- Lämpökäsittelyoppi, Kivivuori, S. & Härkönen, S., Teknologiainfo Teknova Oy, Tampere, 2009
- Raaka-ainekäsikirja 1: Muokatut teräkset, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tampere, 2001

Pintakarkaisu

Pintakarkaisussa saavutetaan suuri pintakovuus säilyttäen ytimen hyvä sitkeys. Pintakarkaisuilla saavutetaan myös väsymislujuutta parantava puristusjännitys kappaleen pintaan. Suuren pintakovuuden saavuttamiseksi voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, kuten hiiletyskarkaisua, typetystä ja induktiokarkaisua. Eri menetelmät vaikuttavat pintaan erilailla, vaikutuksen ulottuessa 0,2 millimetristä yli viiteen millimetriin. Typetys eroaa muista menetelmistä siten, että se ei ole perinteistä karkaisua, sillä siinä muodostuva kovuus ei aiheudu martensiitin muodostumisesta, vaan pintaan muodostuvista nitrideistä ja typen aiheuttamasta liuoslujuuttamisesta. Typetys kuitenkin luokitellaan pintakarkaisumenetelmäksi ja sen etuna ovat vähäiset mittamuutokset.

Induktio

Induktiokarkaisussa kappaletta kuumennetaan sähkövirran ja kelan avulla, jolloin teräskappaleen pintaan indusoituu voimakas virta ja kappaleen pinta kuumenee hyvin nopeasti austeniittialueelle. Kela seuraa välittömästi jäähdytysrengas, jolla kappale jäähdytetään nopeasti. Menetelmä on nopea, mutta vaatii usein kappalekohtaisen kelan, joka nostaa pienien erien kustannuksia. Menetelmässä ei myöskään voida käsitellä kuin yksi kappale kerrallaan. Karkaisusyvyuden määrittämiseksi kappale on rikottava, tätä varten tehdään usein joko sarjan alussa tai/ja lopussa koekappaleet. Karkaisusyvyys on noin 2...5 mm ja kovuus 55...60 HRC. Induktiokarkaisulla saavutetaan hyvä pintapaineen kestävyys, sekä hyvä taivutusväsymislujuus, pinnan repeilyvaara on kuitenkin suuri ja liukuominaisuudet huonot.

Hiiletyskarkaisu

Hiiletyskarkaisussa niukkahiilistä terästä hehkutetaan austeniittialueella hiiltä luovuttavassa väliaineessa. Pinnan sisustaa suurempi hiilipitoisuus saa aikaan suuremman kovuuden karkaisussa, sekä väsymislujuutta parantavan puristusjännityksen kappaleen pintaan. Suurin kovuus saavutetaan usein noin 0,7 % hiilipitoisuudella. Saavutettava maksimikovuus on noin 59...63 HRC, pintapaineen kesto on erinomainen, taivutusväsymislujuus on hyvä, samoin kuin pinnan liukuominaisuudet. Repeilyvaara on pieni.

Typetys

Typetysmenetelmiä on varsin paljon ja yhteistä niille on, että pintaan johdetaan tyyppiä niin matalassa lämpötilassa, ettei teräksessä tapahdu faasimuutoksia ja tästä johtuen ei tapahdu myöskään merkittäviä mittamuutoksia. Käsittelylämpötila kappaleilla on noin 450...600 °C, tavoitteena on erilaisten nitridien muodostaminen kappaleen pintaan ja typen diffuusio nitridikerroksen alla muodostuvaan diffuusiokerrokseen.

Typetysmenetelmiä ovat esimerkiksi kaasutypetys, plasmatypetys, hiilitypetys ja alipainetypetys. Pinta voidaan näiden jälkeen vielä hapettaa. Tällöin puhutaan mustanitruuksesta, jolla saavutetaan typetystä paremmat liukuominaisuudet, sekä parannetaan korroosionkestävyyttä. Typetyskerroksen paksuus on tyypillisesti 0,2...0,5 mm ja kovuus 500...1200 HV 0,1. Typetetyin kappaleen pintapaineen kestävyys on kohtalainen, pinnan taivutusväsymislujuus hyvä sekä pinnan liukuominaisuudet erinomaiset.

Lisätietoa

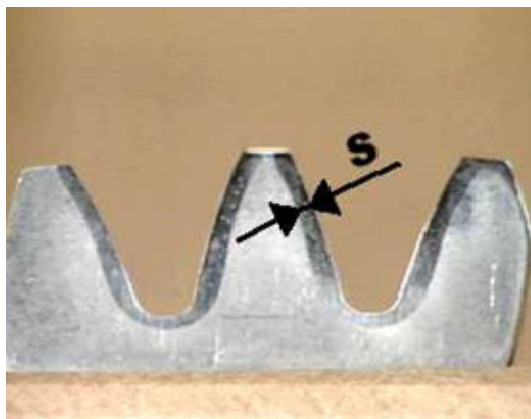
- Lämpökäsittelyoppi, Kivivuori, S. & Härkönen, S., Teknologiainfo Teknova Oy, Tampere, 2009

Liekki- ja induktiokarkaisu

Liekki- ja induktiokarkaisussa kappaleen pinta kuumennetaan 0,5...10 mm syvyydeltä joko kaasuliekin avulla tai sähkömagneettiseen induktioon perustuen A_3 -lämpötilan yläpuolelle. Liekkikarkaisussa kuumennukseen käytetään happi-asetyleenipolttimen liekkiä. Induktiokuumennuksessa pinta kuumennetaan nopeasti keski- tai korkeataajuisella sähkövirralla induktiokelan avulla karkaisulämpötilaan. Välittömästi kuumennuksen jälkeen kappaleen pinta jäädytetään vesi- tai vesiemulsiosuihkulla sekä päästetään.

Kappaleen pintaan muodostuu kova martensiittinen mikrorakenne (ks. kuva 1) sekä suuri puristusjännitystilä, koska pinnan tilavuus kasvaa siihen muodostuvan martensiitin vuoksi. Karkaistun kappaleen pinnasta tulee siis kova kappaleen keskustan mikrorakenteen jäädessä muuttumattomaksi, näin kappale säilyy sitkeänä. Martensiittisen pintarakenteen myötä saavutetaan hyvä pintapaineen- ja kulumisenkestävyys.

Karkaistavan kerroksen syvyyteen voidaan vaikuttaa sähkövirran taajuuden avulla. Induktiokarkaisu on nopea lämpökäsittely, joten mittamuutokset jäävät yleensä pieniksi. Induktiokelan mitat riippuvat karkaistavasta kappaleesta, joten sarjasuuruudella on vaikutus kappalekohtaisiin kustannuksiin. Induktiokarkaistavat kappaleet ovat tyypillisesti pyörähdysymmetrisiä, esim. akseleita, niveltappeja, hammaspyöriä, kiskoja jne. Toteutunut karkaisusyvyys voidaan tarkistaa vain rikkomalla karkaistu kappale ja tutkimalla sen poikkileikkausta. Tämän vuoksi tilauksessa on ilmoitettava, tehdäänkö osalle kappaleista ainetta rikkova tarkastus.



Kuva 1 Induktiokarkaistun hammaspyörän martensiittinen pintakerros

Raaka-aine

Induktiokarkaisussa käytetään joko seostettuja tai seostamattomia nuorrutusteräksiä, joiden hiilipitoisuus on noin 0,3...0,5 %. Teräksille tehdään ennen induktiokarkaisua joko nuorutus tai normalisointi, mutta pehmeäsihekkutusta ei suositella. Soveltuvia teräslajeja on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Liekki- ja induktiokarkaisuun käytettyjen terästen kemiallisia koostumuksia standardien SFS-EN 10083-2 ja -3 mukaan

	% C	% Mn	% Cr	% Mo	% Ni	Muut
C45E	0,42...0,50	0,50...0,80	max. 0,40	max. 0,10	max. 0,40	Cr+Mo+Ni: max. 0,63 %
34CrMo4	0,30...0,37	0,60...0,90	0,90...1,20	0,15...0,30	-	
42CrMo4	0,38...0,45	0,60...0,90	0,90...1,20	0,15...0,30	-	
34CrNiMo6	0,30...0,38	0,50...0,80	1,30...1,70	0,15...0,30	1,30...1,70	
51CrV4	0,47...0,55	0,70...1,10	0,90...1,20	-	-	V: 0,10...0,25 %

Suuremmalla seostuksella saavutetaan induktiokarkaisua edeltävässä nuorutuksessa suurempi lujuus, jolloin induktiokarkaisussa päästään suurempaan syvyyteen. Saavutettavan kovuuden määrää käytetty materiaali, karkenevan kerroksen paksuuteen voidaan materiaalin lisäksi vaikuttaa induktiokarkaisussa käytettävällä sähkövirran taajuudella.

Induktiokarkaisusyvyys

Induktiokarkaisusyvyys merkitään tunnuksella DS ja se on kohtisuora etäisyys kappaleen pinnasta, jossa kovuuskäyrä laskee alle rajakovuuden. Rajakovuus on $DS = 0,80 \times$ pinnan vähimmäiskovuus (HV), ks. kuva 2 ja standardi SFS-EN 10328.

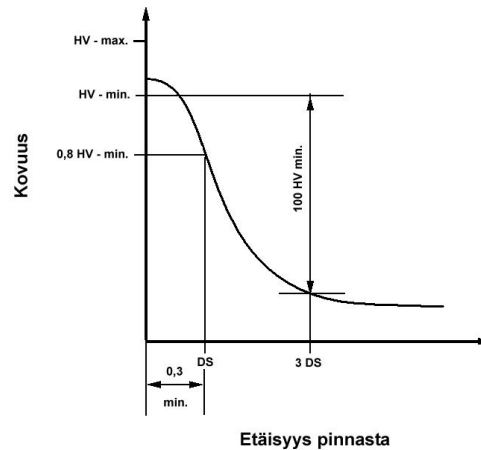
Esim. **2,0+1,6 DS**

jossa

2,0 on nimellisyvyys (= haluttu karkaisusyvyys, mm)

1,6 on toleranssi (mm)

DS on rajakovuus ($0,80 \times$ pinnan vähimmäiskovuus, HV)



Kuva 2 Induktiokarkaisusyvyyden määrittäminen standardin SFS-EN 10328 mukaisesti

Induktiokarkaistava alue

Induktiokarkaus luonteesta johtuen karkaus on mahdollista kohdistaa vain tietylle alueelle kappaleesta. Induktiokarkaus soveltuu huonosti syvien urien ja kolojen karkaisuun.

Tärkeät tiedot tilauksessa

- Tarjouskyselyn liitteenä on hyvä olla kappaleen piirustus, sekä tieto kappaleen mahdollisista aiemmista lämpökäsittelyistä
- Viittaus tarjoukseen tilausta vahvistettaessa
- Tilaajan yhteystiedot mukaan
- Ole aina yhteydessä lämpökäsittelijään, mikäli haluat lisää tietoa teknisistä kysymyksistä tai toimitusajoista

Tärkeät tiedot piirustuksessa

- Materiaali, lämpökäsittelytila
- Karkaisusyvyys
- Pintakovuus
- Kovaksi haluttu alue

Standardit

- SFS-EN 10083-1 Nuorrutusteräkset. Osa 1: Yleiset tekniset toimitusehdot. 2006
- SFS-EN 10083-2 Nuorrutusteräkset. Osa 2: Seostamattomat teräkset. Tekniset toimitusehdot. 2006
- SFS-EN 10083-3 Nuorrutusteräkset. Osa 3: Seostetut teräkset. Tekniset toimitusehdot. 2006
- SFS-EN 10328 Rauta ja teräs. Pintakuumennusmenetelmillä saavutettavan karkaisusyvyyden määrittäminen. 2005

Lisätietoa

- Lämpökäsittelyoppi, Kivivuori, S. & Härkönen, S., Teknologiatieto Teknova Oy, Tampere, 2009

Typetys (nitraus)

Typetysmenetelmiä on varsin paljon ja yhteistä niille on, että pintaan johdetaan typpeä niin matalassa lämpötilassa, ettei teräksessä tapahdu faasimuutoksia ja tästä johtuen ei tapahdu myöskään merkittäviä mittamuutoksia. Typetyksessä saatava kovuus johtuu pintaan muodostuvista nitrideistä sekä typen diffuusiosta nitridikerroksen alle muodostuvaan diffuusiokerrokseen.

Käsittelylämpötila kappaleilla on noin 450...600 °C. Typetysmenetelmiä ovat esimerkiksi kaasutypetys, plasmatypetys, hiilitypetys ja alipainetypetys. Pinta voidaan näiden jälkeen vielä hapettaa (mustanitraus), jolla saavutetaan typetystä paremmat liukuominaisuudet, sekä parannetaan korroosionkestävyyttä. Typetyskerroksen paksuus on tyypillisesti 0,2...0,5 mm ja kovuus 500...1200 HV 0,1. Typetetyn kappaleen pintapaineen kestävyys on kohtalainen, pinnan taivutusväsymislujuus hyvä sekä pinnan liukuominaisuudet erinomaiset.

Typetyksellä saadaan aikaan perusteräkseen verrattuna parempi pinnan kulutuskestävyys, pienempi kitka ja parempi väsymislujuus. Korroosionkestävyyttä voidaan parantaa huomattavasti typetyksen jälkeisellä hapetuksella. Korroosionkestävyys ruostumattomilla teräksillä saattaa kuitenkin heiketä typetyksessä.

Typetys ulottuu 0,1...0,8 mm kappaleen pinnan alle. Mitä syvemmälle vaikutuksen halutaan ulottuvan, sitä pidempään kappaleiden on oltava typetysuunissa. Typetysajat vaihtelevat muutamista tunneista lähes sataan tuntiin.

Typetys on käsittely, jossa karkenemisreaktioita ei tapahdu, siksi myös mittamuutokset ovat pieniä. Lastuavassa työstössä muodostuneet jäännösjännitykset saattavat laueta typetyslämpötiloissa ja aiheuttaa muodonmuutoksia, mikä voidaan estää tekemällä jännityksenpoistohehkus sopivassa työvaiheessa.

Kylmävedetyt materiaalit voivat haurastua typetettäessä. Mikäli kappaleet ovat lujuudeltaan ja iskusitkeydeltään kriittisiä osia, on hyvä olla yhteydessä lämpökäsittelijään jo materiaalivalinnan aikana.

Kappaleiden mukana on toimitettava tilaus, josta tulee ilmetä typetysmenetelmä, raaka-aine ja sen tila, haluttu pintakovuus, sekä typetyssyvyys toleransseineen. Mikäli kappaleessa on typetykseltä suojattavia kohtia, tulee nämä merkitä selkeästi. Mikäli käsittelyssä muodostuvalle kovalle ja ohuelle (noin 10...20 µm) yhdistekerrokselle asetetaan erityisvaatimuksia, on niistä ilmoitettava lämpökäsittelijälle ennen typetystä. Typetettyyn pintaan kohdistuvan rasituksen tyyppi vaikuttaa typetysmenetelmään, joten kappaleen käyttökohde on myös hyvä ilmoittaa.

Varmista lämpökäsittelijän kanssa, että typetyspanoksen koepala on käyttämäsi materiaalia.

Raaka-aine

Lähes kaikki teräkset voidaan typerää. Varsinaisia typerysteräksiä ja niiden keskimääräisiä koostumuksia on lueteltu taulukossa 1. Raaka-aineen standardinimikkeen lisäksi on hyvä ilmoittaa myös materiaalin kaupan nimi.

Taulukko 1 Tyypillisiä typerysteräksiä

	% C	% Al	% Cr	% Mo	% Ni	% V	Ca ppm
32CrAlMo7-10	0,28...0,35	0,80...1,20	1,50...1,80	0,20...0,40	-	-	-
34CrAlNi7-10	0,30...0,37	0,80...1,20	1,50...1,80	0,15...0,25	0,85...1,15	-	-
31CrMoV9	0,27...0,34	-	2,30...2,70	0,15...0,25	-	0,10...0,20	-
42CrMo4	0,38...0,45	-	0,90...1,20	0,15...0,30	-	-	-
IMACRO NIT	0,04...0,12	-	3,70...4,30	0,40...0,60	-	-	-
IMANITE M	0,17...0,25	-	1,20...1,50	0,65...0,80	-	-	30

Ruostumattomien terästen typerykseen käytetään plasmatyperystä tai suolakylpytyperystä, koska kaasussa tehtävä typerys ei onnistu.

Standardissa SFS 5022 esitetään mm. eri materiaalityypeillä saavutettavia pintakovuuksia ja typeryssyvyysä.

Typerysmenetelmät

Typerysmenetelmiä ovat mm. hiilityperys, kaasutyperys, sekä plasmatyperys. Kun typeretty pinta hapetetaan, on kyseessä mustanitraus. Näillä prosesseilla on monia kaupan nimiä, kuten esimerkiksi Nitroc, Blacknite, FinNit jne.

HUOM. Typerihiiletys (carbonitriding, karbonitraus) on hiiletyskarkaisun muunnos, jossa teräksen pintaan lisätään hiilen lisäksi myös typerä, jolla tavoitellaan parempaa karkenevuutta, parempaa kulutuskestävyyttä sekä hitaampaa kovuuden laskua päästössä. Menetelmässä hiiletyskaasuun lisätään 3...5 % ammoniakkia ja lämpötila on hieman hiiletyslämpötiloja matalampi, noin 850...900 °C.

Hiilityperys (nitrocarburizing) on kaasutyperyksen muunnos, jossa typeryksessä käytettyyn uniatmofääriin on lisätty hiilidioksidia, jolloin kappaleen pintaan saadaan muodostumaan karbonitridejä. Pintakovuus ei muodostu yhtä suureksi kuin kaasutyperyksessä, mutta vastaavan kerrospaksuuden aikaansaamiseksi tarvitaan lyhyempi käsittelyaika. Menetelmässä käytetty lämpötila on noin 570 °C.

Typerihiiletystä ja hiilityperystä tilattaessa on siis oltava varsin tarkka termien käytöstä.

Typeryksen esto

Alueet, joihin typeryksen ei haluta vaikuttavan, on tilausvaiheessa selkeästi ilmoitettava lämpökäsittelijälle. Näiden kohtien suojaus tehdään usein maalaamalla ja on otettava huomioon, että maalin poisto typeryksen jälkeen saattaa olla hankalaa.

Pintakovuus

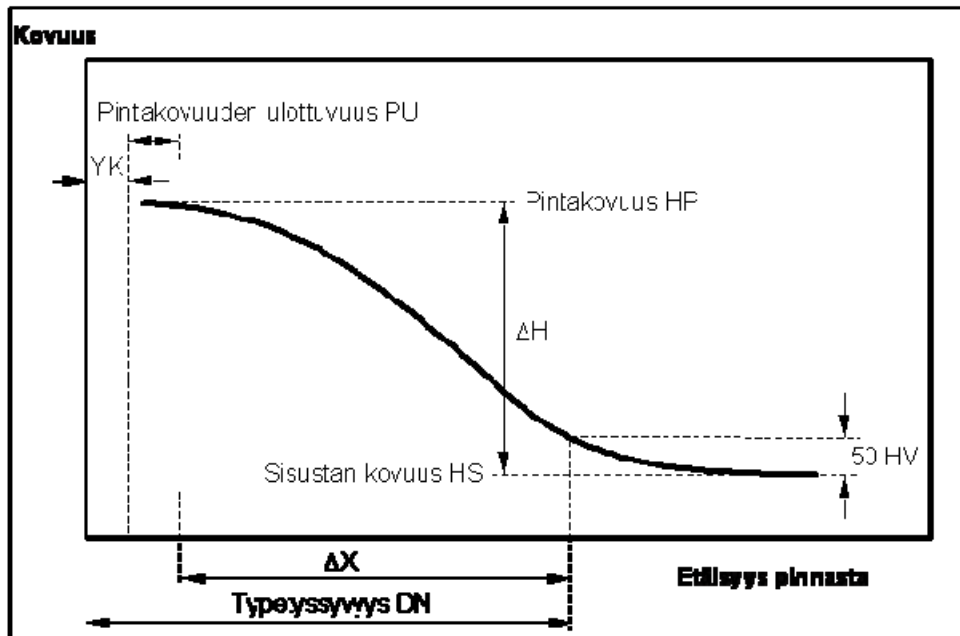
Typeryksessä vain materiaalin pintakerros kovenee, joten kovuusmittaus on tehtävä pienellä koevoimalla. Kovuusjakauma kappaleessa määräytyy ensisijaisesti materiaalin seostuksen mukaan. Seostetummalla materiaalilla saavutetaan suurempi kovuus, tällöin kovuus ei yleensä ulotu yhtä syvälle kuin niukkaseosteisella materiaalilla. Tästä johtuen kovuusmittauksen maksimivoima määräytyy tavoitekovuuden mukaan. Rockwellin tai Brinellin kovuusmittausmenetelmät eivät sovellu typeryskovuuden määrittämiseen.

Typeryssyvyys

Typeryssyvyys merkitään tunnuksella DN ja se määritetään standardin SFS 5022 mukaisesti. Typeryssyvyys on kohtisuora etäisyys kappaleen pinnasta, jossa kovuus laskee alle rajakovuuden (ks. kuva 1). Rajakovuus on kohta, jossa kovuskäyrä on 50 HV yli perusaineen kovuuden. Typeryssyvyys määritetään Vickersin kovuuskokeella standardin SFS-EN ISO 6507-1 mukaisesti koevoimalla HV 0,5 tai HV 1.

Esimerkki typetyssyvyyden merkitsemisestä: **0,3+0,1 DN 350 HV1**

jossa 0,3 on nimellissyvyys (= haluttu typetyssyvyys, mm)
0,1 on yläeromitta (= toleranssi, mm)
DN 350 on rajakovuus (= perusaineen kovuus + 50 HV, perusaine on 300 HV)
HV 1 Vickersin kovuuskoe 1 kg painolla.



Kuva 1 Typetyssyvyyden määrittäminen

Tärkeät tiedot tilauksessa

- Tarjouskyselyn liitteenä on hyvä olla kappaleen piirustus, sekä tieto kappaleen mahdollisista aiemmista lämpökäsittelyistä
- Viittaus tarjoukseen tilausta vahvistettaessa
- Tilaajan yhteystiedot mukaan
- Ole aina yhteydessä lämpökäsittelijään, mikäli haluat lisää tietoa teknisistä kysymyksistä tai toimitusajoista

Tärkeät tiedot piirustuksessa

- Materiaali, lämpökäsittelytila
- Typetyssyvyys
- Pintakovuus
- Yhdistekerros vai ilman

Standardit

- SFS-EN 10085 Typetysteräket. Tekniset toimitusehdot. 2001
- SFS 5022 Teräs. Typetyssyvyys. Mittaus ja määrittäminen. 1984

Lisätietoa

- Lämpökäsittelyoppi, Kivivuori, S. & Härkönen, S., Teknologiainfo Teknova Oy, Tampere, 2009
- Raaka-ainekäsikirja 1: Muokatut teräket, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tampere, 2001

Ruostumattomien terästen lämpökäsittelyt

Kappaleiden mukana on toimitettava asianmukainen tilaus, josta käy ilmi haluttu lämpökäsittelymenetelmä, raaka-aine sekä haluttu kovuus. Mikäli kappaleessa on suojattavia kohtia, tulee ne merkitä selkeästi. Myös aiemmat lämpökäsittelyt tulisi ilmoittaa.

Raaka-aine

Ruostumattomia teräksiä on neljää päätyyppiä, austeniittiset, ferriittiset, martensiittiset ja austeniittis-ferriittiset (duplex) ruostumattomat teräkset. Näistä yleisimpiä ovat austeniittiset ruostumattomat teräkset.

Lämpökäsittelymenetelmät

Austeniittisille ruostumattomille teräksille tehtäviä lämpökäsittelyjä ovat austenitointi, korroosionkestävyyden palauttamisen ja tasaisen rakenteen saavuttamiseksi, sekä jännitystenpoistohehkus. Austeniittisten terästen kovuutta ei voida parantaa karkaisemalla, mutta pintakovuuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa matalan lämpötilan hiiletysellä tietyin rajoituksin.

Austeniittis-ferriittisille teräksille (duplex) suoritetaan lähinnä pehmeäsihehkutusta.

Ferriittisille ruostumattomille teräksille suoritetaan lähinnä pehmeäsihehkutusta sekä matalan lämpötilan hiiletystä, eli kolsterointia. Ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä on tyypillisesti haurausalue lämpötilavälillä noin 370...540 °C, joten kappaleet tulee pehmeäsihehkutuksessa jäähdyttää nopeasti tämän lämpötilan alle.

Matalan lämpötilan hiiletys (kolsterointi): Austeniittisille, austeniittis-ferriittisille (duplex) sekä ferriittisille ruostumattomille teräksille tehtävä pintahiiletys, joka sopii myös nikkelipohjaisten seosten käsittelyyn. Käsittelyssä lämpötila on matala ja käsittelyaika pitkä, jolloin kappaleiden pintaan ei muodostu kromikarbideja. Tämän seurauksena korroosionkestävyysominaisuudet säilyvät, eikä mitta- ja muodonmuutoksia esiinny. Menetelmän rajoituksena on ohut karkeneva kerros sekä matala käyttölämpötila (alle 300 °C). Menetelmän etuna on myös pintaan muodostuva puristusjännistystila, joka parantaa pinnan väsymislujuutta.

Hiiletyspintakarkaisu: Tietyin edellytyksin mahdollista, joissain tapauksissa passivointikerros on ensin poistettava mekaanisesti. Hiiletyspintakarkaisun seurauksena hiiletetyn pinnan korroosionkesto heikkenee.

Martensiittisille ruostumattomille teräksille yleisesti suoritettu lämpökäsittely on karkaisu ja sen jälkeinen päästö, hyvin samankaltaisesti kuin seostamattomille teräksille. Suuremmasta seosainemäärästä johtuen karkenevuus on kuitenkin suurempi ja kappaleet karkenevat varsin hyvin hitaallakin jäähdytyksellä. Ilmajäähdytys kuitenkin alentaa hieman korroosionkestävyyttä ja sitkeyttä, joten usein käytetään öljysammutusta. Martensiittisillä ruostumattomilla teräksillä on haurausalue lämpötilavälillä noin 400...510 °C ja usein tämän välin yläpuolella alue, jolla korroosionkesto heikkenee pysyvästi. Nämä on huomioitava varsinkin päästettäessä ja asetettava lämpötila sen mukaan mieluiten lämpötilavälin 400...565 °C ala- tai yläpuolelle. Suurempi seostus tekee teräkset myös herkemmiksi pienillekin muutoksille lämpökäsittelyssä, jolloin epäonnistumisen vaara kasvaa. Runsashiilisissä seoksissa jäännösausteniitin määrä on huomattava, tähän voidaan kuitenkin vaikuttaa pakkaskarkaisulla.

Plasmatyötys: Ruostumattomia teräksiä on mahdollista plasmatyöttaa, mikäli halutaan teräksen pintaan kova, kulutusta kestävä pinta, jolla on pieni kitkakerroin.

Tärkeät tiedot tilauksessa

- Tarjouskyselyn liitteenä on hyvä olla kappaleen piirustus, sekä tieto kappaleen mahdollisista aiemmista lämpökäsittelyistä
- Viittaus tarjoukseen tilausta vahvistettaessa
- Tilaajan yhteystiedot mukaan
- Ole aina yhteydessä lämpökäsittelijään, mikäli haluat lisää tietoa teknisistä kysymyksistä tai toimitusajoista

Standardit

- SFS-EN 10088-1 Ruostumattomat teräkset. Osa 1: Ruostumattomien terästen luettelo. 2005
- SFS-EN 10088-2 Ruostumattomat teräkset. Osa 2: Yleiseen käyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot. 2005
- SFS-EN 10088-3 Ruostumattomat teräkset. Osa 3: Yleiseen käyttöön tarkoitetut korroosionkestävät tangot, valssilangat, langat, profiilit, kirkaat tuotteet ja puolivalmisteet. Tekniset toimitusehdot. 2005

Lisätietoa

- Lämpökäsittelyoppi, Kivivuori, S. & Härkönen, S., Teknologiainfo Teknova Oy, Tampere, 2009
- Raaka-ainekäsikirja 1: Muokatut teräkset, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tampere, 2001

Alumiiniseosten lämpökäsittelyt

Kappaleiden mukana on toimitettava asianmukainen tilaus, josta käy ilmi haluttu lämpökäsittelymenetelmä, raaka-aine sekä haluttu lujuus. Myös aiemmat lämpökäsittelyt tulisi ilmoittaa.

Raaka-aine

Tyypillisiä lämpökäsiteltäviä alumiiniseoksia ovat 2000-, 5000-, 6000- ja 7000-sarjojen alumiinit.

Lämpökäsittelymenetelmät

Tyypillisiä alumiiniseosten lämpökäsittelyjä ovat:

Tasaushehkutus, jota käytetään tasoittamaan valun yhteydessä syntyneitä seosaineiden suotautumia.

Jännityksenpoistohehkutus, jota käytetään valettujen, muovattujen ja hitsattujen rakenteiden käsittelyyn.

Pehmennyshehkutus, eli rekristallisaatiohehkutus, joka on alumiinin ja sen seosten tavallisin lämpökäsittely kylmämuokkauksen jälkeen. Käsittelyssä muokkauslujittumisen seurauksena lujittunut rakenne pehmenee ja kiteytyy uudelleen.

Erkautuskarkaisu ja siihen liittyvä liuoshehkutus, sekä luonnollinen vanhentaminen tai keinovanhentaminen.

Alumiiniseosten lämpökäsittelytilojen tunnuksat (esim. T6, liuotushehkutettu ja keinovanhennettu) on määritelty standardissa SFS-EN 515.

Taulukko 1 Eri alumiiniseosten lämpökäsittelyjä

Alumiiniseos	Pehmeäsihehkutuslämpötila °C	Liuotushehkutuslämpötila °C	Luonnollinen vanhentaminen h	Keinovanhen-nuslämpötila °C	Keinovanhen-nusaika h
EN AW-2011	380...420	535±5	5...7	175 ± 5	6
EN AW-2014	380...420	505 ± 5	5...7	170 ± 5	8
EN AW-2024	380...420	505 ± 5	5...7	170 ± 5	8
EN AW-6460	380...420	510 ± 10	2	170 ± 5	8
EN AW-6063	380...420	510 ± 10	2	175 ± 5	8
EN AW-6201	380...420	530 ± 10	2	175 ± 5	8
EN AW-6082	380...420	535 ± 10	2	175 ± 5	8
EN AW-6351	380...420	535 ± 10	2	175 ± 5	8
EN AW-6005	380...420	530 ± 10	2	175 ± 5	8
EN AW-7020	400...450	460 ± 10	30	120 ± 5	24
EN AW-7075	400...450	460 ± 10	-	120 ± 5	24

Tärkeät tiedot tilauksessa

- Tarjouskyselyn liitteenä on hyvä olla kappaleen piirustus, sekä tieto kappaleen mahdollisista aiemmista lämpökäsittelyistä
- Viittaus tarjoukseen tilausta vahvistettaessa
- Tilaajan yhteystiedot mukaan
- Ole aina yhteydessä lämpökäsittelijään, mikäli haluat lisää tietoa teknisistä kysymyksistä tai toimitusajoista

Standardit

- SFS-EN 515 Alumiini ja alumiiniseokset. Muokatut tuotteet. Tilojen tunnuksat. 1993

Lisätietoa

- Lämpökäsittelyoppi, Kivivuori, S. & Härkönen, S., Teknologiainfo Teknova Oy, Tampere, 2009
- Raaka-ainekäsikirja 5: Alumiinit, Teknologiainfo Teknova Oy, Tampere, 2006

Kovuusmittaus

Yleisimpiä kovuusmittausmenetelmiä ovat Rockwell, Brinell ja Vickers. Menetelmät eroavat toisistaan mittausalueiden ja mittapään muodon osalta. Eri menetelmillä mitattuja kovuusarvoja voidaan suuntaa antavasti vertailla muunnostaulukkojen avulla, ks. esimerkkinä taulukko 1. Materiaalien ominaisuuksista, kuten kimmokertoimesta, muokkauslujittumisesta jne. riippuen ne käyttäytyvät eri lailla eri kovuusmittausmenetelmillä ja vertailukelpoisuus toteutuu sen vuoksi vain samantyyppisillä metalleilla.

Rockwell-menetelmä (ks. standardi SFS-EN ISO 6508-1) on käyttökelpoinen hyvin laajalle materiaali-valikoimalle muoveista koviin metalleihin. Mittapää on vaihdettavissa tutkittavan materiaalin mukaan, teräkselle käytetään useimmiten timanttikärkeä, jolloin puhutaan HRC-kovuudesta. Rockwellin kovuus mitataan 60, 100 tai 150 kg massalla, käytetystä mittapäästä riippuen. Rockwellin kovuuskokeessa mitataan tunkeumaa kappaleen pintaan ja kovuusarvo luetaan laitteessa olevalta asteikolta.

Vickers-menetelmää (ks. standardi SFS-EN ISO 6507-1) käytetään hyvin laajasti erilaisille metalleille. Mittapää on aina samanlainen, mutta massa on helposti muutettavissa mittaustarpeen mukaan. Kovuus ilmoitetaan esim. koevoimalla HV 10, jossa 10 tarkoittaa 10 kg massaa. Käytetyt massat ovat välillä 0,5...50 kg. Vickersin menetelmässä kovuus määritellään mitattavaan tasoon muodostuneen jäljen poikkipinta-alan avulla. Vickersin menetelmä jättää tutkittavaan kappaleeseen pienimmän jäljen ja on sen vuoksi myös kätevin menetelmä määriteltäessä kovuusjakamaa.

Brinell-menetelmällä (ks. standardi SFS-EN ISO 6506-1) mitataan pehmeitä ja keskikovia metalleja, mittapää on huomattavasti suurempi kuin Rockwell ja Vickers mittauksissa, samoin kuin käytetty massa. Brinellin menetelmässä mitataan näytteen pintaan muodostuneen painauman halkaisijaa. Käytetty massa on 500, 1500 tai 3000 kg.

Taulukko 1 Nuorrutusterästen kovuus - kovuus sekä kovuus - murtolujuus muunnokset nuorrutetussa tilassa standardin SFS-EN ISO 18265 mukaan

HV	HBW	HRC	Murtolujuus MPa	HV	HBW	HRC	Murtolujuus MPa
210	205	(15,3)	651	340	336	35,4	1070
220	215	(17,4)	683	350	345	36,5	1097
230	225	(19,3)	716	360	355	37,6	1128
240	235	21,2	748	370	365	38,6	1159
250	245	22,9	781	380	375	39,6	1189
260	255	24,6	813	390	385	40,6	1220
270	266	26,2	845	400	395	41,5	1250
280	276	27,7	877	410	405	42,4	1281
290	286	29,1	909	420	414	43,2	1311
300	296	30,5	940	430	424	44,1	1341
310	306	31,8	972	440	434	44,9	1371
320	316	33,1	1003	450	444	45,7	1401
330	326	34,3	1035	460	453	46,4	1430

HUOM. Katso kovuusarvojen muuntamiseen liittyvät varoitukset ja huomautukset standardista SFS-EN ISO 18265.

Standardit

- SFS-EN ISO 6506-1 Metallien Brinellin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. 2006
- SFS-EN ISO 6507-1 Metallien Vickersin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. 2006
- SFS-EN ISO 6508-1 Metallien Rockwellin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. 2006
- SFS-EN ISO 18265 Metallien kovuusarvojen muuntaminen. 2004