

Puukkoteräksset

Juha Perttula

www.terastieto.com

Sisällysluettelo

Esipuhe 3

1. Rauta ja teräs 4

Meteoriittirauta 4, Malmista takoraudaksi ja teräkseksi 6, Valurauta 6, Valuraudan mellotus 7, Takoraudan hiiletys teräkseksi 7, Vanhan ajan upokasteräs 7, Moderni teräksenvalmistus 8, Kirjoja metalleista ja metallien historiasta 8

2. Teräksen sisäinen rakenne 9

Dendriitti-kiteet 9, Austeniitti-, ferriitti- ja perliittirakeet 9, Sementiitti 9, Grafiitti 10, Martensiitti 10

3. Hiiliteräksen lämpökäsittely 12

Austenointi ja rakeenkasvu 12, Normalointi 13, Pehmeäksihehkutus 14, Karkaisuhehkutus 15, Sammutus 16, Päästö 17, Päästöhaaraus 19, Teränsuukarkaisu 20, Hapettuminen ja hiilenkato 21

4. Takominen 22

Mustat lappeet 22, Teräksen ylitämpeneminen ja palaminen 23, Ylikorkeahiilisen teräksen takominen 23, Ahjohitsaus 24

5. Terän mekaaniset ominaisuudet 25

Kovuus 25, Sitkeys 26, Kovuus ja kulumiskestävyys 28, Karbidit ja kulumiskestävyys 29

6. Seosaineet 32

Rikki- ja fosforiepäpuhtaudet 32, Mangaani 32, Pii 33, Tiivistäminen – Pii ja Alumiini 33, Rakeenkasvun ehkäisy – Alumiini ja Vanadiini 34, Nikkeli 36, Kromi 38, Molybdeeni 38

7. Teräaineet 39

Hiiliteräkset 40, Hiiliteräs ja vanadiinilisäys 41, 80CrV2 41, Nikkeliteräs 41, O1 työkaluteräs 42, 100Cr6 laakeriteräs 43, 115CrV3 ”hopeateräs” 43, Ruostumattomat teräkset 44, Yhdistelmäteräs 45, Ahjohitsattu Damascus teräs 45, Wootz Damascus teräs 47, Meteoriittirauta ja -teräs 48

8. Puukko 50

Esipuhe

Teräksestä on taottu teriä jo tuhansien vuosien ajan, mutta siitä huolimatta puukkoterästen metallurgiaan liittyvien perusasioiden tuntemisessa on runsaasti puutteita. Tietoa on unohtunut, se on hajanaista sekä tosiasiat ja uskomukset ovat menneet sekaisin. Tämä kirja pyrkii selventämään puukkometallurgian perusteita ja vastaamaan aiheen oleellisimpiin kysymyksiin.

Metallurgian kirjallisuuteen perehtymisen lisäksi olen tehnyt noin tuhat puukkoteräksiin liittyvää laboratoriokoetta. Siten voin perustaa tässä kirjassa esittämäni tiedot yleisesti hyväksytyihin metallurgisiin tosiasioihin ja omiin havaintoihini.

Vaikka tämä kirja on melko lyhyt, tiedossani ei ole toista kirjaa, joka käsittelisi yhtä yksityiskohtaisesti ja kattavasti puukkoterästen metallurgiaa.

Tämän kirjan alkuperäinen versio julkaistiin elokuussa 2011. Sen jälkeen kirjaan on tehty pieniä parannuksia. Nyt tammikuussa 2015 kirja on kirjoitettu entistä paremmaksi ja siihen on lisätty uusia mittaustuloksia.

1. Rauta ja teräs

Raudalle ja teräkselle ei ole oikeaa tieteellistä määritelmää, vaikka jotkut insinöörit ovat sellaisia yrittäneet keksiä. Nykyajan puhekielessä rauta-sanalla viitataan kemiallisen Fe-symbolin omaavaan alkuaineeseen ja teräksellä tarkoitetaan siitä seostamalla parannettua materiaalia, jota voidaan muokata valssaamalla tai takomalla. Rauta-sanaa voidaan käyttää aina. Samalla tapaa kuin 18 karaatin kultasormusta voidaan sanoa kultasormukseksi, vaikka siinä on vain 75% kultaa.

Vanhaan aikaan käytettiin niukkahiillistä takorautaa, korkeahiillistä terästä ja ylilpaljon hiiltä sisältävää valurautaa. Jaottelu näiden materiaalien välillä tehtiin niiden erilaisten ominaisuuksien perusteella. Takorautaa ja terästä voidaan takoa, mutta valurauta murenee taottaessa. Takoraudan kovuus säilyy ennallaan karkaisussa, kun teräksen ja valuraudan kovuus lisääntyy. Tosin karkaistu valurauta on käyttökelvottoman haurasta. Teollistumisen myötä takorauta unohtui ja opittiin valamaan terästä.

Meteoriittirauta

Ihminen käytti rautaa ennen kuin hän osasi valmistaa sitä. Vielä 1800-luvulla Grönlannin eskimot elivät paljolti kivikautista kulttuuria, mutta käyttivät myös rautaisia työkaluja. Osa raudasta oli saatu kauppatavarana, mutta osa siitä oli hankittu omista lähteistä.

Eskimot saivat raaka-ainetta Cape Yorkiin pudonneesta valtavasta meteoriittimassasta, jonka kappaleita oli levinnyt kymmenien kilometrien laajuiselle alueelle. Paikalliset eskimot olivat ikimuistoisista ajoista lähtien irrottaneet vaivalloisesti basaltti-kivestä tehdyillä työkaluilla tonnien painoisista meteoriitin emäkappaleista pienempiä palasia käytettäväksi veitsiin ja harppuunan kärkiin. Samoin voidaan olettaa kivikauden ihmisten käyttäneen meteoriittirautaa, vaikka siitä tehtyjä esineitä ei olekaan säilynyt samalla tavalla kuin kiviesineitä. Muinaisia meteoriittiraudasta tehtyjä teriä ei karkaistu.

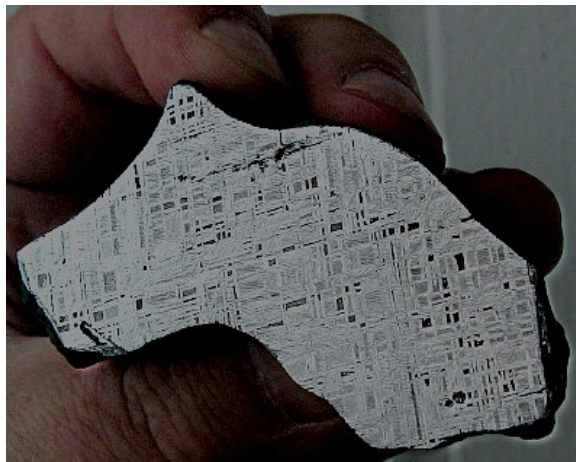
Muinaisesta meteoriittiraudan hyödyntämisestä kertoo tunnettujen meteoriittilöydöksiä vähäinen määrä kauan asuttuina olleilta alueilta. Vanhasta maailmasta peräisin olevia rautameteoriittilöydöksiä ei ole tiedossa juuri ollenkaan verrattuna Australian, Amerikan ja Etelä-Afrikan löydöksiin. Muinaiset kulttuurit ovat epäilemättä löytäneet ja käyttäneet lähes kaiken asuinalueidensa meteoriittiraudan jo esihistoriallisena aikana. Asumattomilla ja harvaan asutuilla alueilla on vielä mahdollisuus tehdä uusia merkittäviä löydöksiä.

Meteoriraudalle on tunnusomaista sen sisältämä nikkeli ja koboltti. Nikkeliä on aina yli 5%, yleensä 8%, mutta harvoin yli 13% ja kobolttia on noin 0.5%. Fosforin määrä vaihtelee välillä 0.01-1% ja on tyypillisesti 0.2%. Rikkiä on yleensä enemmän kuin fosforia, mutta rikki on jakautunut epätasaisesti. Pääosa rikistä on sitoutunut suuriin troiliitti (FeS) sulkeumiin, joten yksittäisessä meteoriittiraudan kappaleessa rikkipitoisuus voi olla hyvin matala alle 0.01%. Meteoriitit sisältävät myös vaihtelevia määriä hiiltä joka saattaa esiintyä karbideina tai grafiittina. Muita aineita meteoriiteissa on niin vähän, että sepän kannalta niillä ei ole merkitystä.

Metoriiteille on tunnusomainen, mutta ei välttämätön piirre on Widmanstättenin kiderakenne, joka syntyy hyvin hitaan jäähtymisen ja nikkelin suotautumisen seurauksena. Widmanstättenin rakenteessa nikkeli jakautuu sitä yli 25% ja alle 7.5% sisältäviin alueisiin. Nikkelistä johtuvat kuviot saadaan näkyviin syövyttämällä meteoriittia tai meteoriitista taotun terän pintaa. Widmanstättenin rakennetta ei muodostu aina, kuten silloin jos nikkelpitoisuus on alle 6% tai yli 17%. Toisinaan rakenne kehittyy niin karkeaksi, että sen säännönmukaisuutta ei ole helppo havaita suhteellisen pienestä poikkileikkauspinnasta. Cape Yorkin ja Gibeonin meteoriiteissa on helposti havaittava widmanstättenin rakenne.

Gibeonin meteoriitti on yksi nykyajan veitsiseppien suosikeista. Siinä on 8% nikkeliä ja suhteellisen vähän, eli 0.04% fosforia. Pääosa rikistä on suurissa helposti nähtävissä sulkeumissa, joita voidaan poistaa. Tämän jälkeen jäljelle jäävä rikki-pitoisuus voi olla hyvin matala.

Gibeonin meteoriitin tonnien painoinen massa iskeytyi ilmakehään esihistoriallisena aikana ja hajosi kappaleiksi, joita satoi satojen kilometrien laajuiselle alueelle Namibian maaperällä. Paikalliset asukkaat oppivat käyttämään sitä raaka-aineena ja 1800-luvun puolivälistä lähtien myös eurooppalaiset siirtolaiset alkoivat kerätä sitä talteen.



Gibeonin meteoriittikappaleen hiottu ja syövytetty pinta

Malmista takoraudaksi ja teräkseksi

Malmi on hapettunutta rautaa, jota yleensä louhitaan kaivoksista. Muinaisessa Suomessa käytettiin lähinnä järvi- ja suomalmia. Niitä syntyy, kun vesi valuu hiekkakerrostumien läpi ja liuottaa kiviaineksista rautaa. Liuennut rauta saostuu hapekkaissa pintavesissä ja kerrostuu malmina vesistöjen pohjaan.

Taito muuttaa rautamalmi metalliksi keksittiin todennäköisesti Vähä-Aasiassa yli 4000 vuotta sitten, mutta se säilyi harvojen salaisuutena tuhannen vuoden ajan, kunnes laajamittainen raudan ja teräksen hyödyntäminen yleistyi muinaisessa Roomassa. Varhaisimmassa raudanvalmistus menetelmässä malmi pelkistettiin metalliksi ilman sulatusta hehkuttamalla malmia ja hiiliä uunissa. Pelkistynyt rauta kertyi uunin pohjalle huokoiseksi möykyksi eli rautasieneksi.

Muinaisessa uunissa hiilen epätäydellisessä palamisessa syntyvä häikä alkoi yli 400 °C lämpötilassa poistamaan malmista happea ja siten muuttamaan sitä metalliksi. Matalassa lämpötilassa pelkistynyt rauta oli hyvin niukkahilistä meltorautaa. Uuniin panostetun hiilen määrän ollessa suuri suhteessa malmin määrään ja lämpötilan ollessa yli 900 °C, olosuhteet saattoivat suosia pelkistyneen raudan hiilettymistä, jolloin tuotokseksi saatiin terästä.

Muinaisen uunin tuotos oli huokoista ja se sisälsi kiviaineksista peräisin olevaa kuonaa. Kuona poistui ja huokoset hitsautuivat umpeen rautaa taottaessa. Pitkäsi taottu rautatanko taitettiin ja puoliskot taottiin uudelleen yhteen. Taitto- ja takomissykli voitiin toistaa useaan kertaan, kunnes rakenne saatiin riittävän tasalaatuiseksi.

Valurauta

Euroopassa opittiin keskiajalla valmistamaan valurautaa. Sulaa rautaa syntyi, kun malmilla ja puuhiilellä panostetun uunin lämpötila nousi yli valuraudan sulamislämpötilan. Sula rauta sisälsi tyypillisesti 4% hiiltä ja noin prosentin verran raaka-aineista peräisin olevaa piitä ja mangaania. Kun valurauta oli valmista, sulatusuunin pohjaan avattiin reikä, josta sula rauta valui ulos ja se voitiin valaa hiekasta tehtyihin muotteihin.

Teräkseen tai meltoraudan valaminen ei onnistu keskiaikaisilla menetelmillä. Korkea hiilipitoisuus laskee valuraudan sulamislämpötilaa, joka on noin 1150 °C, kun se niukkahilisellä raudalla on noin 1500 °C. Rungas hiili ja pii tekevät valuraudan paremmin juoksevaksi, jolloin muotteihin voidaan tehdä pienempiä yksityiskohtia. Lisäksi hiili ja pii vähentävät sulan happipitoisuutta, jolloin kaasukuplia ei muodostu sulan jähmettyessä. Sulaan valurautaan liuennut hiili erkautuu grafiittina raudan jäähtyessä. Koska grafiitin syntyminen lisää tilavuutta, valurauta ei teräksen tavoin kutistu jähmettyessään.

Vaikka valurauta on pehmeää, on se ylenmääräisen grafiitin takia haurasta ja murenee taottaessa. Sitä vastoin valuteräs voi olla hyvin sitkeätä, mutta ei kuitenkaan aivan yhtä sitkeää kuin taottu teräs.

Valuraudan mellotus

Keskiajan loppupuolella valuraudasta muodostui takoraudan raaka-aine eli harkoiksi valettu takkirauta. Takkirautaa mellotettiin niukkahiiliseksi meltoraudaksi sulattamalla ja hapettamalla sitä liekin ja kuonan avulla. Hiilen lisäksi raudan pii- ja mangaanipitoisuudet alenivat. Hiilen palaessa pois raudan sulamislämpötila laski ja siitä tuli tahmeaa massaa jonka seassa oli kuonaa. Jähmeä meltorauta voitiin nostaa uunista pois ja takoa kangeksi. Toinen mahdollisuus oli kuumentaa takkirautaharkkoja useita päiviä yhdessä malmin kanssa, jolloin malmiin sitoutunut happi poltti takkiraudan hiiltä.

Takoraudan hiiletys teräkseksi

Matalahiilisiä takorautakankia muutettiin teräksiksi hiilettämällä niitä usean vuorokauden ajan. Hiilettymistä ei tapahdu tavallisessa ahjossa vaan päinvastoin. Ahjon liekki on liian hapettava ja se polttaa teräksestä hiiltä pois. Sitä vastoin hiilettymisen kannalta edulliset olosuhteet syntyvät, kun rautakankia ja hiiliä kuumennetaan ilmatiiviissä kammiossa tai astiassa.

Takorauta sisältää runsaasti pii- ja rautaoksidipitoista kuonaa. Hiiletyksessä rautaoksidia muuttuu raudaksi ja häkä-kaasuksi, jonka synnyttämä paine aiheuttaa repeämiä. Tästä syystä takoraudasta hiilettämällä valmistetun teräksen englanninkielinen nimi on blister steel.

Hiiletetyt teräskanget taitettiin kaksinkerroin ja puoliskot sekä murtumat taottiin yhteen. Taitto ja takomissykli voitiin toistaa useaan kertaan. Takoraudasta hiiletettämällä valmistettuun teräkseen jäi aina jäljelle runsaasti kuonaa joka heikensi teräksen ominaisuuksia.

Vanhan ajan upokasteräs

Kun teräs sulatetaan, sen kuonapuhkaus paranee, koska epäpuhtaudet nousevat pintaan kuonaksi. Benjamin Huntsman keksi 1700-luvun puolivälissä sulattaa hiiletettyä takorautaa erillisessä sulatusastiassa eli upokkaassa. Wootzia eli Idän ylikorkeahiilistä upokasterästä oli valmistettu jo tuhannen vuoden ajan Intiassa ja ehkä Euroopassakin terästä oli sulatettu upokkaassa ennen Huntsmania, mutta vasta Huntsmanin johdattamana upokasteräksen valmistus tuli Euroopassa rutiiniksi. Upokasteräksestä taottu tanko saattoi vastata ominaisuuksiltaan nykyaikaisen terästehtaan tuotetta.

Moderni teräksenvalmistus

Nykyaikaisissa terästehtaissa raaka-aineena käytetään malmia tai teräsromua. Malmi muutetaan masuunissa korkeahiiliseksi raakaraudaksi palavasta hiilestä saatavan energian avulla. Teräsromu puolestaan sulatetaan uunissa sähkövirran avulla.

Moderni teräksenvalmistus alkoi 1850-luvulla, kun Sir Henry Bessemer otti käyttöön konvertterin, eli erityisen astian missä sula mellotettiin. Raaka-aineena käytettiin runsashiilistä masuunirautaa, eli valurutaa. Runsashiilinen rauta mellotettiin konvertterissa puhaltamalla sulan läpi ilmaa, jolloin raakaraudan runsas hiili, pii ja mangaani paloivat. Mangaanin palaminen oli ongelma, koska masuunirauta pelkistettiin kivihiilen avulla joka puolestaan sisälsi suhteellisen paljon rikkiä. Teräksestä tulee haurasta, jos rikkiä on paljon ja mangaania vähän tai ei ollenkaan. Palaneen mangaanin tilalle lisättiin uutta mangaania Robert Mushetin keksinnön mukaisesti. Bessemer kutsui konvertterinsa tuotosta teräkseksi korostaakseen sen hyviä ominaisuuksia.

Aikaisemmin teräs kaadettiin valurautaisiin muotteihin eli kokilleihin. Nykyään teräs valetaan aihioiksi yleensä jatkuvassa valussa. Tällöin sulaa kaadetaan jäähdytettävän kuparikokillin läpi, missä se jähmettyy katkeamattomaksi valokseksi. Myöhemmin valmistuslinjalla siitä katkotaan sopivia aihioita, jotka valssataan, eli muokataan massiivisten rullien välissä haluttuun mittaan ja muotoon.

Kirjoja metalleista ja metallien historiasta

Kotimainen metalliopin perusteos on Miekk-ojan metallioppi. Alkuperäinen painos on vuodelta 1960. Siitä on tehty myös uudistettu versio joka on vuodelta 1986. Molemmat ovat hyviä. Miekk-ojan metallioppi on se perusteos, minkä jokainen suomalainen metallurgi tuntee.

Metallien historiasta löytyy erinomaista englanninkielistä kirjallisuutta, kuten Tylecoten metallien valmistuksen historiaa käsittelevä teos "A History of Metallurgy" ja Smithin kirja "A History of Metallography", joka on keskittynyt rakennetutkimuksen historiaan. Buchwald on tunnettu meteoriittitutkija. Hänen kirjassaan "Iron and steel in ancient times" on erinomainen aloituskappale muinaisesta meteoriittiraudan käytöstä.

Heikki Miekk-oja, Metallioppi, Otava, 1960 (1986)

R. F. Tylecote, A History of Metallurgy, 2nd edn, The Institute of Materials, London, 1992

C. S. Smith, A History of Metallography, Univ of Chicago press, 1960 (MIT Press, 1988)

Fabritius Buchwald, Iron and steel in ancient times, Det Kongelige Danske

Videnskaberne, 2005

2. Teräksen sisäinen rakenne

Metallit koostuvat tiiviisti toisiaan vasten olevista kiteistä eli rakeista. Myös rakeilla on omat alirakenteensa, johon teräksessä hiili ja lämpökäsittely vaikuttavat.

Dendriitti-kiteet

Sulan teräksen jähmettyessä siihen kiteytyy pitkiä kiteitä joita kutsutaan muotonsa takia dendriiteiksi. Aluksi dendriiteissä on poikkihaaroja, mutta jähmettymisen edetessä haarakkeiden välit kasvavat umpeen. Mitä hitaammin sula jähmettyy sitä suuremmiksi dendriitit kasvavat. Parhaimmillaan ne voivat olla usean senttimetrin mittaisia.

Austeniitti-, ferriitti- ja perliittirakeet

Huoneenlämpötilassa hiiliteräksen kiderakenne on ferriittinen ja korkeassa lämpötilassa se on austeniittinen. Aina kun teräs kuumennetaan kirkkaan punahehkuseksi, ferriittiset rakeet korvautuvat austeniitti-rakeilla ja vastaavasti rakenteen jäähtyessä austeniittiset rakeet korvautuvat ferriittisillä rakeilla

Ferriitillä ja austeniitilla on kaksi merkittävää eroa. Magneetti tarttuu ferriittiin, mutta ei austeniittiin. Hiilen liukoisuus austeniittiin on suurempi kuin ferriittiin, joten ferriitissä hiili muodostaa rautakarbideja, kun taas austeniitissa karbidit liukenevat.

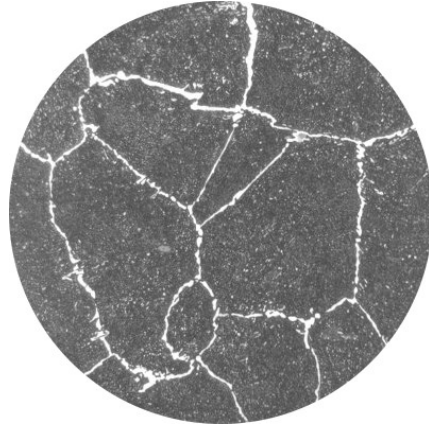
Ferriittiset rakeet voivat olla puhdasta ferriittiä tai perliittiä. Perliitissä vuorottelevat mikroskooppisen ohuet yhdensuuntaiset ferriitti- ja karbidilamellit. Austeniittiin liukenee kertaluokkaa enemmän hiiltä kuin ferriittiin, joten perliitin karbidilamellit liukenevat ferriittisen rakenteen muuttuessa austeniittiseksi ja vastaavasti ne muodostuvat uudelleen teräksen jäähtyessä ferriittialueelle.

Perliitin hiilipitoisuus on noin 0.8%. Jos teräksen hiilipitoisuus on tätä pienempi, teräksen jäähtyessä sen rakenteeseen syntyy perliittirakeiden lisäksi ferriittirakeita. Tällöin ferriittirakeet syntyvät ensin ja hiili rikastuu jäljelle jäävään austeniittiin joka muuttuu perliitiksi.

Sementtiitti

Kovaa ja haurasta rautakarbidia Fe_3C kutsutaan sementtiitiksi. Hiiliatomi on rauta-atomia kevyempi ja se sitoo kolme rauta-atomia, joten sementtiitin hiilipitoisuus painoprosenteissa on vain 6.7%. Siten jo suhteellisen pieni määrä hiiltä pystyy muodostamaan teräksen rakenteeseen runsaasti sementtiittiä. Sementtiitti voi esiintyä lamelleina perliitissä, yhtenäisenä kerroksena austeniitin raerajoilla tai pyöreinä partikkeleina eli spheroideina.

Perliitin hiilipitoisuus ja hiilen liukoisuus austeniittiin sen muodostumislämpötilassa ovat likimain saman suuruiset eli noin 0.8%, mutta korkeammissa lämpötiloissa hiiltä voi liueta austeniittiin jopa 2%. Jos austeniittiin liukenee yli 0.8% hiiltä, teräksen jäähtyessä sillä on taipumus erkautua yhtenäisenä sementtiittikerroksena austeniitin raerajoille. Raerajasementtiitti haurastuttaa terästä, joten ylikorkeahiiliset teräkset taotaan ja lämpökäsittelään siten, että sementtiitti esiintyy pyöreinä partikkeleina.



Mikroskooppikuva 1.6% hiiliteräs martensiitistä ja raerajakarbideista. Suurennos 200 x

Grafiitti

Liukenematon sementtiitti voi pitkän hehkutuksen aikana muuttua grafiitiksi eli puhtaaksi hiileksi. Käytännön lämpökäsittelyissä teräkseen ei synny grafiittia. Valuraudassa hiili esiintyy grafiittina. Valuraudassa on runsaasti piitä joka yhdessä hyvin korkean hiilipitoisuuden ja hitaan hiekkamuotissa tapahtuvan jähmettymisen yhteydessä aikaansaa grafiitin muodostumisen.

Martensiitti

Karkaisussa austeniitti jäähdytetään niin nopeasti, että austeniittiin liuennut hiili ei ehdi muodostaa ferriittiä tai perliittiä. Tällöin hiili jää liukeseen ja sen ansiosta austeniitti muuttuu kovaksi martensiitiksi. Martensiitilla ei ole omaa raerakennetta, vaan sitä edeltäneen austeniitin raerajat säilyvät rakenteessa.

Martensiitin kovuus kasvaa hiilipitoisuuden kasvaessa noin 0.8% saakka, joten perliitin hiilipitoisuus riittää saavuttamaan martensiitin maksimikovuuden. Teräksen seosaineet eivät lisää martensiitin kovuutta.

Vanhoissa kirjoituksissa saattaa esiintyä sana hardeniitti. Hardeniitti tarkoittaa kovinta karkaisutulosta, eli perliitti karkenee hardeniitiksi. Hardeniitti on hyvä ja ilmaisuvoimainen sana. Se sopisi erinomaisesti puukkosepille, mutta valitettavasti sitä ei juuri enää käytetä.

Korkeahiilinen martensiitti voi olla suhteellisen sitkeää suurestaan kovuudesta huolimatta, jos sen raekoko on pieni. Korkea hiilipitoisuus yhdistettynä suureen raekokoon altistaa martensiitin hauraalle raerajoja pitkin etenevälle raerajamurtumalle. Epäpuhtauksia kertyy austeniitin raerajoille karkaisuhehkutuksen aikana, joten myös runsaasti epäpuhtauksia sisältävällä martensiitilla on taipumus murtua entisiä austeniitin raerajoja pitkin.

3. Hiiliteräksen lämpökäsittely

Nykyajan sepät eivät tee malmista terästä joitakin harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta. Takominen ei välttämättä ole paras tapa terän muotoiluun, vaan hiomalla ja viilaamalla saatetaan saavuttaa helpommin haluttu muoto. Siten, karkaisu ja päästö ovat ainoat välttämättömät metallurgiset toimenpiteet, mitkä jokaisen puukkosepän pitää tuntea. Osaava seppä voi taidokkaan lämpökäsittelyn avulla tehdä kovemman ja sitkeämmän terän kuin mitä teollisuus keskimäärin tuottaa.

Yksi tärkeimmistä asioista mihin lämpökäsittelyssä pyritään on hieno, noin millimetrin sadasosan suuruinen raekoko. Kovan ja samalla sitkeän puukonterän tekeminen onnistuu vain, jos raekoko pysyy pienenä.

Austenointi ja rakeenkasvu

Useimmat teräksen lämpökäsittelyt, kuten karkaisu ja normalointi, alkavat austenoinnilla. Yleensä pyritään pieneen austeniitin raekokoon, josta syntyy hienorakeista ferriittiä, perliittiä tai martensiittia.

Austeniittirakeilla on taipumus kasvaa. Rakeenkasvu tapahtuu siten, että suurempien rakeiden rajat siirtyvät hävittäen pienempiä rakeita, eli rakeiden koko kasvaa ja määrä vähenee. Rakeenkasvu alkaa heti, kun rakenne on muuttunut austeniitiksi. Suurin osa rakeenkasvusta tapahtuu parin ensimmäisen minuutin aikana, jonka jälkeen se hidastuu ja pysähtyy. Mitä korkeampi lämpötila sitä suuremmiksi austeniittirakeet kasvavat. Rakeenkasvua voidaan estää seosaineiden, kuten alumiini ja vanadiini avulla.

Puhdas rauta austenoiuu 910 °C lämpötilassa. Hiilipitoisuuden kasvaessa austenointilämpötila alenee niin, että 0.8% tai enemmän hiiltä sisältävä teräs austenoiuu jo 730 °C lämpötilassa. Austeniitin muodostuminen austeniittialueen alarajalla saattaa kestää tunteja, joten käytännössä puukkoteräs austenoidaan noin 800 °C lämpötilassa.

Austenointilämpötila pitää määrittää tarkasti. Liian matalassa lämpötilassa teräs ei muutu austeniitiksi ollenkaan tai se austenoiuu vain osaksi, mutta liian korkeassa lämpötilassa saadaan karkearakeista austeniittia.

Ahjon lämpötila on paljon korkeampi kuin austeniitin muodostumislämpötila joten kuumennus tapahtuu nopeasti. Sopiva austenointilämpötila voidaan päätellä teräksen hehkuväristä. Puukkosepät voivat käyttää myös sähköuunia, missä elektroniikka pitää huolen siitä, että uunissa on oikea austenointilämpötila. Tällöin puukonterän austenointiin tarvitaan noin 15 minuutin uuniaika. Teollisuudessa suurille kappaleille joudutaan käyttämään usean tunnin mittaisia uuniaikoja. Austenointuminen tapahtuu tavoitelämpötilassa nopeasti, joten suurin osa vaadittavasta uunijästä kuluu kappaleen lämpenemiseen.

Austeniitin raekoko vaikuttaa siitä syntyvän martensiitin sitkeyteen. Testasin laboratorioissa austenointiajan vaikutusta rakeenkasvuun ja sitä kautta martensiitin sitkeyteen. Käytin kokeissa 0.8% hiiliterästä johon ei oltu lisätty alumiinia tai muita rakeenkasvua hillitseviä seosaineita. Asetin 3.3x10x60 mm koesauvat uuniin jonka lämpötila oli 800 °C. Noin viiden minuutin päästä magneetti ei enää tarttunut koesauvoihin ja karkaisin ensimmäisen näytteen. Pidin vielä magneettisuuden katoamisen jälkeen muita koesauvoja uunissa ja karkaisin ne eri pituisten hehkutusaikojen kuluttua. Päästin koesauvat 180 °C lämpötilassa jolloin kovuudeksi tuli 61 HRC. Hehkutusaikat magneettisuuden katoamisen jälkeen ja saavutetut iskusitkeydet on esitetty seuraavassa taulukossa:

| | | | | | | | |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Aika, Minuuttia | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 8 | 13 |
| Iskusitkeys, Joule | 16 | 27 | 23 | 19 | 14 | 14 | 9 |

Mitattu sitkeys on parhaimmillaan samaa luokkaa mitä on odotettavissa hienorakeisilta vanadiini- tai alumiiniseostetuilta teräksiltä.

Kokeen mukaan noin minuutin hehkutusaika magneettisuuden katoamisen jälkeen 800 °C lämpötilassa antaa parhaan tuloksen, mutta jos hehkutuslämpötila nousee korkeammaksi, kuten helposti tapahtuu ahjossa, lyhyempi hehkutusaika on parempi. Liian lyhyt hehkutusaika on huono, koska austeniittimuutos ei välttämättä ehdi tapahtua kokonaan.

Normalointi

Hyvin korkeassa lämpötilassa, kuten taonnassa, austeniittirakeet kasvavat epänormaalin suuriksi. Raekoko hienonee, kun teräs jäähtyy ja muuttuu perliittiseksi, mutta ei välttämättä riittävästi. Tällöin tarvitaan uusi kuumennussykli hienon, eli normaalin raekoon aikaansaamiseksi. Raekoon hienontamista sopivan kuumennussyklin avulla kutsutaan normaloinniksi.

Normaloinnissa teräs lämmitetään uudelleen, mutta tällä kertaa matalammalle austeniittialueelle ja sen annetaan jäähtyä ilmassa. Tällöin vanha rakenne korvautuu uusilla pienemmillä ferriitti- tai perliittirakeilla. Yleensä yksi normalointi hienontaa raekokoja jo niin paljon kuin mahdollista, joten toinen normalointi ei hienonna sitä enempää.

Kun hiiliteräksinen puukonterä jäähdytetään ilmassa, perliitin muodostuminen alkaa noin 550 °C lämpötilassa. Tällöin syntyy pieniä perliittirakeita joissa on hyvin hienolamellinen rakenne. Mutta jos terä jäähdytetään hyvin hitaasti esimerkiksi uunin mukana, perliittireaktiolla on aikaa alkaa jo yli 700 °C lämpötilassa. Tällöin raekoko voi kasvaa sitä edeltäneen austeniitin raekoko suuremmaksi ja perliitistä tulee hyvin karkealamellista.

Joihinkin käyttötarkoituksiin normaloitu rakenne kelpaa sellaisenaan. Perliitti on muuten sitkeää, mutta lohkeaa helposti loven kohdalta. Monissa muinaisissa miekoissa oli perliittinen rakenne. Hieno perliitti on kovempaa ja sitkeämpää kuin karkea perliitti. Myös karkaistavaksi tarkoitettu teräs pitää yleensä normaloida, koska hienorakeisesta perliitistä syntyvä austeniitti on hienorakeista, mikä puolestaan on hyvän karkaisutuloksen edellytys.

Normalointi voidaan tehdä yleensä samasta lämpötilasta kuin karkaisu. Ylikorkeahiilisten terästen lämpökäsittelyohjeissa normalointi suositellaan tehtäväksi niin korkeasta lämpötilassa, että kaikki sementiitti liukenee. Tästä on hyötyä, jos karkearakeisen austeniitin raerajoille on kertynyt paksu sementiittikerros. Tällöin normaloinnissa voidaan saada pienempi raekoko ja ohuempi sementiittikerros raerajoille.

Puukonterässä vaaditaan mahdollisimman suurta sitkeyttä, joten ylikorkeahiilinen teräs pitää takoa siten, että raerajaseementiittiä ei muodostu ollenkaan. Siten puukonterän normaloinnissa ei ole aiheellista liuottaa kaikkea sementiittiä, eli puukonterän normalointi voidaan tehdä samasta lämpötilasta kuin karkaisu.

Pehmeäsihehkus

Teräs on pehmeintä silloin, kun kovat karbidit ovat pyöreinä palloina pehmeässä ferriittisessä matriisissa. Tällöin terästä voidaan helposti koneistaa, sahata, viilata, leikata ja taivuttaa kylmänä. Terästehdas toimittaa materiaalin usein pehmeäksi hehkutettuna.

Jos hiiltä on noin 0.8% tai vähemmän, pehmeäsihehkus voidaan tehdä siten, että normaloitua rakennetta hehkutetaan useita tunteja 700 °C lämpötilassa, jolloin perliittilamellit palloutuvat lämmön vaikutuksesta. Toinen mahdollisuus on päästää karkaistu teräs korkeassa lämpötilassa. Tällöin palloutunutta sementiittiä muodostuu helpommin ja lämpökäsittely kestää vähemmän aikaa.

Noin 1% tai enemmän hiiltä sisältävä teräs hehkutetaan pehmeäksi siten, että se lämmitetään matalalle austeniittialueelle (760 °C), jolloin rakenteeseen jää runsaasti liukenemattomia sementiittikarbideja. Sitten teräs jäädytetään niin hitaasti (20 °C/h), että perliittiä ei muodostu, vaan syntyvä sementiitti kasvaa liukenemattomien sementiitti partikkelien pinnalle. Ylikorkeahiilisessä (n. 1.5% C) teräksessä saattaa olla niin runsaasti liukenemattomia sementiitti partikkeleita, että pehmeäksi hehkutettua vastaava rakenne saadaan myös vapaassa ilmajäädytyksessä.

Karkearakeinen materiaali kannattaa normaloida ennen hehkutusta pehmeäksi. Toisin kuin perliitin muodostumisessa, pehmeäsihehkuksessa hidas jäähtymisnopeus ei kasvata raekokoa.

Pehmeäksi hehkutettu rakenne sopii hyvin karkaistavan teräksen lähtörakenteeksi, koska siihen syntyy hienorakeista austeniittia. Olen mikroskoopin avulla tutkinut tarkemmin austeniitin raekokoja jotka syntyvät karkaistuun ja päästämällä pehmenettyyn, tai normaloituun teräkseen. Karkaistuun ja päästettyyn teräkseen syntyneen austeniitin raekoko oli 0.006 mm ja normaloituun teräkseen syntyneen austeniitin raekoko oli 0.01 mm. Martensiitin maksimisitkeys voidaan yleensä saavuttaa jo 0.01 mm raekoolla, joten tätä pienemmästä austeniitin raekoosta ei välttämättä ole käytännön hyötyä, eli normalointi tuottaa riittävän hienon raekoon.

Karkaisuhehkutus

Karkaisuhehkutuksessa teräs lämmitetään austeniittialueelle, jolloin perliitti, tai pehmeäksi hekutetun rakenteen ollessa kyseessä, palloutunut sementtiitti liukenee. Kun teräs jäähdytetään nopeasti, eli sammutetaan, ferriitti- tai perliittirakeiden kasvulle ei ole riittävästi aikaa ja austeniittirakeet muuttuvat suoraan martensiittisiksi rakeiksi. Martensiitin raekoko on siis sama kuin sitä edeltäneen austeniitin raekoko.

Martensiitin kovuus kasvaa, mutta sitkeys vähenee hiilipitoisuuden kasvaessa. Yleensä puukkoseppä pääsee parhaaseen lopputulokseen, kun terän hiilipitoisuus on 0.5-1%, mutta tavoiteltaessa suurta sitkeyttä ja kohtuullista kovuutta hiilipitoisuus voi olla myös matalampi.

Ylikorkeahiilisiä teräksiä karkaistaessa tulee ottaa huomioon se, että martensiitti saavuttaa maksimikovuutensa (n. 66 HRC), kun austeniittiin liunneen hiilen määrä on noin 0.8%. Puukkoseppien onneksi, kun austeniitti syntyy matalassa karkaisulämpötilassa, karbideista liukenee austeniittiin oikea määrä hiiltä ja ylimääräinen hiili jää liukenemattomiin karbideihin.

Esimerkiksi 1.5% hiiliterästä karkaistaessa austeniittiin liukenee 0.8% hiiltä ja loput hiilestä, eli 0.7% jää karbideihin. Tällöin lopputulokseksi saadaan kovaa (n. 66 HRC) martensiittia, jossa liukenemattomien karbidien osuus on noin 10%. Mutta jos kaikki karbidit, eli 1.5% hiiltä liukenee austeniittiin, saadaan martensiittia, jonka kovuus on jäännösausteniitin takia vain 50 HRC.

Sopiva karkaisulämpötila 0.3–0.5% hiiliselle seostamattomalle hiiliteräkselle on noin 820°C ja 0.5–0.8% hiiliselle noin 800°C. Jos hiiltä on enemmän kuin 0.8%, sopiva lämpötila seostamattomalle hiiliteräkselle on noin 780°C, koska muutoin karbideista saattaa liueta liikaa hiiltä. Seosaineet, etenkin kromi, vaikeuttavat karbidien liukenemistä, joten seosteräksille karkaisulämpötilat ovat yleensä korkeampia.

Hieno raekoko parantaa oleellisesti kovan teräksen sitkeyttä, mutta raekoon merkitys vähenee teräksen kovuuden eli hiilipitoisuuden vähetessä. Korkeahiilisessä martensiitissa raekoon tulee olla hyvin pieni (0.01 mm). Ylikorkeahiilisessä teräksessä liukenematon sementtiitti estää rakeita kasvamasta, mutta hieno raekoko voidaan saavuttaa myös seosaineiden (mm. alumiini ja vanadiini) tai taitavan lämpökäsittelyn avulla.

Lähtöraekoon pitää olla hieno jotta karkaisuhehkutuksessa ylipäänsä voisi syntyä hienorakeista austeniittia. Siksi taotun puukonterän raekoko hienonnetaan normaloinnin avulla ennen karkaisua. Jos terä on hiottu terästehtaalla pehmeäksi hehkutetusta aihioista, se on myös hyvä lähtötilanne.

Vanhanajan sepät määrittivät oikean karkaisulämpötilan hehkuväriin perusteella. Ympäröivä valaistus vaikuttaa hehkun väriin, joten hehkuväristä puhuttaessa tarkoitetaan väriä hämärässä. Noin 600°C lämpötilassa teräs hehkuu punaruskeana. Oranssi sävy alkaa lisääntyä 800°C yläpuolella ja 1000°C teräs on jo keltainen. Valkohehku saavutetaan 1200°C paikkeilla.

Karkaisulämpötilan määrittäminen helpottaa se, että austeniitin muodostuminen vaatii hieman ylimääräistä lämpöenergiaa ja toisaalta ferriittisen rakenteen syntyminen vapauttaa sitä. Siten austeniitin muodostumisen seurauksena lämpötila laskee muutaman asteen verran, vaikka terästä lämmitetään ja vastaavasti vapaasti jäähtyvän kappalleen lämpötila hieman nousee rakenteen muuttuessa ferriitiseksi. Taitava seppä pystyy havaitsemaan häviävän pienen epäjatkuvuuden teräksen hehkun kirkastumisessa ja himmenemisessä ja siten löytämään tarkan karkaisulämpötilan.

Nykyajan sepille magneetista on suurta apua karkaisuhetken määrittämisessä. Magneetti ei tartu austeniitiin missään lämpötilassa. Ferriittiin magneetti ei tartu 770°C yläpuolella (Curie-lämpötila). Korkeahiilisten terästen austenoituminen voidaan havaita magneetin avulla, mutta matalampi hiilisten ei, koska niiden austenointi pitää tehdä yli 770°C lämpötilasta. Kun magneetin tarttumista ei enää havaita, terästä pitää lämmittää varmuuden vuoksi vielä vähän jotta hiilipitoisuus tasoittuu.

Jos teräs sammutetaan heti austenoitumisen jälkeen, austeniitin rakeenkasvulle ei jää aikaa ja lopputulokseksi voidaan saada hienorakeista martensiittiä, vaikka teräkseen ei ole lisätty rakeenkasvua estäviä seosaineita.

Sammutus

Kun teräs jäähdytetään nopeasti karkaisulämpötilasta, eli sammutetaan, se muuttuu martensiitiksi. Martensiittireaktio tapahtuu tietyllä noin 250°C asteen levyisellä lämpötila-alueella. Mitä enemmän hiiltä, sitä alempana martensiittireaktio tapahtuu. Esimerkiksi 0.35% hiiliteräksellä reaktio tapahtuu välillä $200\text{--}400^{\circ}\text{C}$, kun taas 0.8% hiiliteräksellä se alkaa 300°C paikkeilla ja päättyy huoneen lämpötilan tuntumassa.

Jäähtymisnopeuden pitää olla riittävä, jotta teräs karkenee. Ylinopeasta jäähtymisestä ei ole hyötyä. Karkenevuudella tarkoitetaan teräksen karkenemisen riippuvuutta jäähtymisnopeudesta. Mitä parempi karkenevuus, sitä hitaammin teräs voidaan jäähdyttää karkaisulämpötilasta. Hiili ja seosaineet, kuten mangaani ja kromi lisäävät karkenevuutta.

Teränvalmistajalle karkenevuudesta on etua, koska terä voidaan sammuttaa suhteellisen hitaasti öljyn avulla, jolloin se ei väännä yhtä helposti kuin nopeassa vesi- tai vielä nopeammassa suolavesikarkaisussa. Noin 10% suolavesi on tehokkainta.

Yleensä terä vääntyy vähiten, jos se kastetaan hamara tai kärki edellä. Terä saattaa vääntyä myös omasta painostaan karkaisu-uunissa, jos se makaa lappeellaan epätasaisella alustalla. Karkaisu-uuniin kannattaa laittaa teline jossa terä on hamarapuoli alaspäin.

Hiiliteräkset on perinteisesti karkaistu suolaveteen tai kylmään puhtaaseen veteen. Veteen karkenevissa hiiliteräksissä mangaanipitoisuus on matala, noin 0.2%. Öljyyn karkenevissa hiiliteräksissä mangaanipitoisuus on vähintään 0.7%. Samoin kuin hiili, mangaani ja muut seosaineet laskevat martensiitin muodostumislämpötilaa. Tämä lisää seostettujen terästen halkeamisriskiä nopeassa vesijäähdytyksessä. Halkeamisriski vesisammutuksessa kasvaa, jos korkeahiilisen teräksen mangaanipitoisuus on yli 0.4%. Niukemmin hiiltä (<0.5%) sisältävät hiiliteräkset pitää karkaista veteen tai suolaveteen korotetusta mangaanipitoisuudesta huolimatta.

Öljyyn karkaistavaksi tarkoitettuja seosteräksiä ei pidä koskaan karkaista veteen. Vesi saattaa aiheuttaa vielä silloinkin halkeamia, vaikka teräs on ensin jäähdytetty öljyn avulla alle 100 °C lämpötilaan. Siis, öljyyn karkaistavat teräkset pitää karkaista vain öljyyn.

Halpa mineraalimoottoriöljy sopii hyvin karkaisuöljyksi. Tärkeää on, että sen seassa ei ole mitään lisäaineita, jotka muodostaisivat myrkyllisiä höyryjä. Myös pellava- tai rypsiöljyä voidaan käyttää karkaisussa. Kylmä öljy ei välttämättä jäähdytä riittävän hyvin, koska se on liian hidasliikkeistä. Öljyn jäähdytyskyky paranee, jos se lämmitetään. Periaatteessa noin 70 °C on hyvä, mutta öljyn lämpötilan kanssa ei välttämättä tarvitse olla tarkkana. Yleensä riittää, kun öljysäiliön seinämä tuntuu samalta kuin kuuma lämpöpatteri. Kun terä on jäähtynyt öljyssä alle 200 °C se voidaan jäähdyttää ilmassa. Kylmän alasimen päällä se jäähtyy hyvin.

Jäähtynyt teräs pitää päästää heti, koska päästämättömään teräkseen alkaa muodostua säröjä. Korkeahiilinen teräs saattaa jopa haljeta itsestään ellei sitä päästetä heti.

Karkaisu saattaa jäädä vajaaksi riittämättömän jäähdytysnopeuden tai liian matalan austenointilämpötilan takia. Jos terä ei saavuta karkaisussa täyttä kovuutta, se ei välttämättä ole sitkeämpi kuin täyteen kovuuteen karennut terä. Pieni määrä pehmeää karkenematonta materiaalia kovan martensiitin seassa saattaa toimia murtuman ydintymispaikkana, koska sen lujuus on ympäristöä pienempi.

Jos karkaisu jostain syystä epäonnistuu ja terä halutaan karkaista uudelleen, sitä ei saa laittaa suoraan kuumaan karkaisu-uuniin. Terä pitää ensin päästää tai lämmittää hyvin hitaasti, koska siihen saattaa syntyä sisäisiä halkeamia, jos se kuumennetaan liian nopeasti. Normalointi on aina varma ratkaisu, mutta kertaalleen karkaistu terä voidaan karkaista uudelleen myös ilman normalointia. Itse asiassa karkaistuun ja päästettyyn teräkseen syntyy hienempi raekoko kuin normaloituun teräkseen.

Päästö

Lämmitys matalassa lämpötilassa eli päästö pehmentää ja sitkistää martensiittia. Mitä korkeampi päästölämpötila sitä pehmeämpi teräs. Myös päästöaika vaikuttaa, mutta ei yhtä paljoa kuin lämpötila. Sopiva päästöaika on 1–2 tuntia, jos terä päästetään uunissa.

Päästämättömässä martensiitissa hiiliatomit ovat irrallaan lienneena. Päästölämmön vaikutuksesta hiiliatomit muodostavat rauta-atomien kanssa kemiallisia sidoksia, rautakarbideja. Isommat karbidit pystyvät imemään hiiliatomeja pienemmistä karbideista jolloin pienet karbidit häviävät. Tällöin karbidien määrä vähenee ja koko kasvaa. Mitä korkeampi päästölämpötila sitä isommaksi karbidit kasvavat. Mikroskoopilla nähtäväksi karbidit tulevat vasta noin 500 °C päästön jälkeen.

Teräksen pääseminen on mahdollista jo 80 °C lämpötilassa, mutta käytännössä alin puukonterän päästölämpötila on 150 °C. Tämä saattaa kaksinkertaistaa sitkeyden ilman, että kovuus oleellisesti laskee. Alla olevaan taulukkoon on merkitty tyypillisiä 0.8% tai korkeahiilisemmän hiiliteräksen kovuusarvoja joita saadaan tunnin mittaisen päästön jälkeen.

| | | | | | |
|---------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Päästölämpötila, °C | 20 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| Kovuus, HRC | 66 | 65 | 62 | 58 | 56 |

Yleensä puukonteriä päästetään yli 200 °C lämpötilassa, mutta omasta mielestäni usein parempi lähtökohta on päästö 180 °C lämpötilassa. Tällöin puukonterä jää melko kovaksi, mutta sitkeys kehittyi riittäväksi, jos raekoko on pieni.

Korkeammat päästölämpötilat olivat vanhaan aikaan perusteltuja, koska vähäinen rakeenkasvu ei vähennä sitkeyttä, jos terä päästetään 250–300 °C lämpötilassa. Lisäksi kovien terien teroittaminen luonnonkivillä oli vaikeata. Käytettäessä nykyaikaisia hiomakiviä, suuri kovuus ei vaikeuta oleellisesti teroittamista.

Aluksi pääseminen tapahtuu nopeasti ja sitten pehmeneminen lähes pysähtyy. Tasaisin lopputulos saavutetaan käyttämällä suhteellisen pitkää kahden tunnin päästöaikaa, koska tällöin lämpötila ehtii tasaantua ja päästö etenee yhtä pitkälle terän jokaisessa kohdassa. Jos terä ei pehmene päästössä riittävästi, voidaan aina tehdä uusi päästö edellistä hieman korkeammassa lämpötilassa.

Päästö voidaan tehdä myös nopeasti liekin avulla. Tällöin lämpö pitää johtaa terään lähinnä hamaran kautta tai muutoin vaarana on teränsuun ylikämmeneminen. Parhaassa tapauksessa hamara lämpenee teränsuuta jonkin verran enemmän. Liekipäästössä käytetään hyväksi teräksen hiottuun pintaan muodostuvaa päästöväriä. Päästössä pintaan muodostuu oksidikerros, jonka paksuus riippuu lämpötilasta, ja sen väri puolestaan riippuu paksuudesta. Päästöväri on etenkin silloin tehokas apu, kun hamara halutaan päästää teränsuuta pehmeämmäksi.

Päästö 200 °C tuottaa selvästi näkyvän vaaleankeltaisen värin. Sävy tummuu ja muuttuu ruskean kautta violetiksi 270 °C lämpötilassa. Syvin sininen saadaan 300 °C lämpötilassa, jonka jälkeen se alkaa vaaleta ja 350 °C paikkeilla muuttuu harmaaksi ja sen jälkeen vähitellen mustaksi. Päästöväriä määritettäessä on tärkeää, että pinta on puhdas ja hiottu. Muussa tapauksessa pinta saattaa muuttua väärän väriseksi. Terä pitää muistaa ottaa välillä liekistä pois, koska liekki polttaa happea jolloin liekin alla oksidikerros kehittyy hitaammin.

Päästöväri riippuu myös ajasta, mutta ei niin voimakkaasti kuin lämpötilasta. Koska aika ja lämpötila vaikuttavat suunnilleen saman verran teräksen pehmenemiseen ja päästöväriin kehittymiseen, on päästöväri varsin hyvä mittari. Liekin avulla nopeasti tiettyyn väriin päästetyn terän käsittely vastaa melko hyvin pitkään uunissa olleen saman värisen terän käsittelyä.

Päästöväriin käytössä on ongelmana se, että tunnin päästöä alle 180 °C lämpötilassa vastaavat päästövärit ovat tuskin havaittavissa. Hienorakeisesta teräksestä tehty puukonterä on monesti parhaimmillaan silloin, kun päästöväri voidaan havaita vain vertaamalla päästetyn ja päästämättömän teräksen väriä vierekkäin. Vertailu voidaan tehdä myös niin, että päästettyyn terään hiotaan uusi kohta ja sen väriä verrataan hiomattomaan ympäristöön.

Teränsuun päästö voidaan säätää kohdalleen napsahduskokeen avulla. Jos päästämättömän korkeahiilisen puukonterän teränsuuta painetaan toista terästä vasten, teränsuusta lohkeaa helposti pala, joka irrotessaan pitää napsahtavan äänen. Ohuesta teränsuusta häviää usein hiiltä karkaisussa niin, että se ei karkene kovaksi. Tällöin teränsuun hiilenkatoalue pitää hioa pois ennen koetta. Kun napsahtava teränsuu löytyy, voidaan aloittaa päästö.

Päästö tehdään ensin hyvin varovaisesti, sitten terä jäähdytetään ja teränsuu testataan. Jos teränsuu tuntuu hauraalta, tehdään hieman voimakkaampi päästö ja niin edelleen, kunnes voidaan havaita, että teränsuu taipuu hieman ja jää kierteelle sen sijaan että se lohkeaa napsahtamalla. Näin on saavutettu kovin mahdollinen käyttökelpoinen terä. Tällöin päästöväri on yleensä tuskin havaittavissa, mutta joukkoon mahtuu poikkeuksia.

Terä voidaan suoristaa päästössä, jos se on taipunut karkaisussa. Tällöin taipunut terä puristetaan puristimen leukojen väliin ja puristin laitetaan päästöuuniin, jolloin terä oikenee päästön aikana. On tärkeää, että terä on päästämätön, koska kertaalleen päästettyä terää ei voida näin oikaista. Massiivisen puristimen lämpenemisaika pitää ottaa huomioon joten puristin kannattaa lämmittää etukäteen uunissa.

Päästöhaurus

Teräksen kovuus laskee päästölämpötilan kasvaessa, mutta sitkeys ei välttämättä aina lisääny. Noin 180 °C päästön jälkeen saatetaan mitata sitkeysmaksimi, mutta 250–300 °C päästön jälkeen voidaan saada poikkeuksellisen huonoja sitkeysarvoja. Tällöin teräs on päästöhaurasta. Päästöhaurus tulee paremmin esille kiertositkeydessä kuin taivutussitkeydessä, eli terän taivutuskokeessa ei välttämättä ilmene päästöhaurautta.

Puukonterä päästetään perinteisesti 200–300 °C lämpötilassa. Päästövärit tulevat esille tällä lämpötila-alueella ja vanhoissa ohjeissa neuvotaan tekemään päästö niiden mukaan. Koska tavallisten hiiliterästen taivutussitkeydessä ei välttämättä ilmene päästöhaurautta, vanhat ohjeet ovat käyttökelpoisia. Sitävastoin kromilla tai muilla seosaineilla seostetut seosteräkset saattavat olla hiiliteräksiä alttiimpia päästöhauraudelle. Niissä voidaan havaita selvä päästöhaurus myös taivutussitkeydessä.

Päästöaurautta ei esiinny 180 °C tai matalammassa lämpötilassa päästetyissä kappaleissa. Siksi se on teollisuuden kovissa työkaluteräksissä tai hiiletyskarkaistuissa koneenosissa (hammaspyörät) usein käytetty päästölämpötila.

Päästöauraus johtuu yhteisvaikutuksesta, joka aiheutuu epäpuhtauksien, etenkin fosforin, kulkeutumisesta karkaisuhehkutuksen aikana austeniitin raerajoille ja levymäisen sementiitin muodostumisesta päästön aikana. Päästöaurausalueen ala- ja yläpuolella karbidit kehittyvät pyöreiksi.

Teränsuukarkaisu

Aina ei paras ratkaisu ole karkaista terää kauttaaltaan samaan kovuuteen, vaan tehtäessä puukkoa mitä ankarimpaan käyttöön, saattaa olla aiheellista jättää hamara teränsuuta pehmeämmäksi. Tällainen lopputulos voidaan saavuttaa monella eri tavalla.

Jos hiiliteräksen mangaanipitoisuus on hyvin matala, saattaa käydä niin, että öljykarkaisussa ainoastaan ohut teränsuu jäähtyy riittävän nopeasti ja paksumpi hamara jää karkenematta. Läpi asti karkaistun terän hamara puolestaan voidaan päästää myöhemmin liekin avulla teränsuuta pehmeämmäksi.

Tasaista karkaisutulosta varten terä pitää lämmittää hamaran kautta, mutta terä voidaan kuumentaa ahjossa tai liekissä tarkoituksellisesti myös siten, että ainoastaan ohut teränsuu lämpenee riittävästi ja karkenee.



Puukonterän karkaisu ahjossa siten, että vain teränsuu lämpenee riittävästi ja karkenee

Teollisessa karkaisussa teränsuu voidaan karkaista induktiosähkövirran avulla, jolloin saavutetaan ehkä kaikista paras lopputulos, koska tällöin hamara voidaan lämpökäsitellä erikseen ennen teränsuun karkaisua.

Vielä yksi erinomainen menetelmä teränsuukarkaisussa on seuraava. Tasaisesti lämmitetty korkeahiilisestä teräksestä taottu terä kastetaan öljyyn ja ruoto jätetään kastamatta. Hamara nostetaan vielä kuumana pinnan yläpuolelle, jolloin se ei saavuta täyttä kovuutta ja lisäksi kuumasta ruodosta siirtyvä lämpö päästää sitä. Teränsuu pidetään öljyssä. Öljy saa savuta, mutta jos se liekehtii, on lämpötila liian korkea. Tällöin terää kastetaan nopeasti syvemmälle ja palautetaan takaisin.

Teränsuukarkaistussa terässä voi yhdistyä suuri kovuus ja sitkeys. Se on juuri niitä tekniikoita, jonka avulla taitava seppä voi erottua eduksensa teollisesti valmistettuihin keskivertoteriiniin nähden.

Hapettuminen ja hiilenkato

Teräksen lämpökäsittelyssä ja takomisessa sen pinta joutuu alttiiksi hapen vaikutukselle. Huoneenlämmössä happi pystyy kosteuden avustuksella ruostuttamaan teräksen pintaa, jolloin syntyy ruskeaa rautaoksidia. Korkeassa lämpötilassa ilman happi voi suoraan reagoida raudan kanssa, jolloin sen pintaan syntyy mustaa rautaoksidia.

Musta pinta vähentää karkaistun teräksen sitkeyttä, koska hapettuminen ylettyy pinnan alle ja oksidit muodostavat otollisia alkuja murtuman syntymiselle. Karkaistun teräksen sitkeys voi helposti puolittua pinnan hapettumisen vaikutuksesta.

Hapettumisen seurauksena teräksestä palaa hiiltä pois ja pintaan muodostuu hiilenkatokerros. Jos hiilenkatoa syntyy riittävästi, karkaistun teräksen sitkeys voi jopa nousta, koska murtuman ei ole helppo ydintyä pehmeään pintaan oksideista huolimatta. Korkeassa lämpötilassa suoritettu hehkutus (esim. 1100 °C ja 15min) saattaa synnyttää riittävän hiilenkatokerroksen. Vastaavan kerroksen syntyminen karkaisulämpötilassa (800 °C) kestää tunteja, joten tässä suhteessa pelkkä karkaisu on riittämätön. Siten karkaistun kappaleen pinnan hiominen kirkaaksi yleensä lisää sitkeyttä.

Hiilenkadon seurauksena teräskappaleen pinta ei saavuta karkaisussa täyttä kovuutta, joten karkaistusta teränsuusta voidaan joutua hiomaan melko runsaasti materiaalia. Toisaalta ylikorkeahiilissä teräksissä on ylimääräistä hiiltä, joten osa siitä voi hävitä karkaisuhehkutuksen aikana ja siitä huolimatta pinta ja siten myös teränsuu saavuttavat täyden kovuuden.

Hiilenkatokerroksen paksuus on helppo havaita karkaistusta teräksestä viilan avulla. Karkaisemattomastakin teräksestä se voidaan havaita syövyttämällä hiottua poikkileikkauksipintaa. Hiiletön kerros syöpyy harmaan eri sävyyn kuin hiilipitoinen teräs. Pintaan kannattaa hioa loiva viiste tai syvennys, jolloin ohuen hiilenkatoalueen poikkileikkauksesta tulee leveä ja silmin helposti havaittava. Kovaa terästä ei saa koskaan syövyttää ennen päästöä, koska happo saattaa aiheuttaa halkeamien muodostumista.

4. Takominen

Monesti väitetään, että taottu terä on parempi kuin hiomalla tehty terä. Terästehtaalla materiaalia valssataan eli kuumamuokataan varmasti riittävästi, joten lisätaonta ei paranna enää sen ominaisuuksia, mutta väärin tehtynä heikentää niitä. Puukonterän taonta on pikemminkin ulkonäkö ja valmistustekninen asia, joka lisää terän yksilöllisyyttä ja arvoa, kuin metallurginen välttämättömyys.

Vanhaan aikaan sepän raaka-aineena saattoi olla valettu teräsharkko. Tällöin takominen oli oleellista myös hyvien mekaanisten ominaisuuksien takia. Varsinkin valun keskellä saattaa olla huokoisuutta, koska sulan tilavuus pienenee jähmettymisen yhteydessä. Epäpuhtaudet suotautuvat valurakenteessa dendriitti-kiteiden väliin ja etenkin rikin suotaumat aiheuttavat haurautta. Takominen parantaa valun sitkeyttä, koska se pilkkoo ja venyttää epäpuhtaussuotaumia ja hitsaa huokokset umpeen.

Venyneiden epäpuhtaussuotaumien takia muokatun teräksen poikittaissuuntainen sitkeys on huonompi kuin pitkittäissuuntainen. Vanhanajan teräksissä ja takorautoissa saattoi olla runsaasti rauta- ja piioksidiepäpuhtauksia, mutta nykyaikaisessa teräksessä merkittävien epäpuhtaus on rikin ja mangaanin muodostama mangaanisulfidi. Jos rikkipitoisuus on pieni, ero pitkittäisen ja poikittaisen sitkeyden välillä on myös pieni.

Teräksen kuumamuokkaus aikaansaa rakenteen uudelleenkiteytymisen. Muokkaus synnyttää kideraerakenteeseen poikkeamia, joiden kohdalta uudet rakeet alkavat kasvaa. Taonnassa yleensä ja varsinkin käsin taonnassa muokkaus on niin vähäistä, että se ei pysty hienontamaan raekokoa. Korkean takomislämpötilan seurauksena rakeet kasvavat nopeammin kuin mitä muokkaus niitä hienontaa. Siksi taotun terän raekoko on hienonnettava normalointi lämpökäsittelyn avulla.

Mustat lapheet

Seppä jättää terät usein mustakylkiseksi. Takomisen aikana syntyynyttä rautaoksidia ja vasaran jälkiä ei haluta hioa pois, koska mustista lappeissa näkyy käsityö ja vasaran jälkien säännöllisissä painaumuissa sepän ammattitaito. Lisäksi mustien kylkien hiominen on ylimääräistä työtä.

Hapettunut pinta vähentää karkaistun teräksen sitkeyttä, koska hapettuminen yletyy pintakerroksen raerajoille, mikä helpottaa etenkin kovassa teräksessä murtuman ydintymistä. Toisaalta, jos taonnassa syntyy riittävästi pehmeää hiilenkatoa, hapettumisesta ei ole haittaa. Hiilenkato on kuitenkin epäluotettava sitkeyden lisääjä, joten mustakylkiseksi jätettyjen puukkojen kohdalla on parasta turvautua perinteiseen teränsuukarkaisuun, jolloin pehmeä hamara on hapettumisesta huolimatta sitkeä.

Teräksen ylälämpeneminen ja palaminen

Jos teräs lämmitetään ahjossa niin kuumaksi, että siihen muodostuu sulaa, se alkaa kipinöidä. Happi pääsee tällöin tunkeutumaan helposti syvälle puolisolun teräksen sisään, missä se muodostaa oksideja. Teräs voi palaa täysin käyttökelvottomaksi.

Korkeassa yli noin 1300 °C lämpötiloissa saattaa mangaanisulfideihin sitoutunutta rikkiä vapautua, varsinkin jos teräksen mangaanipitoisuus on matala. Tällöin vapaata rikkiä kulkeutuu austeniitin raerajoille, mihin se muodostaa teräksen jäähtyessä sulfideja. Rakenne muistuttaa tältä osin valurakennetta eikä sen sitkeys ole tällöin välttämättä paras mahdollinen. Raerajasulfideista johtuva hauraus voidaan poistaa sopivan hehkutuksen avulla, mutta varmin keinoa on takoa teräs uudelleen matalammassa lämpötilassa.

Ylikorkeahiilisen teräksen takominen

Kun hiiltä on korkeintaan 1% raerajasementtiin muodostumisen estämiseen riittää yleensä se, että puukonterä jäähdytetään takomisen jälkeen vapaasti ilmassa. Raerajasementtiitä saattaa syntyä, jos jäähdytys on hitaampaa tai hiiltä on enemmän. Ylikorkeahiilisen teräksen (n. 1.5%C) takominen on vaikeaa, koska se ei kestä murenematta yhtä korkeita takomislämpötiloja kuin tavallinen hiiliteräs ja raerajasementtiin liittyvät ongelmat tulee ottaa alituisesti huomioon.

Valetussa tai muusta syystä korkeasta lämpötilasta hitaasti jäähtyneessä ylikorkeahiilisessä teräskappaleessa on paksu sementtiittikerros entisillä austeniitin raerajoilla. Jos tämä taotaan liian matalassa lämpötilassa, rakenteeseen jää suhteellisen suuria karbideja jotka heikentävät sitkeyttä.

Suuret karbidit pitää ensin liuottaa noin 1150 °C lämpötilassa ja sitten antaa niiden syntyä uudestaan pieninä karbideina. Sementtiitti erkautuu pieninä partikkeleina, jos teräsaihiota kuumamuokataan siten, että teräs jäähtyy muokkauksen aikana. Tällöin muokkaus synnyttää jatkuvasti uusia rakeita ja pirstoo vanhojen rakeiden raerajoille syntyneitä sementtiittikerrosta. Oleellista on se, että muokausta on riittävästi ja sitä jatketaan riittävän matalaan lämpötilaan.

Voidaan myös käyttää useita laskevan lämpötilan kuumennussyklejä, jos terästä ei saada muokattua yhdellä kuumennuksella. Tällöin teräs kuumennetaan aluksi noin 1150 °C lämpötilaan, jolloin kaikki karbidit liukenevat. Seuraavassa taonnassa teräs kuumennetaan 1000 °C takomislämpötilaan, jonka jälkeen kuumennuslämpötilaa lasketaan, kunnes lopulta viimeiset kuumennukset tehdään 850 °C lämpötilassa.

Ahjohitsaus

Terästen tai takorautojen yhteentakomista kutsutaan ahjohitsaukseksi. Ahjohitsaus perustuu siihen, että kun lämpötila nostetaan riittävän korkealle, pinnan oksidikerros sulaa. Kun tällöin kappaleita taotaan yhteen, sula oksidi virtaa välistä pois ja paljaat metallit tarttuvat yhteen. Hiili laskee teräksen sulamislämpötilaa, joten hiilipitoisuudesta riippuen teräs saattaa sulaa oksidikerrosta aikaisemmin. Siksi terästen ja yleensä myös rautojen ahjohitsauksessa rautaoksidin sulamislämpötilaa alennetaan lisäämällä kvartsihiekkää tai sitä tehokkaampaa booraksia ahjohitsattavan kappaleen pintaan.

Ahjohitsauksen teoria on yksinkertainen, mutta käytännössä ahjohitsaus on erittäin vaativa kädentaito. Liitoksen aikaansaaminen on suhteellisen helppoa, mutta hyvän liitoksen tekeminen on vaikeaa.

5. Terän mekaaniset ominaisuudet

Kovuus

Kovasta teräksestä tehty terä pystyy tunkeutumaan leikattavaan materiaaliin ilman että se itse muuttaa muotoaan. Lisäksi kovan teräksen kulumiskestävyys on hyvä, joten kova terä säilyttää kauan terävyytensä. Siis, kova terä on pureva ja pitää teränsä. Pelkästä kovuudesta ei ole hyötyä, terän pitää olla myös sitkeä.

Mistä tahansa raudasta tai teräksestä tehty kanki sietää jonkin verran taivutusta niin, että taivutuksen jälkeen se palautuu takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Tällöin taivutus on elastinen. Elastisella alueella kaikki teräskanget ovat yhtä jäykkiä, mutta pehmeillä teräksillä elastinen alue jää hyvin kapeaksi. Kun elastinen alue ylitetään, siirrytään plastiselle alueelle, jolloin taivutus muuttuu pysyvästi kappaleen muotoa eli se myötää. Sitä rajaa, missä elastisuus muuttuu plastisuudeksi kutsutaan myötörajaksi.

Myötörajan suuruus riippuu teräksen kovuudesta. Kovaa terästä voidaan vääntää paljon suuremmalla voimalla kuin pehmeää terästä ennen kuin se myötää, joten kova teräs on lopulta jäykempää, vaikka aluksi elastisella alueella kaikki teräkset ovatkin yhtä jäykkiä. Toisaalta kova teräs saattaa olla haurasta, jolloin se murtuu ennen kuin myötörajaa edes saavutetaan. Siten teräksen lujuus riippuu kovuuden lisäksi sitkeydestä.

Puukonterien kovuus ilmoitetaan yleensä Rockwell C eli HRC eli Rc-yksiköissä. HRC mittauksessa materiaalin kovuutta testataan timantista hiotun mittakärjen avulla. Mittakärkenä käytetään 120° kulmaan hiottua timantikartiota jonka kärki on pyörästetty. Mittauksen alussa mittakärki painetaan 10 kg voimalla teräksen pintaan ja mittakello nollataan. Tarkoituksena on "ottaa löysät pois". Sitten voima lisätään 150 kg:n ja palautetaan takaisin 10 kg:n. Mittakellosta voidaan lukea HRC-kovuus, joka riippuu syntyneen kuopan syvyydestä siten, että 0.002 mm:n siirtymä vastaa yhtä HRC-yksikköä. Niukkahiilliseen karkaisemattomaan teräkseen kärki uppoaa noin 0.2 mm, jolloin kovuudeksi saadaan 0 HRC. Rockwell-mittaus ei sovi kovien ja hauraiden mineraalien testaukseen, mutta teoriassa timantin kovuus on 100 HRC, koska timanttinen mittakärki ei uppoa toiseen timanttiin.

Päästämättömän korkeahiillisen kappaleen kovuutta ei pidä mitata ilman suojausta, koska kappale saattaa olla niin hauras, että se murtuu mittakärjen painon vaikutuksesta. Päästämättömässä kappaleessa on jäljellä sisäisiä jännityksiä, joiden voimasta kappaleen puoliskot saattavat lentää päin mittaajaa tai sivullisia.

Puukkosepälle riittää yleensä kovuusmittariksi viila. Teräksen kovuus voidaan määrittää suuntaa-antavasti viilan avulla, koska kovempi materiaali naarmuttaa pehmeämpää ja naarmut syvenevät kovuseron kasvaessa. Mitä vaikeampi terästä on viilata, sitä kovempaa se on, ja jos viila ei tee naarmuja, teräs on yhtä kovaa kuin viila, eli noin 66 HRC. Viila karkaistaan ja päästetään maksimikovuuteen, joten se on melko luotettava referenssi. Karkaistua terästä testattaessa tulee ottaa huomioon mahdollinen hiilenkato, mistä johtuen pintaan saattaa syntyä naarmuja, vaikka sen alta löytyisikin viilan kovuus.

Sitkeys

Puukkoseppä saa riittävästi tietoa käyttämänsä materiaalin ja lämpökäsittelyn tuottamasta sitkeydestä koepalojen, ruuvipenkin ja vasaran tai jakoavaimen avulla. Koepalojen paksuuden tulee vastata puukonterää, koska paksuus vaikuttaa jäykkyyteen ja sitkeysikäytymiseen. Ohut koepala tuntuu paksua palaa taipuisammalta ja sitkeämmältä. Sitkeystestissä koepala laitetaan toisesta päästään ruuvipenkkiin kiinni ja sitä lyödään vasaralla koko ajan iskuja koventaen. Iskun voimaa tunnustellaan ja seurataan sitä, että tuleeko koepalaan pysyvä taipuma ennen kuin se katkeaa. Toinen hieman turvallisempi vaihtoehto on vääntää koepala poikki jakoavaimen avulla. Se, että onko kyseessä nopea isku vai hidas vääntö vaikuttaa yllättävän vähän teräksen sitkeyteen.

Kovien teräskappaleiden särkeminen on vaarallista ilma suojavisiiriä kasvojen edessä ja mielellään myös nahkarukkasia ja paksuja vaatteita yllä. Katkeavien koesauvojen kappaleet saattavat lentää suurella nopeudella. Omassa sormessani on pysyvä arpi joka syntyi, kun kappale pomppasi takaisin seinästä.

Sitkeän teräksen myötöraja on suurempi kuin murtoraja. Siten sitkeyttä voidaan arvioida asettamalla katkaistun terän tai koesauvan murtopinnat vastakkain. Jos murtopinnat sopivat toisiinsa ja koesauva näyttää tällöin suoralta, on se murtunut ennen myötörajan saavuttamista. Jos murtopinnat sopivat toisiinsa ja koesauva näyttää tällöin vääntyneeltä, on teräs myötänyt ennen kuin se on katkennut. Mitä vääntyneempi sauva sitä sitkeämpi teräs. Kappaleen paksuus tulee ottaa myös huomioon.

Silloin kun sauvan kappaleet ovat vääntyneet niin paljon, että murtopintoja ei voida sovittaa toisiinsa ilman, että niiden väliin jää rako, on teräs hyvin sitkeää. Yleensä kova teräs murtuu siten, että murtuman synnyttyä se etenee rakenteen läpi lähes ilman vastusta. Murtopintojen huono sopiminen toisiinsa kertoo siitä, että vaikka teräkseen on syntynyt murtuman alku, on jäljellä oleva materiaali vastustanut murtuman etenemistä ja samalla venynyt.

Myös murtopinnan ulkonäkö kertoo sitkeydestä. Kun raekoko on riittävän pieni, noin 0.01 mm, murtuma kulkee sitkeästi rakeiden läpi. Tällöin murtopinta on samettisen harmaa. Raekoon pienentäminen yli pieneksi ei lisää enempää sitkeyttä, eikä myöskään muuta murtopinnan ulkonäköä. Raekoon kasvaessa raerajamurtuman osuus lisääntyy ja teräksen sitkeys vähenee. Tällöin murtopinnasta tulee karkeamman ja kimmaltelevamman näköinen, ja jos rakeet ovat hyvin suuria, murtopinnasta voidaan erottaa yksittäisiä rakeita. Rakeenkasvun seurauksena teräksen sitkeys voi helposti pudota kymmenesosaan normaalista.



Vasemmella hyvin karkearakeinen ja oikealla hyvin hienorakeinen murtopinta.

Teränsuun sitkeyttä voidaan testata painamalla se kovaa vasten. Jos siihen tulee pieni lommo ennen kuin siitä lohkeaa pala, on teränsuu vuolukäyttöön riittävän sitkeä, mutta iskevään työhön tarkoitettut terät pitää testata myös hakkaamalla.

Ehkä yleisin tieteellinen sitkeyden mittausmenetelmä on Charpy iskukoe. Siinä koesauva lyödään poikki heilurivasaran avulla. Sauvan katkaisu kuluttaa energiaa, joten vasara ei heilahda takaisin ylös asti. Nousukorkeudesta voidaan laskea katkeamiseen vaadittavaksi energia. Charpy V mittauksessa käytetään yleensä 10x10x55 mm suuruisia koesauvoja joihin on koneistettu 2 mm syvä V-kirjaimen mallinen lovi. Lovi lisää murtumaherkkyttä joten mittauksen on tarkoitus testata huonointa tilannetta.

Kovat puukkoteräkset ovat kuitenkin niin loviherkkiä, että niiden mittaus lovetuilla sauvoilla ei anna järkeviä tuloksia. Siten teräaineet kannattaa testata suunnilleen terän paksuisilla loveamattomilla sauvoilla. Loveamattomien sauvojen käyttö on myös siten perusteltu, että terissä ei ole sellaisia lovia kuin koneen osissa tai hitsatuissa rakenteissa, joita varten V-loven käyttö on suunniteltu.

Muutoin sitkeä teräs saattaa murtua hauraasti loven kohdalta varsinkin pakkasessa. Perliittinen rakenne on erityisen loviherkkänä. Monissa muinaisissa miekoissa oli perliittinen rakenne, mutta koska niissä ei ollut lovia, ne saattoivat olla sitkeitä myös kylmässä.



Karkaistu ja päästetty (päästöväri) korkeahiilinen (AISI 1084) hienorakeinen (Al-lisäys) teräs. Koesauva 4.4x12x60 mm on lyöty poikki Charpy iskukokeessa. Palaset on sovitettu jälleen yhteen, jolloin plastinen taipuma ennen katkeamista on saatu näkyviin. Päästölämpötila, plastinen taipuma ja iskusitkeys (katkaisuun käytetty energia) on merkitty kuvaan.

Kovuus ja kulumiskestävyys

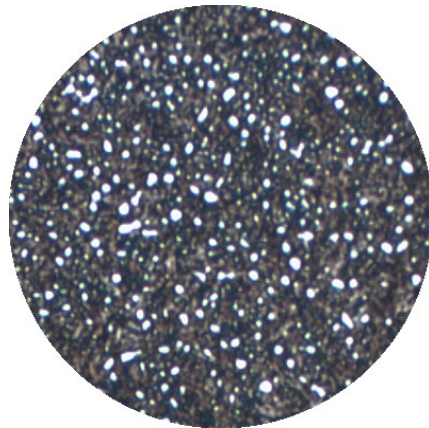
Kovempi materiaali naarmuttaa pehmeämpää. Luonnossa on runsaasti kovia mineraalipartikkeleita kuten hiekanjyviä, jotka kykenevät naarmuttamaan kovintakin terästä. Mitä kovempaa teräs, sitä pienempiä naarmuja siihen muodostuu ja siten sitä parempi kulumiskestävyys saavutetaan.

Myös pehmeämpi materiaali voi kuluttaa sitä kovempaa materiaalia, mutta hyvin hitaasti. Tällöin tylstymisen kannalta ei ole suurta merkitystä sillä, että onko terä paljon vai hyvin paljon leikattavaa materiaalia kovempaa.

Nahkassa, tammessa ja monissa trooppisissa puulajeissa sekä heinässä on runsaasti kovia mineraaleja, kun taas männyssä, koivussa ja kuusessa mineraaleja ei juuri esiinny. Niinpä kotoisia puulajeja vuoltaessa hieman pehmeämpikin puukko pitää teränsä, kun taas nahkaa käsiteltäessä tai jalopuita vuoltaessa kova terä on pehmeää ratkaisevasti kulumiskestävämpi.

Karbidit ja kulumiskestävyys

Karbidit vähentävät sitkeyttä, mutta karkaisussa liukenemattomien karbidien osuuden jäädessä 10% tuntumaan sitkeys voi olla vielä melko hyvä. Tämä karbidiosuus saavutetaan hiiliteräksissä 1.5% hiilipitoisuudella, kun taas ruostumattomissa teräksissä siihen riittää 1% hiiltä.



Mikroskooppikuva 1.6% hiiliteräs martensiitista ja pyöreistä karbideista. Suurennos 1500 x

Monien teollisuudessa käytettävien kulutusosien pinnan kulumiskestävyyttä parannetaan käyttämällä karbidipitoisia teräksiä, jolloin kulumiskestävyys saattaa lisääntyä yli kymmenkertaiseksi. Yleisesti uskotaan, että karbidit parantavat myös puukonterän kulumiskestävyyttä, mutta omissa testeissäni en ole voinut sitä havaita.

Monesti väitetään, että vanhasta viilasta, jossa on paljon karbideja, tulee paras puukonterä. Paljon karbideja sisältäviä ruostumattomia teräksiä (440C ja ATS-34) käytetään usein mielummin kuin tavallisia ruostumattomia, samoin kuin karbidipitoista D2 työkaluterästä mielummin kuin tavallista hiiliterästä. Kaikesta huolimatta omissa testeissäni en ole havainnut karbidien olevan hyödyllisiä puukonterässä. En suoraan uskalla väittää virheelliseksi käsitystä, jota niin monet puoltavat, mutta kehotan kuitenkin suhtautumaan kriittisesti tähän yleisesti uskottuun väittämään.

Omien testieni lisäksi olen turvautunut nahka-alan ammattilaisen apuun (Timo Suuniitty), jolla työnsä puolesta on hyvin herkkä käsi havaitsemaan, jos veitsi ei leikkaa hyvin. Hänen kanssansa olemme testanneet paksun parkkinahkan leikkaamista itse valmistetuilla suutarinveitsillä ja todenneet, että kovempi veitsi leikkaa yleensä paremmin ja että arviointiin perustuvissa leikkuukokeissa 2 HRC-yksikköä on helposti havaittavissa oleva kovuusero. Karbidien emme ole havainneet parantavan leikkuukykyä tai kulumiskestävyyttä.

Kovuuden vaikutus on helppo havaita, jos kovusero on riittävän suuri, kuten seuraavan taulukon ylikorkeahiilisissä suutarinveitsissä. Mitä kovempi veitsi sitä kauemmin se pysyi terävänä.

| Teräs | Kovuus, HRC | Paremmuusjärjestys |
|-----------------|-------------|--------------------|
| 1.6% hiiliteräs | 67 | 1 |
| 1.6% hiiliteräs | 63 | 2 |
| 1.6% hiiliteräs | 60 | 3 |

Karbidien vaikutusta on vaikeampi todeta. Kun erot ovat pieniä vertailukoe voidaan tehdä kahdelle, korkeintaan kolmelle veitselle. Niinpä karbidien vaikutusta tutkittiin kolmessa erillisessä vertailukokeessa.

Ensimmäisessä vertailukokeessa käytettiin kahta 1.6% hiiliteräs suutarinveitstä joiden kovuudet olivat 60 ja 63 HRC, sekä yhtä 0.8% hiiliteräs suutarinveitstä jonka kovuus oli 63 HRC. Ammattimies leikkasi niillä paksua parkkinahkaa ja teroitti teriä useaan kertaan. Aina teroituksen jälkeen kaikki terät leikkasivat hyvin. Yhtä kovat (63 HRC) veitset pysyivät yhtä kauan terävinä riippumatta siitä oliko hiiltä 0.8% vai 1.6%. Pehmein (60 HRC) veitsi tylstyivät aina nopeimmin, vaikka se oli valmistettu ylikorkeahiilisestä teräksestä. Kokeessa kovuuden merkitys oli paljon suurempi kuin hiili- eli karbidipitoisuuden. Tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa:

| Teräs | Kovuus, HRC | Paremmuusjärjestys |
|-----------------|-------------|--------------------|
| 1.6% hiiliteräs | 63 | 1 |
| 0.8% hiiliteräs | 63 | 1 |
| 1.6% hiiliteräs | 60 | 2 |

Toisessa vertailukokeessa käytettiin samassa lämpötilassa (155°C) päästettyjä 0.8% ja 1.6% hiiliteräsveitsiä, joiden kovudet olivat vastaavasti 66 ja 67 HRC. Terien leikkaavuuden tai kulumiskestävyyden välillä ei voitu havaita eroa.

| Teräs | Kovuus, HRC | Paremmuusjärjestys |
|-----------------|-------------|--------------------|
| 1.6% hiiliteräs | 67 | 1 |
| 0.8% hiiliteräs | 66 | 1 |

Rautakarbidin kovuus (n. 70 HRC) ei ole paljoa martensiittia enempää, joten se ei kykene lisäämään kulumiskestävyyttä siinä määrin kuin kova kromikarbidi (n. 80 HRC). Niinpä myös kromikarbidin vaikutus testattiin.

Kolmannessa vertailukokeessa verrattiin edellisessä kokeessa käytettyä 0.8% hiiliteräsveistä (66 HRC) sitä pari HRC-yksikköä pehmeämpään 12% kromiaseosteiseen AISI D2 työkaluteräs veitseen (64 HRC). Tällä kertaa parkkinahkan leikkauksen lisäksi nyljettiin tuoretta nahkaa. Etenkin nylkemisessä karbideista oletettiin olevan hyötyä, mutta 0.8% hiiliteräs tuntui suuremman kovuutensa ansiosta ehkä jopa hieman paremmalta.

| Teräs | Kovuus, HRC | Paremmuusjärjestys |
|-----------------|-------------|--------------------|
| 0.8% hiiliteräs | 66 | 1 |
| D2 työkaluteräs | 64 | 2 |

Kun teriä tarkasteltiin mikroskoopin avulla, voitiin havaita, että ohueksi ja teräväksi teroitettussa teränsuussa oli vain vähän karbideja. Ainoastaan samassa linjassa peräkkäin olevat karbidit mahtuivat siihen ja nekin huonosti, koska hyvin teroitettun suutarinveitsen teränsuu oli ohuempi kuin karbidien läpimitta.

Teroituksen jälkeen suurin osa leikkuutyöstä lankeaa martensiitin tehtäväksi, mutta kun teränsuu kuluu ja pyöristyy, siinä olevien karbidien lukumäärä kasvaa ja ne ottavat osaksensa suuremman osuuden leikkuutyön suorittamisesta. Vaadittaessa äärimmäistä terävyyttä karbideista saatava hyöty jää vähäiseksi, mutta jos voidaan työskennellä hieman tylsemällä terällä, karbidien merkitys kasvaa. Toisin sanoen, karbidit lisäävät enemmän pinnan kuin särmän kulumiskestävyyttä.

Karbidit helpottavat murtuman syntymistä, mutta toisaalta niiden kokonaisvaikutus saattaa olla sitkeyttä lisäävä, koska ne estävät teräksen raekokoa kasvavasta karkaisuhehkutuksen aikana. Viilankovaksi karkaistun teräksen kohdalla pienestä raekoosta johtuva sitkeyden lisäys on paljon suurempi kuin karbidien sitkeyttä vähentävä vaikutus. Siten ylikorkeahiilisestä viilateräksestä tehty teränsuu voi olla riittävän sitkeä suuresta kovuudestaan huolimatta. Ehkä tästä syystä ylikorkeahiilinen teräs oli sata vuotta sitten paras ja vielä nykyäänkin hyvä valinta puukkoon tai varsinkin partaveitseen.

6. Seosaineet

Sellaista terästä ei ole olemassa, mikä olisi pelkästään hiiltä ja rautaa. Teräksessä on aina seosaineita ja pieniä määriä epäpuhtauksia.

Rikki- ja fosforiepäpuhtaudet

Rikki ja fosfori ovat haitallisia epäpuhtauksia jotka vähentävät teräksen sitkeyttä. Niitä tulee teräkseen malmin sekä pelkistykseen käytettävän koksen eli puhdistetun kivihiilen mukana. Rikkiä ja fosforia voidaan poistaa sulasta kalkin avulla, mutta siitä huolimatta näitä epäpuhtauksia jää aina vähän jäljelle.

Rikki on vaarallisempaa kuin fosfori, mutta sen haitalliset vaikutukset voidaan poistaa mangaanin avulla, joka sitoo käytännössä kaiken rikin mangaanisulfideihin. Nykyaikaisissa teräksissä on aina mangaania, joten rikki ei ole ongelma. Muinaisissa rauta-ajan teräksissä mangaania saattoi tulla epäpuhtautena rautamalmin mukana, mutta yleensä mangaania ei ollut riittävästi rikin sitomiseen. Tosin muinaiset raudanvalmistusmenetelmät pystyivät tuottamaan melko matalarikkistä materiaalia, jolloin rikki ei ollut mangaanin puutteesta huolimatta ongelma.

Jos mangaania ei ole, rikki muodostaa rautasufidin (FeS), joka ei ole yhtä stabiili kuin mangaanisulfidi (MnS). Karkaisuhehkutuksessa rikkiä vapautuu rautasulfideista ja sillä on taipumus kertyä austeniitin raerajoille. Tällöin karkaistu teräs saattaa murtua entisiä austeniitin raerajoja pitkin. Myös fosforilla on taipumus kertyä raerajoille ja heikentää niitä. Kun lämpötila on yli $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ rikki voi jopa sulattaa austeniitin raerajat. Tällöin teräs murenee, kun sitä taotaan, eli se on kuumahaurasta. Kuumahaurautta ei esiinny, jos rikki sidotaan mangaanin avulla mangaanisulfideihin.

Mangaani

Kaikkiin nykyaikaisiin teräksiin lisätään mangaania. Yleensä käytetään vähintään 0.2% mangaaniseostusta. Kuten edellä kerrottiin, mangaani sitoo rikkiä mangaanisulfideiksi ja ehkäisee näin rikistä muutoin johtuvaa huonoa sitkeyttä ja kuumahaurautta. Muinaisissa teräksissä saattoi olla vähäisiä määriä malmista lähtöisin olevaa mangaania.

Mangaanisulfidit syntyvät pääosin jo sulassa ja ne jäävät jähmettyvien austeniitti-kiteiden väliin. Kuumamuokkauksen aikana mangaanisulfidit venyvät muokkauksen suunnassa ja vaikuttavat siihen, että teräksen poikittainen sitkeys on huonompi kuin pitkittäinen.

Mangaani lisää karkenevuutta. Hiiliteräksessä perliittireaktio alkaa nopeiten $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ tuntumassa. Jos mangaania on 0.2%, korkeahiillisen teräksen perliittireaktio alkaa tässä lämpötilassa 0.1 s kuluessa ja päätty 1 s aikana, kun taas mangaanipitoisuuden ollessa 0.7% vastaavat ajat ovat 1 s ja 10 s. Eli käytännössä edellinen teräs pitää karkaista suolaveteen ja jälkimmäinen voidaan karkaista myös öljyyn.

Pii

Vanhanajan upokasteräksiin piitä liukeni upokkaasta yleensä noin 0.1-0.5%. Nykajan teräksiin seostetaan piitä yleensä noin 0.2%. Tämä määrä ei juuri vaikuta teräksen ominaisuuksiin, mutta se vähentää sulan happipitoisuutta, jolloin teräs on helpompi valmistaa.

Piitä voidaan käyttää myös varsinaisena seosaineena, jolloin tyypillinen seostus on 1-2%. Korkea piiseostus lisää teräksen päästönkestävyyttä ja siirtää päästöhaurautta alkamaan korkeammassa lämpötiloissa. Eli piiteräs pehmenee päästössä tavallista hiiliterästä vähemmän ja se voidaan päästää 250-300 °C lämpötilassa ilman päästöhaurautta.

Pii nostaa austenoitumislämpötilaa, joten runsaasti piillä seostettujen terästen karkaisu pitää tehdä jonkin verran normaalia korkeammasta lämpötilasta. Pii lisää karkenevuutta, mutta ei yhtä paljon kuin mangaani tai kromi.

Tiivistäminen – Pii ja Alumiini

Sulaan teräkseen liukenee ilmasta happea. Sulan jähmettyessä happi poistuu kaasukuplina, jolloin sula alkaa kiehua ja kipinöidä. Kipinät johtuvat siitä, että vapautuva happi polttaa teräksen hiiltä. Kaikki kuplat eivät ehdi pintaan saakka, vaan osa niistä jää jähmettyvien kiteiden väliin ja teräksestä tulee huokoista. Vähäinen huokoisuus ei haittaa, koska huokokset hitsautuvat umpeen teräksen kuumamuokkauksen aikana.

Tiivistämisellä tarkoitetaan teräksen käsittelyä niin, että huokoisuutta ei muodostu. Tällöin sulaan lisätään piitä tai alumiinia, joka poistaa sulasta happea. Pii ja alumiini reagoivat hapen kanssa ja muodostavat kuonaa.

Sulan teräksen pinnalla oleva kuonakerros vähentää teräksen kosketusta ilman kanssa ja siten vähentää hapen tuleamista sulaan. Happi muodostaa tasapainotilan hiilen, piin, mangaanin ja alumiinin kanssa. Jos teräkseen tulee lisää happea, seosaineita palaa pois vastaava määrä, ja päinvastoin, etenkin alumiinin lisäys vähentää sulan happipitoisuutta. Ilman kuonakerrosta happea tulisi jatkuvasti lisää, jolloin se polttaisi hiiltä ja seosaineita niin nopeasti, että teräksen valmistus halutulla koostumuksella olisi mahdotonta.

Piitä voidaan lisätä teräkseen aina 2% saakka. Korkea pii-pitoisuus riittää tiivistämään teräksen, mutta normaali 0.2–0.4% pitoisuus ei vielä riitä täysin tiiviin rakenteen aikaansaamiseen, joten piin rinnalla käytetään usein tiivistykseen sitä tehokkaampaa alumiinia. Perinteinen tapa on lisätä 0.05% alumiinia sulaan juuri ennen valamista. Siitä noin puolet reagoi sulan teräksen hapen kanssa ja jäljelle jäävä osuus muodostaa teräksen jähmetyttyä typen kanssa alumiininitridejä. Modernissa terästehtaassa alumiinia voidaan lisätä vähemmän, koska palohäviöt jäävät pienemmiksi

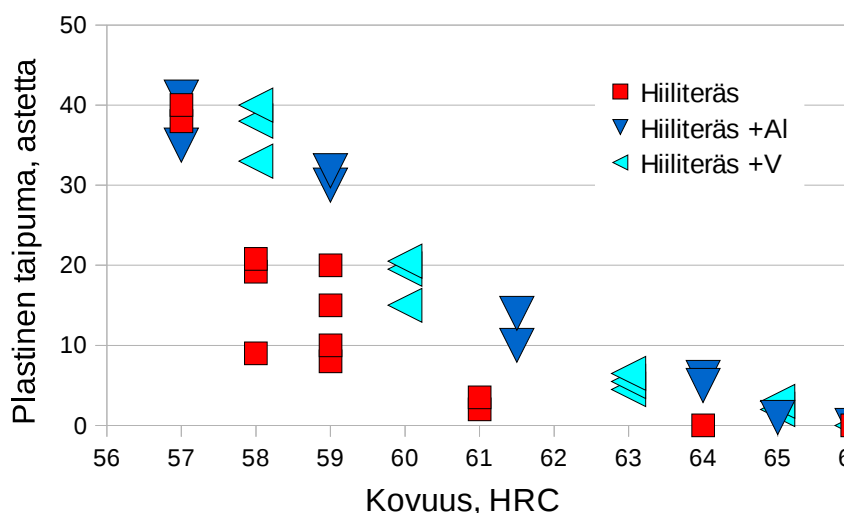
Rakeenkasvun ehkäisy – Alumiini ja Vanadiini

Austeniittirakeiden kasvu voidaan pysäyttää karbidi- tai nitridipartikkelien avulla, jotka ikään kuin naulaavat raerajat paikoilleen. Paljon pieniä partikkeleita on tehokkaampi kuin vähän isoja partikkeleita.

Sementtiitti eli rautakarbidi ovat karbideista isoimpia, joten niiden prosentuaalisen osuuden pitää olla suhteellisen suuri jotta rakeenkasvu estyy. Ylikorkeahiilisessä teräksessä (1.2–1.6% hiiltä) ne pystyvät estämään rakeenkasvun, mutta pienemmillä hiilipitoisuuksilla rautakarbideista ei välttämättä ole merkittävää hyötyä. Kromi muodostaa raudan kanssa yhteisen karbidin, joka kasvaa hitaammin kuin puhdas rautakarbidi. Siten kromiseosteisiin teräksiin muodostuu suurempi lukumäärä pienempiä karbideja kuin vastaaviin seostamattomiin teräksiin. Tällöin pienempi hiilipitoisuus riittää tehokkaaseen rakeenkasvun ehkäisyyn, kuten laakeriteräksessä 1% hiiltä ja 1.5% kromia.

Alumiini ja vanadiini ovat erittäin tehokkaita rakeenkasvun ehkäisijöitä. Alumiini muodostaa nitridejä ja vanadiinin teho perustuu sen muodostamiin karbideihin. Vanadiinikarbidi ja varsinkin alumiininitridit ovat kertaluokkaa pienempiä kuin rautakarbidi, joten niitä syntyy suuri lukumäärä jo pienillä alumiini- ja vanadiinilisäyksillä. Alumiini ja vanadiini toimivat myös matalilla hiilipitoisuuksilla.

Suurissa kovuuksissa, eli käytettäessä matalia päästölämpötiloja, alumiini- tai vanadiinilisäys voi helposti yli kaksinkertaistaa 0.6–0.8% hiiliteräksen sitkeyden. Mutta jos päästö tehdään noin 250 °C tai korkeammassa lämpötilassa, raekoon merkitys vähenee, ja tällöin alumiini- tai vanadiiniseostettu teräs ei välttämättä ole sitkeämpää kuin seostamaton hiiliteräs.



Al- ja V-lisäyksen vaikutus eri kovuuksiin päästetyn hiiliteräksen sitkeyteen. Sitkeys on määritetty taivuttamalla koesauva (3.8x6x30 mm) poikki ja mittaamalla plastinen taipuma. Hiiliteräs on täysin seostamaton (0.7C–0.02Mn–0.01P–0.01S), Hiiliteräs +Al on teollinen AISI 1080 teräs, jossa on alumiinia (0.8C–0.8Mn–0.008P–0.006S–0.025Al), ja Hiiliteräs +V on laboratoriossa valmistettu vanadiiniteräs (0.8C–0.7Mn–0.01P–0.004S–0.3V). Al ja V seostetut teräkset ovat yhtä sitkeitä, koska molempien raekoko on pieni. Seostamaton hiiliteräs on hauraampaa, koska sen raekoko on suurempi, mutta päästettynä kovuuteen 57 HRC (päästö 250 °C) se on yhtä sitkeää kuin yhtä kova Al- tai V-seostettu teräs.

Noin 0.15% vanadiinia riittää estämään rakeenkasvun. Suurempi määrä ei välttämättä tuota hienompaa raekokoa, mutta se estää rakeenkasvun korkeammissa lämpötiloissa. Vanadiini muodostaa lähinnä karbideja, mutta reagoi myös teräkseen liunneen tyyppien kanssa muodostaen jonkin verran nitridejä.

Alumiinia tarvitaan vähemmän kuin vanadiinia, koska alumiininitridit ovat pienempiä kuin vanadiinikarbideja. Siis, kun samasta ainemäärästä saadaan suurempi lukumäärä pienempiä partikkeleita, vähäisempi seostus riittää. Alumiini toimii parhaiten, kun sen pitoisuus on 0.02–0.03%. Pienemmällä tai suuremmalla pitoisuudella sen teho heikkenee. Alumiini muodostaa teräksessä pelkästään nitridejä, joten alumiinin teho riippuu myös tyyppipitoisuudesta. Sulaa teräkseen liukenee ilmasta tyyppiä noin 0.01%, mikä on juuri sopiva määrä nitridinmuodostuksen kannalta.

Alumiinipitoisuuden säätäminen sulassa teräksessä ei ole helppoa, koska alumiini reagoi herkästi hapen kanssa, eli osa alumiinista palaa pois (deoksidointi). Lisäksi alumiiniseostuksen teho riippuu teräksen käsittelystä sulan jähmettymisen jälkeen. Korkeissa lämpötiloissa alumiininitridit liukenevat ja teräksen jäähtyessä ne muodostuvat uudelleen. Jos alumiinia on liikaa tai hehkutuslämpötila on liian matala, osa nitrideistä jää liukenematta. Kun teräs jäähtyy hyvin hitaasti, liuennut alumiini muodostaa uutta nitridiä liukenemattomien alumiininitridien pintaan, jolloin erkaumien joukosta tulee tehottoman harvalukuinen. Mekanismi on sama kuin ylikorkeahiillisten terästen pehmeäsihehkutuksessa. Tästä ilmiöstä johtuu myös se, että liian korkea alumiiniseostus ei toimi. Tällöin alumiininitrideistä tulee liian isoja ja harvalukuisia jo sulan teräksen jähmettymisen yhteydessä.

Puukkoseppä ei käytännössä pysty pilaamaan alumiiniseostuksen vaikutusta, varsinkin jos takomisen jälkeen terän annetaan jäähtyä vapaasti ilmassa. Vaikeudet alumiini seostuksessa koskevat lähinnä terästehdasta, joten puukkoseppän kannalta oleellinen kysymys on se, että onko terästehdas onnistunut alumiiniseostuksessa, tai että onko alumiiniseostusta käytetty ollenkaan. Alumiinipitoisuutta ei määritellä terästandardeissa, joten materiaalin hienorakeisuus pitää tarkistaa erikseen. Jos murtopinta on erittäin hienorakeinen, alumiinia on lisätty ja se toimii.

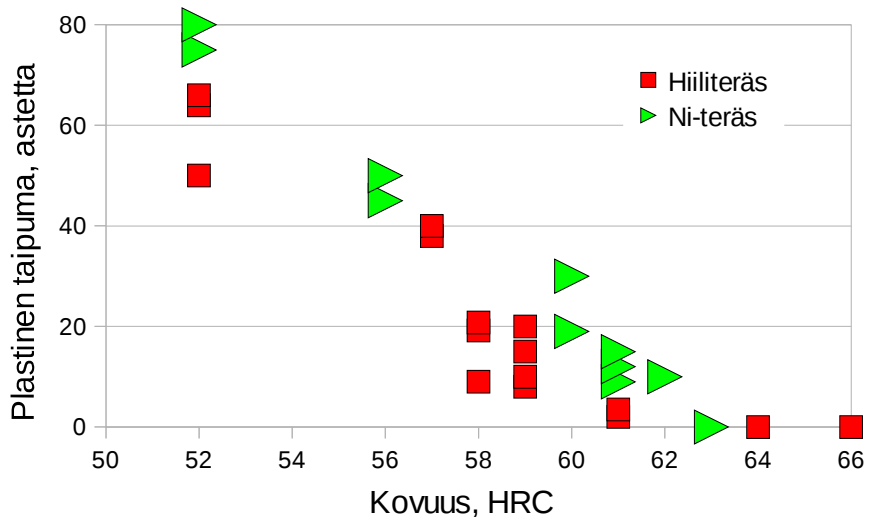
Vanadiinin käyttö on yksinkertaista ja se toimii aina. Siinä ei ole samoja vaikeuksia kuin alumiinin kanssa.

Karbidi- tai nitridipartikkelit estävät austeniitin rakeenkasvua, mutta eivät takaa, että austeniitti syntyy hienorakeisena. Hienorakeisen austeniitin edellytys on hienorakeinen lähtörakenne, kuten normaloitu teräs. Ensimmäisenä ydintyvät austeniittirakeet kasvavat syrjäyttäen lähtörakennetta. Tällöin karbidit tai nitridit eivät vaikuta rakeenkasvuun. Vasta sitten kun rakenne on muuttunut kauttaaltaan austeniitiksi, karbidi- ja nitridipartikkelit pysäyttävät austeniittirakeiden kasvun. Jos lämpötila kasvaa liian korkeaksi, karbidit ja nitridit alkavat liueta, partikkelien määrä vähenee, ja rakeet alkavat kasvaa. Alumiinin ja vanadiinin avulla raekoko pysyy pienenä vielä 900–1000 °C lämpötilassa.

Nikkeli

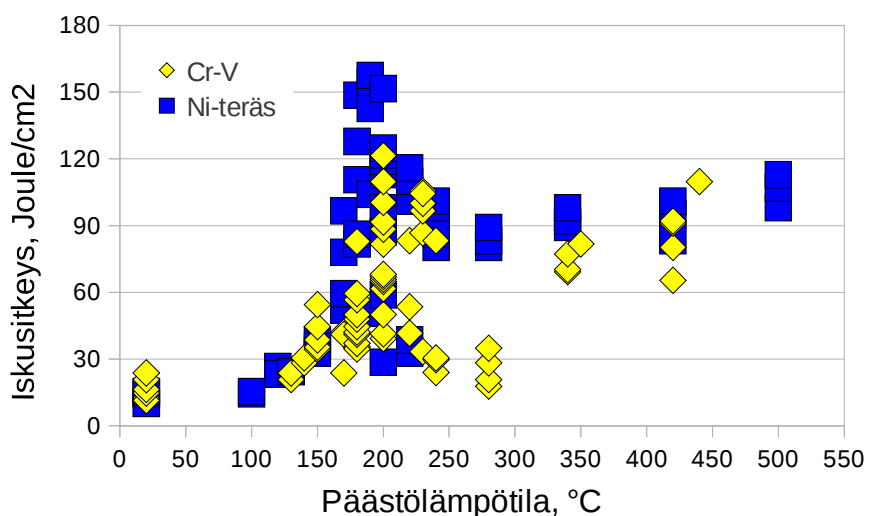
Puukkosepän kannalta nikkellillä on kaksi merkittävää sitkeyttä parantavaa vaikutusta. Nikkeli ehkäisee rakeenkasvusta johtuvaa haurautta, sekä lisää sitkeyttä, kun päästö tehdään 180–200 °C lämpötilassa. Mainintaa näistä vaikutuksista on vaikea löytää kirjallisuudesta, mutta olen todennut ne useaan kertaan omissa kokeissani.

Kokeideni mukaan nikkelseostus ei estä rakeenkasvua, mutta se estää rakeenkasvusta johtuvaa raerajamurtumaa. Siten nikkeli-teräs on sitkeämpää kuin sellainen seostamaton hiili-teräs, jossa rakeenkasvua ei voida välttää. Tosin käytettäessä korkeita (250–300 °C) päästölämpötiloja, rakeenkasvun merkitys vähenee, ja eroa ei välttämättä voida enää havaita. Hienorakeisessa alumiini- tai vanadiiniseostetuissa hiili-teräksessä ei yleensä esiinny raerajamurtumaa, joten nikkeli-teräs ja hienorakeinen hiili-teräs ovat periaatteessa yhtä sitkeitä.



Nikkelisäyksen vaikutus muutoin täysin seostamattoman teräksen sitkeyteen. Hiili-teräs (0.7C–0.02Mn–0.01P–0.01S) ja Ni-teräs (0.7C–4Ni–0.03Mn–0.01P–0.01S) on päästetty eri kovuuksiin. Jäännösausteniitin takia Ni-teräksen maksimikovuus (päästämätön) on vain 63 HRC. Sitkeys on määritetty taivuttamalla koesauva (3.8x6x30 mm) poikki ja mittaamalla plastinen taipuma. Matalassa lämpötilassa (180 °C) tehdyn päästön jälkeen (kovuus 61 HRC) hiili-teräs on "lasihaurasta", mutta Ni-teräs on sitkeää.

Kun päästö tehdään 190 °C tuntumassa, nikkeliteräs saattaa saavuttaa paremman sitkeyden kuin yhtä kova hienorakeinen hiiliteräs. Nikkeli siirtää päästöhaurautta korkeampiin päästölämpötiloihin (ei ole yhtä tehoks kuin pii). Päästöhaurautta aiheuttavat mekanismit heikentävät sitkeyden kehittymistä myös varsinaista päästöhaurausaluetta matalammissa päästölämpötiloissa. Niinpä 190 °C päästölämpötilassa hiiliteräksen sitkeys ei välttämättä kasva yhtä suureksi kuin nikkeliteräksen. Matalassa (<180 °C) tai selvästi päästöhaurausalueen yläpuolella (>300 °C) suoritetun päästön jälkeen nikkeli- ja hiiliteräs ovat yhtä sitkeitä.



Eri lämpötiloissa päästetyn Cr-V teräksen (0.85C–0.6Mn–0.5Cr–0.15V) ja 15N20 Ni-teräksen (0.75C–0.4Mn–2Ni–0.14Cr–0.02Al) iskusitkeys. Mitattu eri kokoisilla (paksuus 2.2–3 mm) koesauvoilla ja sitkeys laskettu poikkipinta-alaa kohden. Molemmissa teräksissä on hieno raekoko. Cr-V ja Ni-teräs ovat yhtä sitkeitä, kun päästölämpötila on matala tai korkea, mutta nikkeliteräs on sitkeämpi 190 °C päästön jälkeen. Varsinkin Cr-V teräksellä ilmenee poikkeuksellisen selvä päästöhauraus.

Usean prosentin nikkeli-seostuksen avulla voidaan helposti lisätä korkeahiilisen teräksen jäännösausteniitin määrää. Monesti kuvitellaan, että tällöin saadaan poikkeuksellisen sitkeää terästä. Pehmeä jäännösausteniitti toki lisää sitkeyttä, mutta samassa suhteessa, kun sitkeys lisääntyy, laskee myös kovuus. Siten samaan tai jopa parempaan lopputulokseen päästään käyttämällä matalampaa hiilipitoisuutta.

Nikkeli lisää karkenevuutta, mutta se ei ole yhtä tehokas kuin mangaani tai kromi.

Ehkä merkittävin hyöty nikkeliteräksistä puukkosepille on se, että niitä voidaan käyttää Damascus teräksen raaka-aineena. Ferrikloridi tai happo ei syövytä nikkeliterästä yhtä hyvin kuin tavallista terästä, joten erilaiset teräskerrokset voidaan syövyttää helposti näkyviin.

Kromi

Kromi lisää mangaanin tavoin karkenevuutta. Kromilla on myös taipumus rikastua karbideihin ja vähentää niiden liukenemistä. Siksi kromiseosteiset teräkset vaativat hiiliteräksiä korkeamman karkaisulämpötilan. Alle parin prosentin kromilisäyksillä korkeahiilisten terästen hiili muodostaa sementtiittiä, kuten tavallisessa hiiliteräksessä, mutta sillä erolla, että sementtiitissä on mukana myös kromia $(Fe, Cr)_3C$. Korkeammilla kromipitoisuuksilla mukaan tulee myös sementtiittiä kovempia kromikarbideja $(Cr, Fe)_7C_6$, joiden ansioksi voidaan lukea kromipitoisten työkaluterästen kuten D2:n hyvä pinnan kulumiskestävyys. Ruostumattomassa teräksessä on vähintään 12% kromia. Karbidien ollessa läsnä, osa kromista kertyy niihin ja matriisin kromipitoisuus laskee. Siksi korkeahiilisiin ruostumattomiin teräksin lisätään enemmän kromia kuin matalahiilisiin.

Molybdeeni

Korkeaa päästölämpötilaa käytetään koneenrakennuksen nuorrutusteräksissä (esim. 42CrMo4), joissa tavoitellaan hyvää sitkeyttä kovuuden kustannuksella. Molybdeeni parantaa korkeassa lämpötilassa (500–600 °C) päästetyn teräksen sitkeyttä siten, että sitkeys säilyy myös pakkasessa.

Molybdeeni parantaa myös päästön kestävyttä. Runsaasti molybdeenillä seostetut työkaluteräkset kuten AISI D2 säilyttävät suuren kovuuden (58 HRC) vaikka päästö tehtäisiin yli 500 °C lämpötilassa. Siten molybdeeniseosteiset työkalut eivät pehmenne, vaikka ne kuumenevat käytössä.

7. Teräaineet

Veitsien ja puukkojen terämateriaaleista puhuttaessa käytetään usein amerikkalaisia AISI-standardeja, koska amerikkalaiset veitsisepät ovat innokkaimpia kirjoittamaan aiheesta Internetissä. Riippuen siitä miten teräs on löytänyt tiensä puukkoseppien käyttöön, myös eurooppalaisia tai japanilaisia standardinimityksiä saatetaan käyttää.

Puukkotutkimukseni alkoi siten, että päätin löytää maailman parhaan puukkoteräksen seostettujen työkaluterästen joukosta, mutta lopulta päädyin siihen, että käytännössä yhtä hyvä puukonterä voidaan valmistaa tavallisesta 0.8% hiiliteräksestä. Toki seosaineiden avulla voidaan saavuttaa etuja, mutta lähinnä siten, että lämpökäsittelyssä onnistutaan varmemmin.

Työkaluteräksset on suunniteltu teollisuuden työkalujen tekemistä varten ja seosaineiden avulla haettu kulloiseenkin käyttötarkoitukseen sopivat ominaisuudet, joita ei välttämättä voida siirtää puukonterään. Esimerkiksi pikateräksellä pystytään sorvaamaan metallia paljon nopeammin kuin tavallisella hiiliteräksellä, mutta puukonterässä pikateräksen käytöstä ei ole etua. Pikateräksen ylivoimaisuus muihin teräksiin nähden metallin työstössä perustuu lähinnä siihen, että runsaan volfram- tai molybdeeniseostuksen ansiosta terä ei pehmene lämmitessään, kuten yleensä käy metallia koneellisesti työstettäessä.

AISI D2 on yksi yleisimmistä työkaluteräksistä ja se on myös monien seppien suosiossa. Siinä on 1.6% hiiltä, 12% kromia 1% molybdeeniä ja 1% vanadiinia. Suuri osa kromista sitoutuu karbideihin, joten teräs ei ole ruostumatonta, mutta kromi tekee karbideista poikkeuksellisen kovia. Teollisuudessa ollaan havaittu, että kromikarbidiensa ansiosta D2 kestää monin verroin hiiliterästä kauemmin, jos siitä tehdyllä suhteellisen tylpällä terällä leikataan esimerkiksi pellistä paloja, mutta puukonterän ohueksi teroitettussa teränsuussa karbideista ei ole vastaavaa hyötyä.

Sama pätee korkeahiilisiin ruostumattomiin teräksiin, kuten AISI 440C ja japanilainen ATS-34. Vaikka monet amerikkalaiset sepät näitä kehuvatkin, en ole itse havainnut mitään etua niiden käytölle puukon terässä verrattuna tavalliseen (0.5% C, 13% Cr) ruostumattomaan puukkoteräkseen.

Moni seosteräs sopii erinomaisesti puukonterän valmistukseen, kuten kromi-vanadiiniteräksset (80CrV2), jousiteräksset (AISI 5260) ja nikkeliteräksset (AISI L6). Laakeriteräs (AISI 52100 eli 100Cr6) ja AISI O1 ovat seosteräksistä puukkoseppän kannalta ehkä tärkeimmät. Näiden terästen saatavuus on paras. O1 on niin monikäyttöinen, että sitä aina saatavilla ja 100Cr6 puolestaan on yleisesti käytetty kuula- ja rullalaakerien materiaalina niin, että vanhoja laakereita voidaan käyttää raaka-ainelähteenä.

Hiiliteräkset

Hiiliteräksissä on aina hiilen lisäksi vähän mangaania. Myös alumiiniä voidaan lisätä rakeenkasvun ehkäisyyn ja hapen poistoon sulasta. Vaikka alumiini saattaa ratkaisevasti vaikuttaa raekokoon ja sitä kautta teräksen sitkeyteen, sen pitoisuus jätetään usein mainitsematta. Koska alumiinia ei aina käytetä, ja myös perinteiden takia, puukkosepän kannattaa opetella käsittelemään hiiliteräksiä niin, että raekoko pysyy hienona alumiiniseostuksesta riippumatta.

Käytännössä matalin käyttökelpoinen hiilipitoisuus teräaineissa on 0.35%. Se on hyvä valinta pitkään miekan, leukun tai vesurin terään, missä vaaditaan suurta sitkeyttä ja 50 HRC:n kovuus on riittävä. Koska hiiltä on vähän, terän sitkeys ei välttämättä vähene, vaikka rakeet kasvaisivat jonkin verran liian suuriksi korkean karkaisulämmön takia. Paikallista ylitämpenemistä tapahtuu helposti pitkän terän karkaisussa, jos se tehdään alkeellisilla sepänpajan välineillä. Lisäksi pitkä terä vääntyy helposti karkaisussa, joten sitkeyttä tarvitaan siinäkin, kun terä oikaistaan.

Kun tavoitteena on leikkuuominaisuuksiensa puolesta paras mahdollinen puukonterä, se pitää tehdä mahdollisimman kovasta korkeahiilisestä teräksestä, eli hiilipitoisuuden pitää olla 0.8% tai enemmän. Mitä hienompana raekoko karkaisuhehkutuksessa onnistutaan pitämään sitä kovemmaksi terä voidaan jättää päästössä. Parhaassa tapauksessa terän kovuus yleispuukossa voi olla jopa 64 HRC ja siitä huolimatta terä kestää puun hakkaamista.

Amerikkalaisten seppien eniten käyttämä hiiliteräs on AISI 1095. Standardin mukaan siinä on noin 1% hiiltä ja 0.4% mangaania. Niukasta mangaaniseostuksesta johtuen se on veteen karkaistava teräs. Toinen paljon käytetty teräs on AISI 1084. Sen hiilipitoisuus on noin 0.85% ja mangaanipitoisuus 0.8%, joten se voidaan karkaista öljyyn.

Partaveitsiä, puukkoja, viiloja ja kirurgin välineitä on menneinä aikoina menestyksekkäästi tehty ylikorkeahiilisistä teräksistä, joissa hiilipitoisuus on 1.2–1.6%. Yleisesti uskotaan, että karbidit lisäävät teränsuun kulumiskestävyttä, mutta omissa terätesteissäni en ole pystynyt havaitsemaan sitä. Ylimääräinen hiili auttaa ainakin siinä, että pinnan tai ohuen teränsuun kovuus ei laske hiilenkadon takia, jolloin hiontatyössä päästään helpommalla. Lisäksi liukenemattomat karbidit estävät rakeenkasvua, joten ylikorkeahiilinen teräs voi saavuttaa suhteellisen hyvän sitkeyden suurissa kovuuksissa.

Ylikorkeahiilisen teräksen karbidit estävät niin tehokkaasti rakeita kasvamasta, että alumiiniseostuksesta ei ole hyötyä. Itse asiassa alumiiniseostus voi olla jopa haitallinen, koska se saattaa edesauttaa takomisen aikana karbidien muuttumista grafiitiksi. Karbidien stabiilisuutta voidaan lisätä vähäisen (n. 0.5%) kromiseostuksen avulla ja siten estää grafiitin muodostuminen.

Rautakarbidit kasvavat helposti suuriksi jolloin niiden lukumäärä ei 1% hiiliteräksessä ole välttämättä riittävä tehokkaaseen rakeenkasvun estämiseen, mutta kromiseosteisessa teräksessä, kuten laakeriteräksessä, 1% hiiltä riittää, koska kromi auttaa karbideja pysymään pieninä.

Viilateräksenä tunnetaan teräslaatu, jossa on noin 1.3% hiiltä ja vähän kromia. Olen mitannut monista eri merkkisistä ja ikäisistä viiloista kemiallisen koostumuksen ja se on ollut suunnilleen tätä terästä. Siten vanhat viilat ovat oiva materiaalilähde puukkosepille. Viilasta pitää muistaa hioa hammastus pois ennen takomista, koska hammastus ei katoa kokonaan takomisessa, vaan jää uriksi oksideikerroksen alle ja siten tarjoaa murtumalle hyviä ydintymispaikkoja. Viiloja on myös hiottu puukoiksi ilman takomista. Väitetään, että vanhasta viilasta voidaan tehdä paras puukko. Vähintään siitä tulee erinomainen puukko.

Hiiliteräs ja vanadiinilisäys

Helpoin ja ehkä myös paras teräs puukkosepille on 0.8% hiiliteräs johon on lisätty 0.2% vanadiinia. Lämpökäsittely voidaan tehdä kuten tavalliselle hiiliteräkselle, mutta vanadiini varmistaa hienon raekoon ja hyvän sitkeyden. Koska teollisuus ei enää tuota tällaista hiiliterästä, olen valmistanut sitä laboratoriovalimossa yhdessä puukkoseppien kanssa.

80CrV2

Yksi parhaista puukkoteräksistä on 0.8% hiiltä sisältävä kromi-vanadiiniteräs, 80CrV2. Se on kuin hiiliteräs paitsi, että karkenevuutta on parannettu 0.5% kromilisäyksen avulla ja raekoko pysyy varmasti hienona 0.2% vanadiinilisäyksen ansiosta. 80CrV2 voidaan lämpökäsitellä kuten vastaava öljyyn karkaistava hiiliteräs. Teräs karkenee alle 800 °C lämpötiloista, mutta tällöin rakenteeseen jää liukenemattomia sementtiitti karbideja, koska kromi vähentää sementtiitin liukoisuutta. Yleensä parhaaseen tulokseen päästään käyttämällä 850 °C karkaisulämpötilaa.

80CrV2 teräksestä voidaan tehdä helposti erittäin kovia (62–64 HRC) puukonteriä jotka kovuudestaan huolimatta ovat sitkeitä. Tällöin käytetään päästölämpötilaa 160–180 °C.

Korkeassa lämpötilassa (n. 500 °C) suoritettua päästön jälkeen 80CrV2 sopii teollisuudelle sirkkelinterän raaka-aineeksi. Niinpä sitä valmistetaan myös puukonterän tekoon sopivana levynä, mutta materiaalin saatavuus pienissä erissä saattaa olla huono.

Nikkeliteräs

Nikkeliteräkset ovat sitkeitä, mutta eivät välttämättä oleellisesti sitkeämpiä kuin vastaavat hiiliteräkset. Suomessa harvinainen, mutta amerikkalaisten puukkoseppien eniten käyttämä nikkeliteräs on AISI L6. Siinä on tyypillisesti 0.7% hiiltä, 1.5% nikkeliä, 0.8% kromia sekä valinnaisena 0.3% molybdeeniä ja 0.2% vanadiinia. Puukkoseppän tulisi valita hienon raekoon takia vanadiinia sisältävää teräs. Suomalaisten puukkoseppien keskuudessa tunnetumpi nikkeliteräs on Uddeholmin 15N20. Se sisältää 0.8% hiiltä ja 2% nikkeliä. Olen testannut kahta 15N20 teräserää ja ainakin niissä oli myös rakeenkasvun estämisen kannalta sopiva alumiiniseostus. 15N20 lämpökäsittely ei poikkea hiiliteräksen lämpökäsittelystä, jote se sopii hyvin hiiliteräksen pariin Damascus taonnassa.

Jos tavoitteena on riittävä kovuus ja suurin mahdollinen sitkeys, puukko- tai miekkasepän kannattaa harkita noin 0.5% hiiltä ja 3–4% nikkeliä sisältävää terästä, kuten Böhlerin K600 (0.55C–3Ni–1Cr–0.25Mo) ja K605 (0.48C–4Ni–1.3Cr–0.25Mo). Testaamissani Böhlerin nikkeli-teräksissä alumiini esti rakeenkasvua, mutta toisaalta johtuen kohuullisesta hiilipitoisuudesta ja runsaasta nikkeli-seostuksesta K600 tai K605 ei ole kovin altis rakeenkasvusta johtuvalle haurastumiselle, vaikka alumiinia ei olisi ollenkaan. Runsaan seostuksen takia K600 ja K605 voivat kareta ilmajäähytyksessä, joten ne pitää halkeamisriskin takia päästää takomisen tai normaloinnin jälkeen. Sopiva karkaisulämpötila on 850 °C. Karkaisu kannattaa tehdä öljyyn. Suositeltava päästölämpötila on 180-190 °C.

O1 työkaluteräs

AISI O1 on se teräs, mitä lähes jokaisella työkaluteräskauppialla on erilaisina mittoina hyllyssä. Sen hiilipitoisuus on 0.95%, karkenevuutta on parannettu 1.2% mangaanin ja 0.5% kromin avulla sekä raekoko pidetään pienenä 0.5% volfram- ja yleensä myös 0.1% vanadiiniseostuksen avulla.

O1:n karkaisulämpötila on sama tai hieman korkeampi kuin hiiliteräksellä. Noin 800 °C antaa hyvän tuloksen puukonterissä. O1 on öljyyn karkaistava teräs. Korkeassa taontalämmössä karbidit liukenevat, jolloin teräs saattaa kareta osittain myös ilmaan. Tällöin siitä tulee erityisen haurasta ja se saattaa jopa haljeta itsestään. Siksi taottu teräs kannattaa normaloida välittömästi jäähtymisen jälkeen. Runsaan seostuksen ansiosta raerajasegmenttiin muodostumisesta ei ole suurta vaaraa, kun taottu teräs jäähdytetään vapaasti ilmassa.

O1:n karkenevuus on säädetty puukonterä paksimpien kappaleiden öljykarkaisua varten. Runsaan mangaaniseostuksen takia O1:n maksimikovuus jää ainakin yhden HRC-yksikön verran pienemmäksi kuin tavallisella hiiliteräksellä, mutta sillä tuskin on suurta käytännön merkitystä.

Usein karkaisuohjeissa kehoitetaan laittamaan O1:stä tehty kappale vielä lämpimänä (n. 70 °C) uuniin, jotta halkeamisilta vältyttäisiin. Puukonterä on kuitenkin niin pieni ja yksinkertaisen muotoinen kappale, että se ei halkea karkaisussa helposti. Jotta jäännösausteniittipitoisuus jäisi vähäiseksi ja siten kovuus mahdollisimman suureksi, O1:stä tehty puukonterä voidaan jäähdyttää ensin huoneen lämpöön ja päästää heti kun lämpötila on saavutettu.

100Cr6 laakeriteräs

Lähes kaikki kuula- ja rullalaakerit on tehty AISI 52100 eli 100Cr6 teräksestä, joten tätä materiaalia kutsutaan myös laakeriteräkseksi. Ellei lukuun lasketa niitä teräskauppiaita, jotka erikseen ottavat huomioon puukkoseppien tarpeet, pieniä määriä laakeriterästä on vaikea saada. Sitä vastoin vanhat laakerit ovat puukkosepälle ehtymätön materiaalilähde.

AISI 52100 on kuin AISI 1095 paitsi, että sen karkenevuutta on parannettu 1.5% kromilisäyksen avulla. Laakeriteräs ei karkene yhtä hyvin kuin AISI O1. Laakeriteräs karkaistaan yleensä öljyyn.

Laakeriteräs saattaa taonnan jälkeen olla osittain ilmaan karkeneva, koska korkeassa taontalämmössä karbidit liukenevat ja niistä vapautuu hiiltä ja kromia. Taonnan jälkeisessä ilmajähdytyksessä raerajakarbidien muodostumisesta puukonterän kokoiseen kappaleeseen ei ole suurta vaaraa, koska kromi hidastaa raerajakarbidien muodostumista.

Karkaisuhehkutuksessa laakeriteräs pysyy hienorakeisena kromilisäyksen ansiosta, koska se pitää liukenemattomat karbidit pieninä ja runsaslukuisina ja siten tehokkaina rakeenkasvun ehkäisijöinä.

Koska kromi vähentää karbidien liukenemista, laakeriteräs pitää kuumentaa noin 840 °C lämpötilaan ennen kuin karbideista liukenee riittävä määrä hiiltä täyden kovuuden (n. 66 HRC) saavuttamiseksi. Korkeampi karkaisulämpö saattaa aiheuttaa liian suuren karbidimäärän liukenemisen. Tavoiteltaessa parempaa sitkeyttä kovuuden kustannuksella laakeriteräksen karkaisulämpötilaa voidaan laskea aina 800 °C paikkeille, jolloin karbideista liukenee vähemmän hiiltä ja kovuus jää 60 HRC:n tuntumaan.

115CrV3 ”hopeateräs”

Hopeateräs ei sisällä hopeaa. Nimitys tulee sen kirkkaaksi hiotusta pinnasta. Suomessa puukkoihin käytettävä hopeateräs on yleensä saksalaista lajia, eli 115CrV3. Siinä on hiiltä 1.2%, kromia 0.7% ja vanadiinia 0.1%. Koostumus on kuin viilateräksessä paitsi, että kromia on vähän enemmän ja lisänä on vielä vanadiiniseostus. Kromin takia sopiva karkaisulämpötila on hieman korkeampi kuin vastaavalla hiiliteräkselle. Olen saanut hyviä tuloksia karkaisemalla 800 °C lämpötilasta öljyyn.

115CrV3-teräksen, kuten kaikkien ylikorkeahiilisten terästen kanssa on vaarana raerajasegmenttien muodostuminen. Se on kuitenkin vältettävissä noudattamalla kappaleen ”ylikorkeahiilisen teräksen takominen” ohjetta.

Oikein taotussa 115CrV3-terässä sementtiittikarbidit ovat pieniä ja niiden lukumäärä suuri, jolloin ne yksin riittävät estämään rakeenkasvun. Tällöin vanadiinista ei välttämättä ole hyötyä, mutta ei haittaakaan. Joka tapauksessa vanadiini antaa lisävarmuutta siihen, että raekoko pysyy pienenä.

Ruostumattomat teräkset

En ole koskaan innostunut takomaan puukkoja ruostumattomasta teräksestä ja ne harvat yksilöt jotka olen siitä tehnyt, olen hionut suoraan teräslevyn kappaleesta. Ruostumaton miekanterä tuntuisi jotenkin oudolta ratkaisulta, mutta tehdastekoisten ostopuukkojen ja veitsien kohdalla valitsen mieluiten ruostumattoman teräksen. Ruostumattomien terästen metallurgiaa pidän mielenkiintoisena lähinnä suhteessa hiiliteräksiin. Perusasiat näiden materiaalien eroista on syytä tietää, vaikka ei koskaan käyttäisi ruostumatonta terästä.

Ruostumaton teräs ei karkene yhtä kovaksi kuin hiiliteräs, koska korkean kromiseostuksen takia siihen muodostuu helposti pehmeää jäännösausteniittia. Jäännösausteniittia voidaan muuttaa martensiitiksi pakkaskarkaisun avulla eli jäähdyttämällä teräs öljykarkaisun jälkeen nestetyypen -196°C lämpötilaan. Pakkaskarkaisu nostaa ruostumattoman teräksen kovuutta pari HRC-yksikköä. Jäännösausteniitin muodostuksen takia ruostumattomassa martensiitissa voi olla hiiltä korkeintaan 0.3% jolloin pakkaskarkaisun jälkeen voidaan saavuttaa kovuus 60 HRC.

Yleisimmässä ruostumattomassa puukkoteräksessä on noin 0.5% hiiltä ja 13% kromia (AISI 425M, Sandvik 12C27). Karkaisuhehkuksessa hiiltä liukenee noin 0.3% ja loput jäävät kromikarbideihin, jotka estävät rakeita kasvamasta karkaisuhehkuksen aikana. Ruostumaton teräs karkaistaan 1050°C lämpötilasta, koska kromi vaikeuttaa karbidien liukenemistä.

Korkeahiilisemmissä ruostumattomissa, kuten 440C ja ATS-34 on 1% hiiltä, mikä tuottaa suhteellisen suuren 10% osuuden karbideja, joiden tarkoituksena on lisätä teräksen kulumiskestävyyttä.

Kuten jo aikaisemmin olen yksityiskohtaisesti perustellut, karbidien merkitys puukonterässä on vähäinen, huolimatta siitä, että amerikkalaiset sepät kehuvat 440C ja ATS-34 terästen ylivoimaisuutta. Lisäksi suuri määrä karbideja vähentää teräksen sitkeyttä. Suomalaiset sepät puolestaan perusteettomasti haukkuvat ruostumattomien terästen leikkuukykyä. Tosiasiassa yhtä kovina ruostumattomat ja hiiliteräspuukot ovat leikkuuominaisuuksiensa puolesta yhtä hyviä. Hiiliteräs on parempi vain silloin, jos se on karkaistu kovemaksi.

Yhdistelmäteräs

Joskus puukoissa tavataan kolmesta kerroksesta tehtyjä teriä. Keskellä on kovaa ja hyvin leikkaavaa terästä sekä reunoilla pehmeämpää ja sitkeämpää materiaalia, joka estää terän katkeamisen. Tällaisia teräksiä valmistetaan teollisesti, mutta niiden saatavuus on huono. Käytännössä yhdistelmäteräsä haluava puukkoseppä joutuu takomaan itse kerrokset yhteen. Jos lappeiksi taotaan pehmeää terästä, terä saattaa taipua liian helposti, mutta toisaalta pehmeät kyljet hioutuvat helposti puukkoa teroitettaessa. Paremmat mekaaniset ominaisuudet saavutetaan, jos lappeisiin taotaan keskihiillistä terästä.

Kolmikerroksisen rakenteessa ongelmana on se, että teräs turpoaa martensiittireaktiossa. Mitä enemmän hiiltä, sitä suurempi tilavuuden muutos. Niinpä kahden matalahiilisen kerroksen väliin taotulla korkeahiillisellä kerroksella on taipumus haljeta keskeltä, koska vähemmän turvonneet laidat vetävä sitä halki. Halkeaminen voidaan välttää, kun terä laitetaan vielä lämpimänä päästöuuniin, mutta tällöin ei välttämättä saavuteta täyttä kovuutta. Kromi ja mangaani laskevat lämpötilaa, missä martensiittireaktio tapahtuu, joten seostus lisää halkeamisriskiä. Kromiseostus lienee mangaaniseostusta vaarallisempi. Tavallinen korkeahiilinen teräs on ehkä paras valinta keskikerrokseksi.

Rautakauden terissä yhdistettiin usein terästä pehmeään takorautaan. Monissa veitsissä oli kolmikerroksinen rakenne, mutta ehkä yleisempää oli tehdä vain teränsuu teräksestä. Ei tiedetä, haluttiinko rakenteella säästää kallista terästä, estää terän katkeaminen tai tehdä teroittaminen helpommaksi.

Joskus olin innokas kehittämään täydellistä kolmikerrosrakennetta puukonterään, mutta lukuisten kokeiden jälkeen päädyin kuitenkin suosimaan rakennetta, missä teränsuu karkaistaan hamaraa kovemmaksi. Se ei ole parempi, mutta paljon helpompi toteuttaa.

Ahjohitsattu Damascus teräs

Teräksen taitto ja takominen on perusmenetelmä, jota muinaisina aikoina käytettiin kuonan poistamiseen ja tasalaatuisen rakenteen aikaansaamiseen. Joskus erilaisten rauta- ja teräskerrosten yhteentakomista hyödynnettiin myös kuviollisen teräksen valmistuksessa. Nykykielessä tällaista terästä kutsutaan Damascus teräkseksi, vaikka tämä syyrialainen kaupunki ei olekaan kyseisen teräksen synnyinsija tai edes sen merkittävä tuottaja. Muinaisina aikoina ajhohitsaamalla kuvioitua terästä valmistettiin monissa kulttuureissa, kuten myös rautakauden Suomessa.

Ehkä tunnetuimmat ajhohitsaamalla damaskoidut miekanterät taottiin kansainvaellusten ja viikinkien ajan Euroopassa 200–900-luvuilla. Kuningas Arthurin legendaarinen miekka Excalibur oli ehkä myös valmistettu tällaisesta teräksestä 600-luvulla. Damaskoiduissa miekoissa oli taottu yhteen kovaa terästä ja pehmeätä rautaa. Teräs tummui ja rauta pysyi vaaleampana. Terän keskelle ajhohitsattiin yleensä vähintään kaksi damaskoitua eri suuntiin väännettyä kierretankoa, kun taas teränsuussa saatettiin käyttää laminoitua tai yhtenäistä korkeahiillistä terästä.

Hiilipitoista terästä ja hiiletöntä rautaa laminoitaessa tulee ottaa huomioon hiilen diffuusio, eli sen siirtyminen teräskerroksista rautakerrokseen. Jos kerroksia yritetään tehdä useita kymmeniä, kerrospaksuudesta tulee niin ohut, että hiilipitoisuus tasoittuu hiilen kulkiessa kerrosten yli. Siten rauta-teräs-yhdistelmissä kuviot eivät voi olla kovin ohuita.

Samuraimiekoissa käytettyä terästä taottiin erityisen paljon. Venytyksestä, taitosta ja ahjohitsauksesta koostuva sykli saatettiin toistaa 20 kertaa, jolloin teoriassa saatiin miljoona kerrosta, mutta käytännössä hiilipitoisuus tasoittui jo ensimmäisten taittojen jälkeen. Joskus japanilaisissa miekoissa on silmin nähtävissä erilaisia teräskerroksia, mutta tällöin uusia paksumpia kerroksia on lisätty taonnan loppuvaiheessa. Samuraimiekoja on ylistetty ja palvottu, mutta en usko, että japanilaisten metallurgien taidot olisivat olleet ainutlaatuisia.

Nikkelipitoisia rautameteoriittejä on käytetty Damascus teräksen raaka-aineena. Näistä tunnetuimpia ovat indonesialaiset Kris terät, jotka myös UNESCO tunnustaa arvokkaaksi kulttuuriperinnöksi. Nikkelin diffuusio teräksessä on lähes olematon. Takomalla yhteen tavallista ja nikkelipitoista terästä tai meteoriittirautaa voidaan valmistaa hyvin ohuita Damascus-kuvioita, mutta yli 500 kerroksinen rakenne saattaa näyttää jo liian pieneltä. Nikkeliteräs ei syövy yhtä helposti kuin tavallinen teräs, joten nikkeliteräskerrokset voidaan syövyttää helposti esiin.

Syövytys kannattaa tehdä ferrikloridilla. Tavallinen teräs syöpyy nopeammin jolloin teräksen pinnasta tulee uurteinen. Koholle jääneet nikkeliteräskerrokset kiillotetaan hienolla hiomapaperilla, jolloin eri kerrosten välille syntyy voimakas kontrasti. Näin valmistettu teräs on erittäin kaunis, mutta uurteinen pinta on sitkeyden kannalta huono.

Pehmeät rautakerrokset kovien teräskerrosten välissä saattavat lisätä rakenteen sitkeyttä, jos teräskerrosten sitkeys on huono, mutta jos teräs onnistutaan tekemään laadukkaaksi, erillisistä rautakerroksista ei ole hyötyä. Rautakauden eurooppalaisissa miekoissa damaskointi tehtiin lähinnä miekan keskellä olevaan syvennykseen, joka sitkeyden kannalta on vähiten kriittinen kohta. Tämä osoittaa, että damaskoinnilla ei edes pyritty lisäämään sitkeyttä. Monissa vanhoissa miekoissa, japanilaiset mukaan lukien, on teränsuu karkaistu muuta osuutta kovemmaksi. Näin on varmistettu se, että teräs ei katkea iskussa, mutta kova teränsuu pystyy tunkeutumaan suojuksien läpi.

Usein ajatellaan virheellisesti, että Damascus teräs olisi samalla tapaa sitkeätä kuin teräsvaijeri. Damascus teräksessä kerrokset ovat kiinni toisissaan, kun taas teräsvaijerin säikeet pääsevät liikkumaan toisiinsa nähden. Ehkä muinoin joissain tapauksissa damaskointi saattoi parantaa sitkeyttä, mutta nykyaikaisten terästen kohdalla sen vaikutus on pikemminkin päinvastainen.

Wootz Damascus teräs

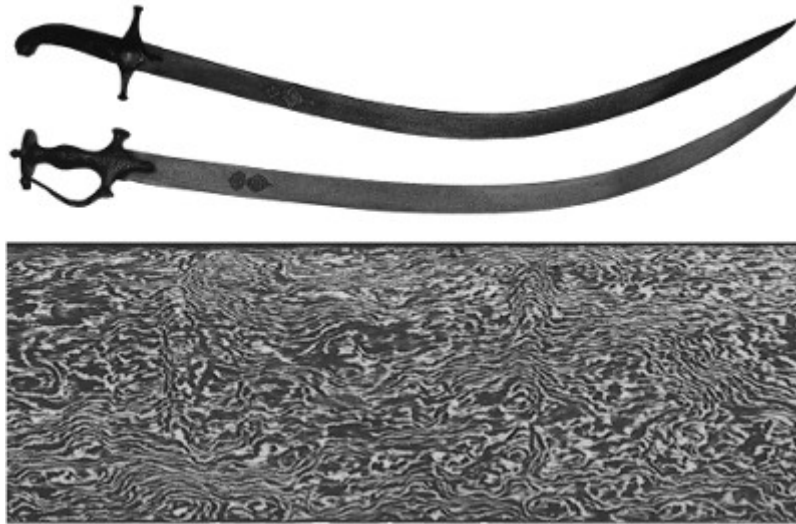
Ahjohtattua Damascus terästä harvinaisempi materiaali on sen wootzista valmistettu versio. Keskiajalla Damascus teräksellä tarkoitettiin juuri tätä materiaalia, josta valmistettuja teriä tuotiin Damaskoksen kautta Eurooppaan. Niiden raaka-aineena käytetty wootz oli Intiassa valmistettua upokasterästä, jonka hiilipitoisuus oli 1–2%. Fosforipitoisuus oli yleensä korkea (n. 0.1%), mutta rikkipitoisuus matala.

Wootzille on ominaista se, että siitä valmistetun Damascus-terän pinnassa voidaan nähdä karbidipartikkelien muodostamia kuvioita. Karbidit sijaitsevat terän suuntaisissa kerroksissa. Niiden uskotaan antavan Damascus-terälle ylivoimaisia ominaisuuksia, mutta Bennet Bronssonin historian tutkimus ja omat laboratoriokokeeni ovat osoittaneet, että tällaiset väitteet ovat vahvasti liioiteltuja. Karbidipitoiset kerrokset eivät juuri lisää terän leikkuukykyä ja teräksen sitkeys on huonompi kuin, jos karbidijakauma olisi tasainen. Siitä huolimatta wootz on kiehtova muinaisajan materiaali.

Nykyaikana valmistettu wootz on hyvin harvinaista, mutta monet museoissa nähtävillä olevat muslimien terät, on taottu siitä. Museoissa säilytettävistä teristä saattaa olla vaikea havaita kuvioita. Usein niitä pitää katsoa siten, että valo heijastuu sopivasta kulmasta. Hienoimmat museoiden teristä on taottu 1500–1700-luvuilla Persiassa intialaisesta raaka-aineesta. Joskus kahvamateriaalina on käytetty mursun hammasta, mikä sinänsä on mielenkiintoista, koska se kertoo tuon ajan kansainvälisen kaupan laajuudesta. Wootzin valmistus alkoi ehkä 500-luvulla ja sitä kesti aina 1700-luvulle saakka, jonka jälkeen alkuperäinen taito vähitellen katosi.

Wootz-prosessissa malmia tai takorautaa suljettiin yhdessä hiilen kanssa pieniin (n. 2 kg) upokkaisiin, joita kuumennettiin uunissa. Materiaalin annettiin sulaa ja jäähtyä upokkaan sisällä. Tällöin jähmettyminen oli hyvin hidasta mistä johtuen kiteet kasvoivat suuriksi, mikä puolestaan oli riittävän suurten kuvioiden syntymisen kannalta oleellista. Jähmettyvien kiteiden väliin suotautui epäpuhtauksia. Kun wootz-aihiosta taottiin terä, karbidipartikkelit syntyivät epäpuhtauksien kohdille ja näin muodostivat karbidikerroksia. Karbidien ryhmittymisen kerrokseen ei ole itsestään selvää ja se on kiinnostanut monia länsimaisia metallurgeja.

Damascus-kuvioiden mysteeriä yritti myös maineikas fyysikko Michael Faraday turhaan selvittää, mutta sähkömagnetismin tutkimuksessa hän onnistui paremmin. Nytemmin John Verhoeven on ehkä ratkaissut salaisuuden. Intialainen malmi sisälsi vähäisen määrän vanadiinia (<0.03%), jonka uskotaan olevan syytä karbidikerrosten muodostumiselle. Hyvien Damascus-kuvioiden saanti on työlästä ja epävarmaa sekä lisäksi vaarana on grafiitin muodostuminen.



Wootz Damascus miekkoja 1600-luvulta ja lähikuva miekanterän karbidikuvioista (Figiel)

Juha Perttula, Wootz Damascus steel of ancient Orient, *Scand J Metal*, 2004, 33, 2, 92–97
Bennet Bronson, The Making and Selling of Wootz, *Archeomaterials*, 1986, 1, 1, 13–51
John Verhoeven, The Mystery of Damascus Blades, *Scientific American*, Jan 2001, 74–79
Leo S. Figiel, *On Damascus Steel*, Atlantas Art Press, Atlanta, 1991

Meteoriittirauta ja -teräs

Meteoriittirauta tai -teräs on ehkä kaikista legendaarisin terämateriaali.

Muinaisia meteoriittiraudasta valmistettuja teriä ei karkaistu. Meteoriittirauta on nikkelin ansiosta kovempaa kuin tavallinen rauta, ja kun sitä taotaan kylmänä, sen kovuus edelleen kasvaa. Niinpä meteoriittiraudasta voidaan sellaisenaan valmistaa melko kellollisia teriä jopa kivikautisilla tekniikoilla.

Olen testannut Gibeonin meteoriitin kappaletta (8% nikkeliä, 0.5% kobolttia, ja 0.04% fosforia). Materiaali oli hyvin kuumahaurasta ja siksi vaikea takoa, mutta lopulta onnistuin saamaan valmiiksi joitakin testikappaleita. Karkaisemattomat testikappaleet olivat sitkeitä ja siten soveltuvia terien valmistukseen.

Meteoriittiraudassa ei ole hiiltä, joten se pitää hiilettää ennen karkaisua. Hiiletyksen, karkaisun ja päästön jälkeen Gibeonin meteoriitista taottujen testikappaleiden sitkeys oli huonompi kuin mitä odotin. Murtopinnan elektronimikroskooppikuvaa tarkastelemalla saatoinkin havaita, että murtuma oli edennyt hauraasti raerajoja pitkin. Raerajamurtuma ja kuumahauraus voidaan selittää rikin avulla. Analyysinäyte sisälsi rikkiä vain 0.001%, mutta ilmeisesti sekin oli liikaa. Nikkeliteräs on hiiliterästä alttiimpi vapaan rikin vaikutuksille ja meteoriittirauta ei sisällä mangaania joka sitoisi rikin, joten hyvin pienet rikkipitoisuudet voivat olla haitallisia. Lisäksi tulee huomata, että meteoriittiraudassa on melko korkea fosforipitoisuus, joka sekin haurastuttaa raerajoja.

Paul Wellmannin tarinan "Iron Mistress" mukaan James Black takoi Jim Bowien legendaarisen lännenveitsen upokasteräksetä, johon oli lisätty pala meteoriittia. Tarina on mielenkiintoinen, koska se kertoo mahdollisuudesta, miten alkeellisessa teräksenvalmistuksessa on voitu hyödyntää meteoriitista saatua nikkeliä. Jos meteoriittirautaa sulatetaan tavallisen mangaanipitoisen teräksen kanssa, saadaan melko tyyppillistä nikkeliterästä, joka voi saavuttaa hyvät sitkeysominaisuudet sepän pajassa.

Mutta myös ilman mangaanilisäystä meteoriitti upokasteräs saattaa onnistua, koska meteoriittiraudan ja teräksen sekoittaminen voi laskea nikkelin ja fosforin pitoisuutta, ja lisäksi upokasteräksissä on lähes poikkeuksetta vähäisiä määriä mangaania epäpuhtautena.

Olen sulattanut upokkaassa terästä, joka sisälsi 0.7% hiiltä, 4% nikkeliä, 0.03% mangaania, 0.01% fosforia, ja 0.01% rikkiä. Mangaania oli niin vähän, että se ei pystynyt sitomaan kaikkea rikkiä. Niinpä teräs oli hieman kuumahaurasta, mutta pääsääntöisesti takominen onnistui helposti. Karkaistuna teräs oli sitkeää. Se oli yhtä sitkeää kuin samoista raaka-aineista valmuistettu, mutta pienellä määrällä mangaania seostettu nikkeliteräs, tai parhaat nykyajan hiiliteräkset.

Aikaisemmissa puukkoteräs-kirjoissa olen kommentoinut samaa nikkelseostettua upokasterästä, mutta virheellisesti. Alunperin en onnistunut tekemään siitä sitkeää koesauvaa. Ehkä sitkeyden puute johtui huonosta takomisesta ja kuumahaurauden aiheuttamista sisäisistä repeämistä. Mutta kun nyt myöhemmin palasin uudelleen testaamaan samaa materiaalia, havaitsin jälleen vähäistä kuumahaurautta, mutta tällä kertaa sain siihen hyvän sitkeyden. Niinpä puukkoteräkset-kirja on tältä osin päivitetty.

8. Puukko

Puukko-sana on saattanut saada alkunsa puusta tehdystä kahvasta. Yksinkertaisimmissa vanhoissa kyläsepän tekemissä puukoissa ei ole heloja ja terän kiilamainen ruoto ylettyy puukahvan puoliväliin missä se pysyy kitkan avulla kiinni. Liiallinen kahvan muotoilu ei yleensä tuota hyvää tulosta, vaan yksinkertainen litteä muoto toimii parhaiten. Kulmista pyöristetyn suorakaiteen muotoinen poikkileikkaus on hyvä lähtökohta. Liian pyöreästä poikkileikkauksesta on vaikea saada tukevaa otetta.

Sormisuoja on miekan tai tikarin kahvassa välttämätön, mutta puukonkahvaan sitä on vaikea sovittaa. Sormisuojaton puukko on käyttäjälle melko turvallinen, kun pistettäessä kahvan pää tuetaan lujasti kämmenpohjaa vasten ja alaspäin lyödessä peukalo puristetaan kahvanpään päälle.

Puukkosepät muotoilevat terän usein nauhahiomakoneella ja tavoittelevat säännöllisiä muotoja, kuten tehdastekoisissa terissä. Toinen mahdollisuus on antaa käden ja tunteen ohjata takomista ja hiomista. Terän annetaan syntyä sellaiseksi kuin se helposti ikään kuin itsestään muotoutuu. Terän muotoilu voi onnistua tunteella, mutta teräksen onnistuneeseen karkaisuun tarvitaan tietoa.



Vanhoja kyläsepän tekemiä puukkoja.