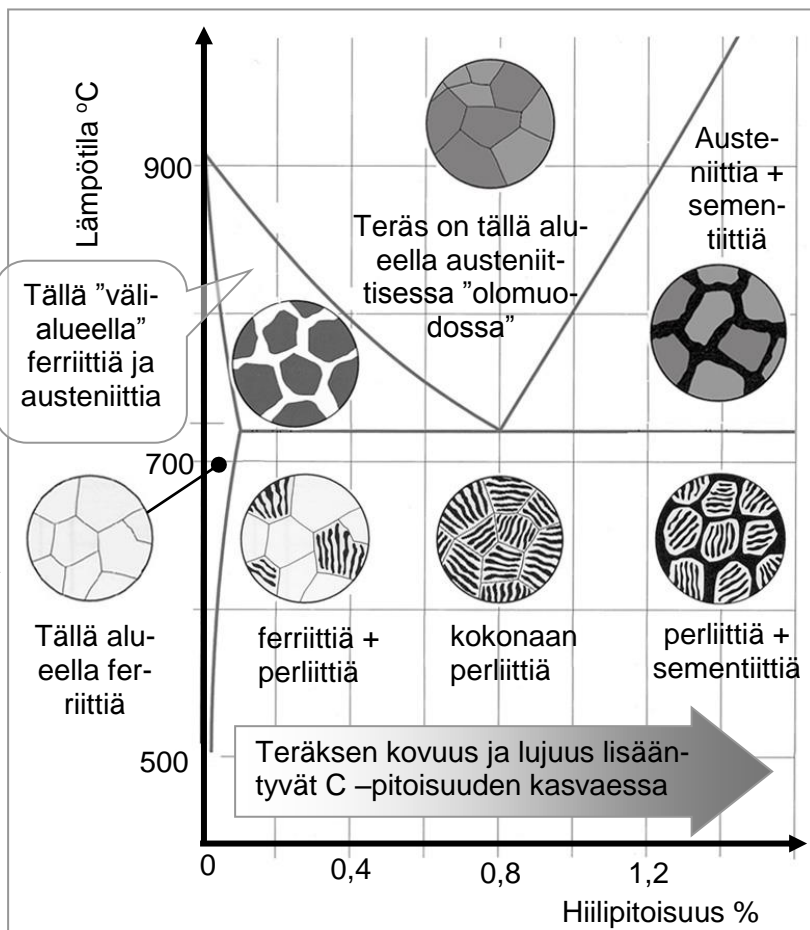
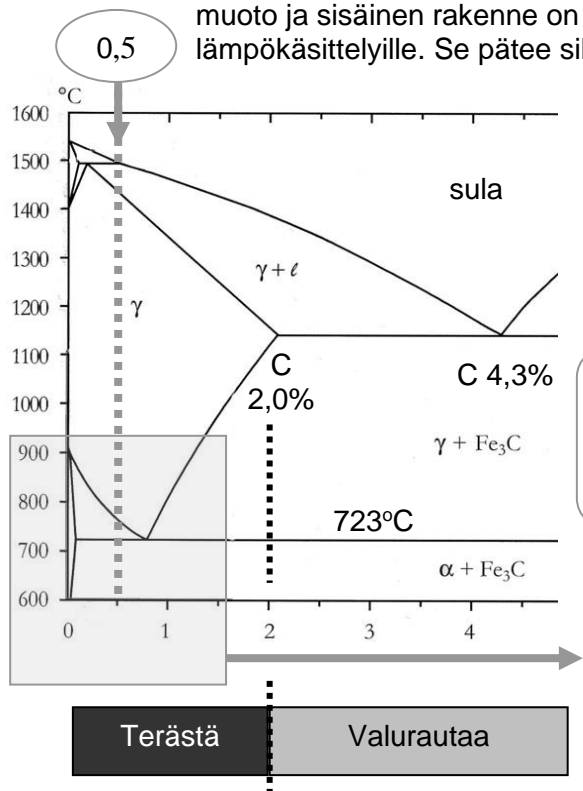


Terästen lämpökäsittelyt

Tämän monisteen avulla syvennetään materiaalien ominaisuuksien tuntemusta ja opitaan tärkeitä käsitteitä. Nyt perehdytään lämpökäsittelymenetelmiin.

Lämpökäsittelyt

Kuvassa on osa **rauta-hiili -tasapainopiirroksesta**. Siitä selviää millainen teräksen olomuoto ja sisäinen rakenne on eri lämpötiloissa ja eri hiilipitoisuuksilla. Piirros on peruskivi lämpökäsittelyille. Se pätee silloin, kun teräksen lämpötila muuttuu hitaasti.



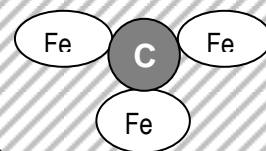
Olomuotojen muutokset tapahtuu piirroksen mukaan, jos lämmitämme tai jäähdytämme kappaletta. Olotilanmuutokset tapahtuvat näin, jos lämpötila muuttuu hyvin hitaasti.

Tasapainopiirroksessa on teräksen olomuodoille annettu vaikeantuntuisia nimiä. Seuraavassa lyhyt sanallisen selitys piirroksen käsitteille.

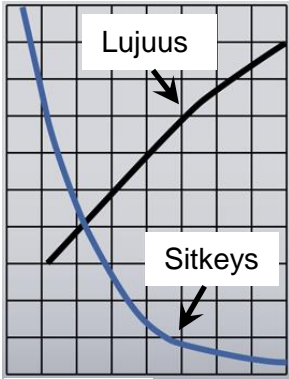
Teräs on korkeissa lämpötiloissa austeniittisessä olomuodossa. Se on silloin kiinteää, pehmeää ja helposti muovattavaa sekä epämagneettista. Lämpötilan laskiessa austeniittialueen rajojen alapuolelle, se hajaantuu. Kun lämpötila on laskenut noin 720 °C, austeniittinen olomuoto on muuttunut kokonaan toiseksi.

Lämpötilan laskiessa edelleen hitaasti ja hiilipitoisuuden ollessa alle 0,8 %, austeniitti muuttuu ferriitiksi ja perliitiksi. Ferriitti on puhdasta rautaa. Se on pehmeää ja sen lujuus on alhainen. Teräs, jossa on täsmälleen 0,8 % hiiltä, on kokonaan perliittiä. Sen lujuus on hyvä. Jokainen perliittirae koostuu juovista, joissa on vuorotellen pehmeää ferriittiä ja kovaa ja haurasta sementtiittiä.

Perliitissä on ferriittipohjalla sementtiittiä



eli Fe₃C:tä

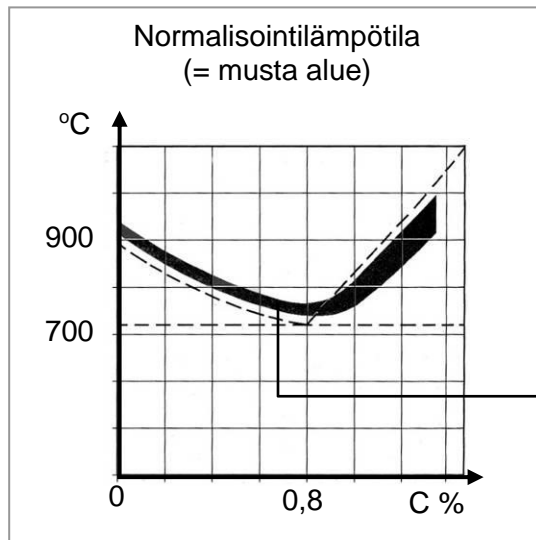
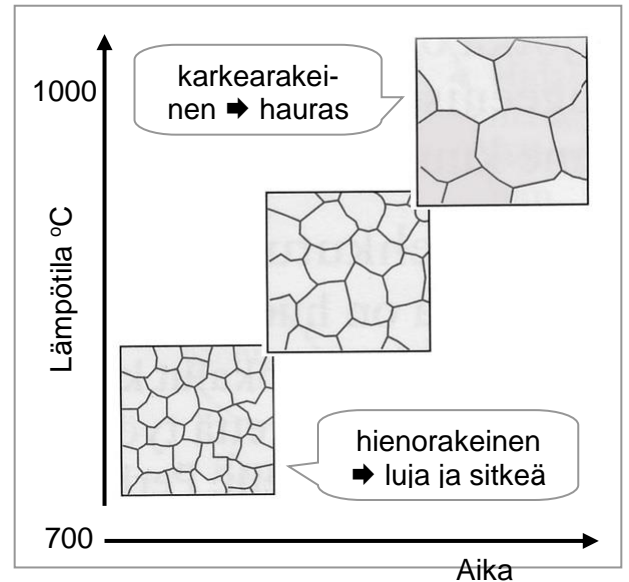


Kun hiilipitoisuus edelleen kasvaa, alkaa raerajoille muodostua sementtiittiä ja teräs muuttuu kovemaksi, mutta myös hauraammaksi. Tällainen teräs on liian haurasta. Se ei sovellu teräsrakenteissa käytettäväksi.


Tarkastelemme seuraavaksi tavallisimpia lämpökäsittelyjä. Niillä parannetaan lujuutta, vaikutetaan kovuuteen, palautetaan teräksen raerakenne entiselleen tai poistetaan kappaleen sisäisiä jännityksiä. Seuraavat hehkutukset ovat tavallisimpia:

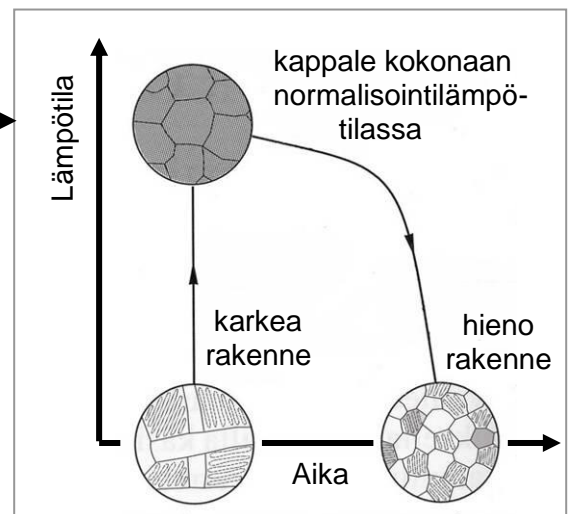
- Normalisointi
- Pehmeäsihehkutus
- Myöstöhehkutus (= jännitystenpoistohehkutus)

Teräsvaluissa ja paksujen teräslevyjen kuumavalssausta tapahtuu korkeassa (noin 1250°C) lämpötilassa ja raerakenne muodostuu karkeaksi ja epätasaiseksi. Aineen lujuus ja sitkeys kärsivät. **Normalisointihehkutuksella** saadaan aikaan tasainen ja hienorakeinen rakenne (= luja ja sitkeä rakenne).



Teräs kuumennetaan austeniittialueelle niin, että se on läpikotaisin lämminyt normalisointilämpötilaan. Pitoaika on lyhyt eikä rakeet ehdi kasvaa. Jäähdytys tapahtuu hitaasti ilmassa. Tuloksena on hienorakeinen ferriitis-perliittinen rakenne.

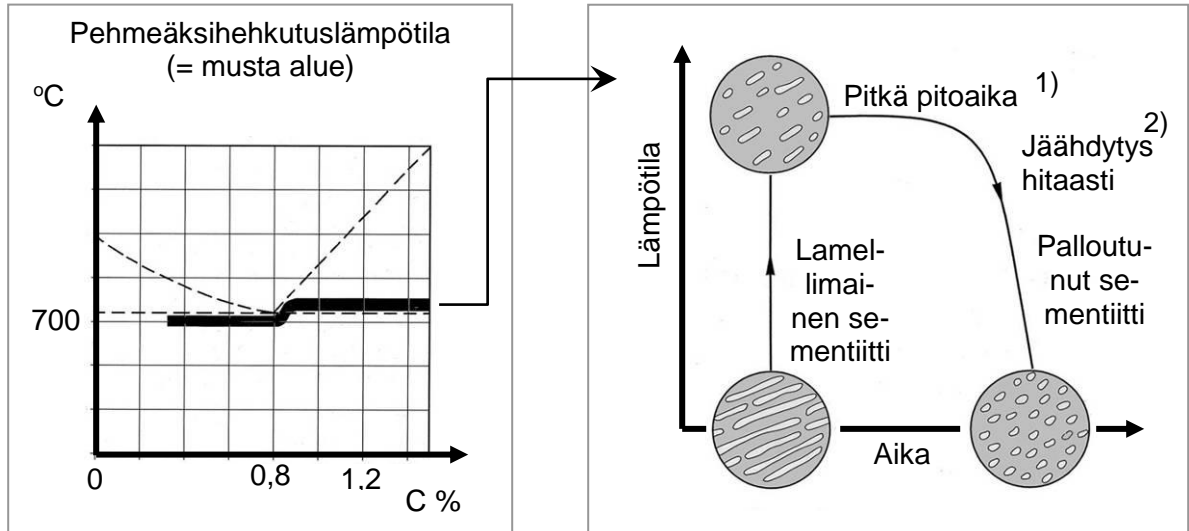
S355J2 + N 
rakenneteräksen merkintä kertoo, että teräslevy on **normalisoitu** tai normalisointivalssattu



Yleisenä ohjeena lämpökäsittelyissä (ja muutenkin teräksen lämmittämisessä) on, että käytetään mahdollisimman matalaa lämpötilaa ja lyhyttä käsittelyaikaa (vrt. rakenne kasvun aiheuttamat haitat).

Pehmeäsi hehkutus tehdään lähinnä työkaluteräksiselle kappaleelle, jos sen rakenteessa on paljon lamellimaista sementtiittiä. Se ei sovellu siksi hyvin lastuavaan työstöön. Terät kulu-

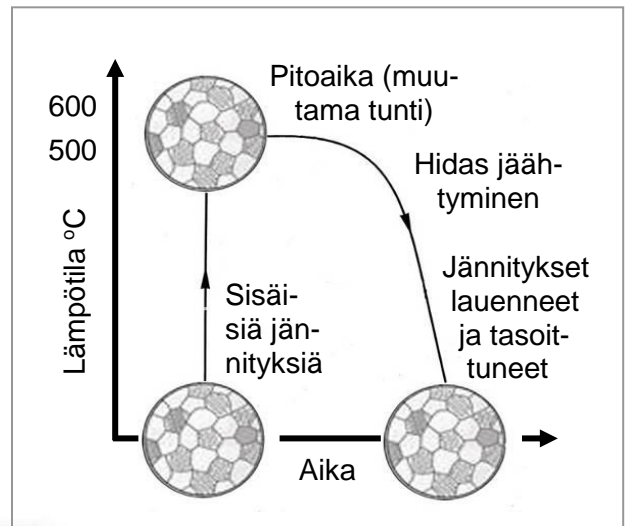
vat nopeasti. Kun perliitin sementtiilamellit muutetaan pyöreiksi palloiksi, lastuaminen sujuu paremmin. Tämä saadaan aikaan pehmeäsihekkuttamalla kappale.



- 1) Hiilipitoisuuden ollessa alle 0,8 % teräs kuumennetaan 10-15 tuntia ja kun C -pitoisuus on yli 0,8 % hehkutusaika on 2-4 tuntia.
- 2) Jäähdytys tehdään hitaasti lämpötilaan 550 °C saakka ja sen jälkeen kappaleen annetaan jäähtyä vapaasti ilmassa.

Teräksen syntyä sisäisiä jännityksiä esim. hitsauksessa. Jännitykset aiheuttavat muodonmuutoksia ja voivat laueta kappaletta koneistettaessa. Ne lisäävät halkeamavaaraa ja vääntymistä. Sisäisten jännitysten poistamiseksi ja tasoittamiseksi kappaleelle tehdään **myöstö- eli jännityksenpoistohehkutus**.

Jännitystenpoistohehkutuksessa teräskappale kuumennetaan 500-600°C:een ja pidetään tässä lämpötilassa muutaman tunnin ajan. Sen jälkeen sen annetaan jäähtyä hitaasti ilmassa.



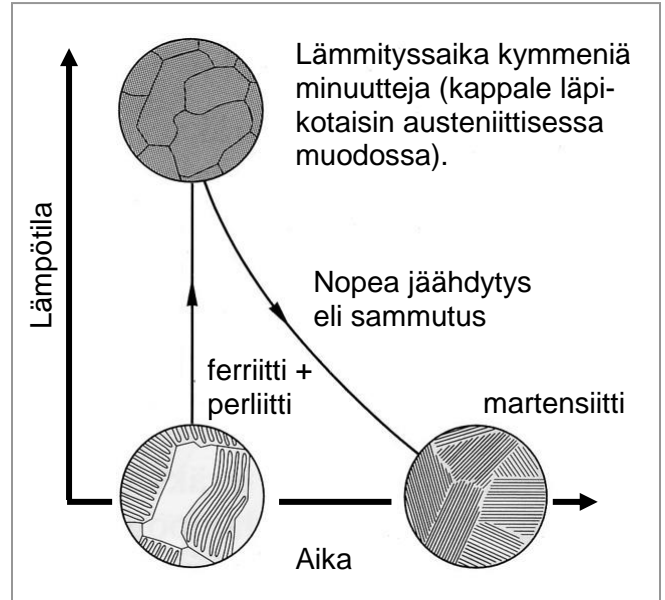
Jännitystenpoisto- eli myöstöhehkutus on tärkein lämpökäsittely hitsatuissa rakenteissa. Se ei vaikuta mikrorakenteeseen, mutta laukaisee ja tasoittaa hitsauksessa kappaleeseen tulleet jännitykset ennen koneistusta.

Karkaisu ja päästö

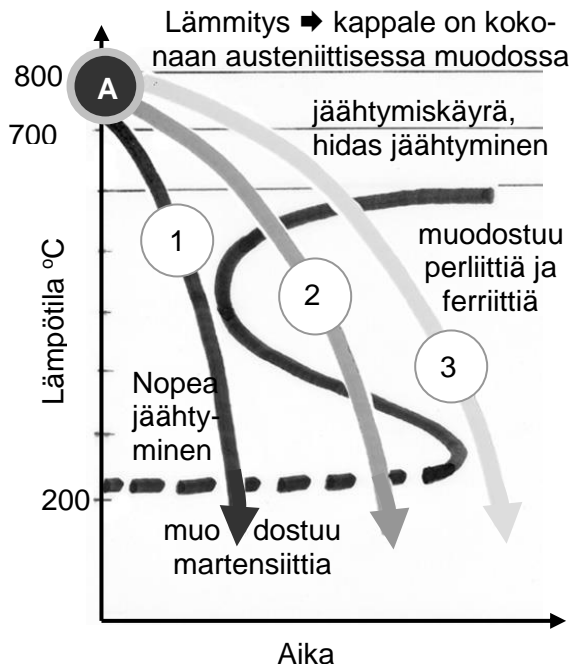
Teräksen karkeneminen edellyttää riittävän korkeaa hiilipitoisuutta. Siitä voi olla haittaakin. Hitsaaja tietää, että karkenemisestä johtuva kylmähalkeama-vaara ja kappaleen esilämmittämisen tarve on silloin, kun teräksessä on liikaa hiiltä.

Teräs karkaistaan, jotta siitä tulisi kovempi ja lujempi. Tällöin teräs menettää sitkeyttä. Teräs kuumennetaan aluksi austeniittialueelle eli yli 720 °C. Tämän jälkeen se jäähdetään niin nopeasti, ettei se ehdi muuttua tasapainopiirustuksen mukaisesti ferriitiksi ja sementiitiksi. Nopeassa jäähdytyksessä siitä tulee kovaa ja haurasta martensiittia.

Teräksen tulee sisältää vähintään 0,3% hiiltä, jotta martensiittia muodostuisi. Kovuus kasvaa hiilipitoisuuden kasvaessa. Maksimikovuus (68 HRC) saavutetaan 0,7% hiilipitoisuudella.



Teräksen seostus määrää karkaisussa tarvittavan jäähtymisnopeuden. Nopeassa jäähdyttämisessä käytetään vettä. Jos sammutukseen riittää pienempi jäähtymisnopeus, kappale voidaan jäähdyttää öljyssä tai jopa ilmassa.



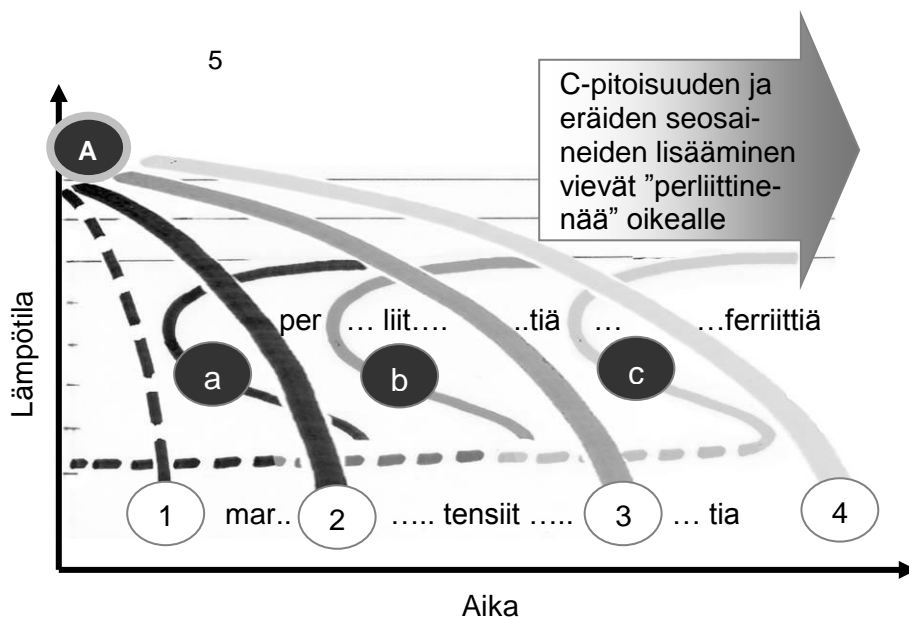
Jos kappale jäähtyy hyvin hitaasti, teräksen olotila muuttuu rauta-hiili-tasapainopiirroksen mukaan. Kun karkaisussa kappale jäähdetään nopeasti, olotilamuutoksen voi nähdä materiaalin S-käyrästä (= TTT-käyrä).

Käyrä ① kertoo, että nopea jäähditys (esim. vesijäähditys) tekee rakenteesta kovan ja hauraan (= martensiitti). Jos jäähtyminen on hitaampaa (esim. sammutus öljyyn) eli jäähtymiskäyrä ②, teräksestä tulee osaksi martensiittia ja osaksi pehmeää ja sitkeää ferriittiä ja perliittiä. Ja jos jäähtyminen on vielä hitaampaa (esim. jäähtyminen ilmassa) eli käyrä ③, ei karkenemista (= martensiitin muodostumista) tapahdu ja teräs jää pehmeäksi ja sitkeäksi.

Jäähtymisnopeus ei riipu yksinomaan siitä, mihin aineeseen kappale jäähdetään. Käyrät ① - ③ kertovat paksulla aineella, että pinta jäähtyy nopeasti ja karkenee, mutta sisäosat jäävät pehmeiksi ja sitkeiksi.

S-käyrän ”perliittinenän” etäisyys pysty akselista vaihtelee eri teräksillä. Siihen vaikuttavat seosaineet ja erityisesti teräksen hiilipitoisuus. Jos hiilipitoisuus on hyvin pieni, kuten hitsattavilla rakenneteräksillä on, sitä ei saa karkenemaan nopeallakaan jäähdyttämisellä. Jos hiilipitoisuus on suurempi, kuten työkaluteräksillä, se karkenee hyvin.

Kuvaan on piirretty kolmen eri teräksen S-käyrät: (a) -käyrä kuvaa hyvin hitsattavaa rakenneterästä, (b) -käyrä lujempaa rakenneterästä ja (c) -käyrä työkaluteräksen S -käyrä.



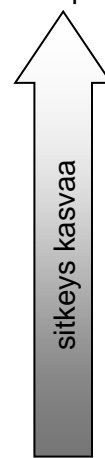
Jäähtymiskäyrä (1) kuvaa erittäin tehokasta kappaleen jäädyttämistä ja (4) hyvin hidasta jäähtymistä.



Kuvan karkaistu rengas nohtui nurkkaan pitkähköksi aikaa karkaisuhehkutuksen jälkeen. Sitä ei päästöhehkutettu. Mikä tai kuka on mahtanut repiä renkaan palasiksi?

Karkaistuun kappaleeseen syntyy suuria sisäisiä jännityksiä. Se johtuu karkenemisestä ja martensiitin muodostumisesta. Martensiitti pyrkii paisuttamaan tilavuutta, mutta karkenematon osa pistää hanttiin. Koska tilavuudenmuutos ei ole kappaleessa tasaista, jännityksiä muodostuu. Siksi heti karkaisun jälkeen tehdään **päästöhehkutus** noin 200 °C lämpötilassa. Sillä poistetaan sisäisiä jännityksiä, lisätään teräksen sitkeyttä sekä vaikutetaan kovuuteen ja lujuuteen.

Korkea päästölämpötila



Matala päästölämpötila

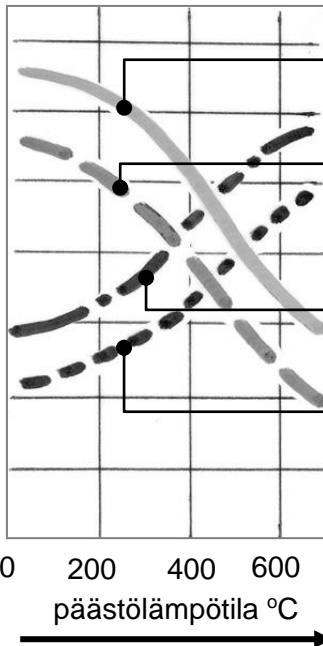
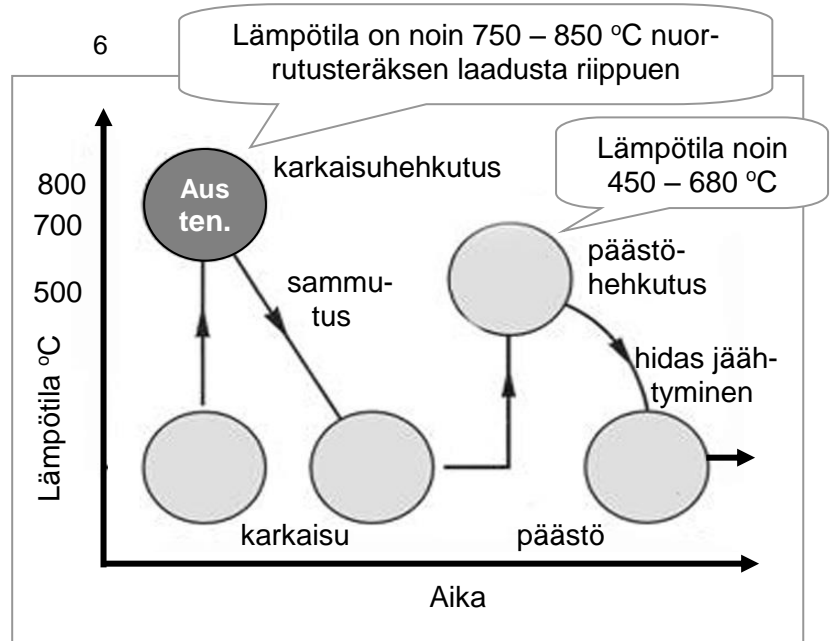
Nuorutus

"Paras lujuusominaisuuksien ja sitkeyden yhdistelmä saavutetaan teräksessä nuorutuksella."



Karkaisua, jota seuraa päästö korkeassa lämpötilassa, sanotaan nuorrutukseksi. Tavoitteena on saada materiaalille korkea lujuus ja erinomainen sitkeys samanaikaisesti.

Nuorrutuksessa tehdään ensiksi karkaisuhehkutus. Sen jälkeen kappale jäädytetään nopeasti eli sammutetaan edellä kerrotun karkaisun mukaisesti. Jäähdytystä seuraa päästö korkeassa lämpötilassa.

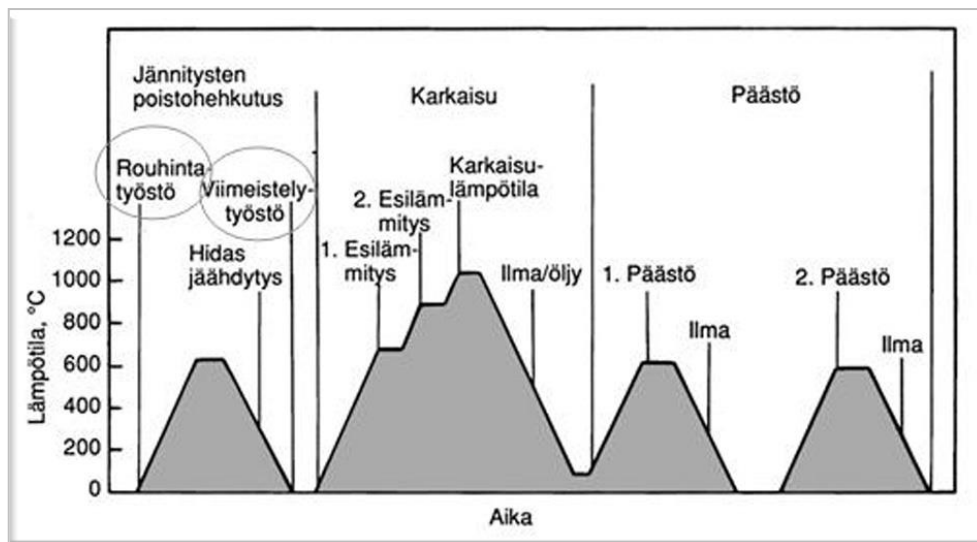


Päästölämpötilan vaikutukset karkaistun teräksen ominaisuuksiin:

- Lujuus (myötö- ja murtolujuus) laskee päästölämpötilan noustessa.
- Kovuus pienenee päästölämpötilan noustessa.
- Venymä lisääntyy päästölämpötilan noustessa.
- Sitkeys paranee päästölämpötilan noustessa.

Nuorrutusteräksen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa päästölämpötilaa muuttamalla. Jos halutaan kova ja luja, valitaan matalahko päästölämpötila. Jos taas tavoitteena on sitkeä, valitaan korkea päästölämpötila.

Esimerkki erään työkaluterästyökalun valmistuksesta ja sen lämpökäsittelyistä:



Pintakarkaisumenetelmiä

Joskus halutaan valmistaa tuotteita, joilla on kova pinta, mutta pehmeä ja sitkeä sisusta. Tällaisia ominaisuuksia tarvitaan esimerkiksi hammaspyörän hampailta sekä kuljetusketjun akseliilta ja holkilta. Kova pinta saadaan pintakarkaisulla.



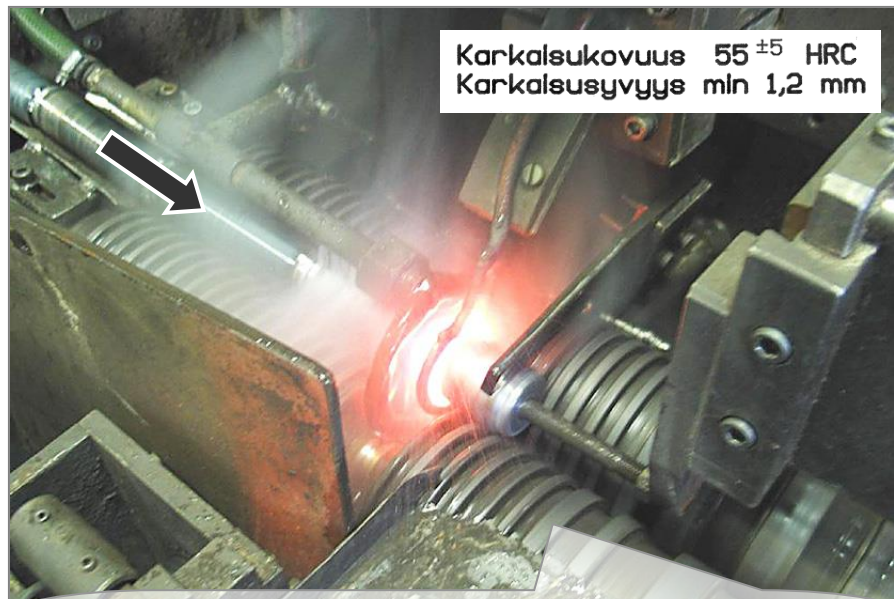
Kova ja kulutusta kestävä pinta.



Hiiletyskarkaisussa käytetään hiiletysterästä. Sen hiilipitoisuus on niin matala, että se ei karkene. Siksi pinnan hiilipitoisuutta nostetaan hiilettämällä. Se voi tapahtua esimerkiksi hiilipitoisella kaasulla täytetyssä uunissa, jonka lämpötila korkea (900 °C). Siellä kappaleen pintaan tulee imeytyä ohut (esim. 0,4 mm) kerros, jonka hiilipitoisuus on 0,6 - 1,2 %. Hiiletyksen jälkeen teräs voidaan karkaista ja päästää tavalliseen tapaan, jolloin vain ohut pintakerros karkenee, mutta sisäosa ei.

Induktiokarkaisulla voidaan aikaansaada karkenevasta teräksestä (esim. nuorrutusteräs) tehdyn akselin pinnalle lisää kovuutta tai akselille väsymislujuutta. Akselin pintakerroksen kuumennus tehdään sähkökelalla. Se kuumentaa pintakerroksen. Jäähdytys seuraa heti kuumennuksen perässä, sammutus tekee vesisuihku.

Pintakarkaisulla parannetaan myös akselin väsymislujuutta, koska pintakarkaisu saa aikaan kappaleen pintaan puristusjännityksen.



Induktiokarkaisussa akselit ja holkit kulkevat "jatkuvana virtana" sähkökelan läpi → pinta kuumenee austeniittialueelle nopeasti → kuumennusta seuraa välittömästi nopea jäähdytys (sammutus)