

Teemu Häkkinen

Terästen lämpökäsittely

Esimerkkinä puukonterien lämpökäsittely

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutusohjelma
Kesäkuu 2017**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Kesäkuu 2017	Tekijä/tekijät Teemu Häkkinä
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi TERÄSTEN LÄMPÖKÄSITTELY. Esimerkkinä puukonterien lämpökäsittely		
Työn ohjaaja DI Seppo Jokelainen		Sivumäärä 33+1
Työelämäohjaaja		
<p>Tämän opinnäytetyön tilaaja oli oma yritykseni, toiminimi Teemu Häkkinä. Työn aiheena oli terästen lämpökäsittelyyn liittyvät asiat käyttäen esimerkkinä puukonterien lämpökäsittelyä. Työn tavoitteena oli myös luoda yhä vahvempi pohja lämpökäsittelytekniikoista ja niiden merkityksen ymmärtämisestä, jota yritys voisi hyödyntää tulevaisuudessa tuotteidensa valmistuksessa sekä niiden kehittämisessä.</p> <p>Tavoitteisiin lähdettiin pyrkimään lämpökäsittelyyn liittyvän teoriatiedon syventämisen kautta sekä käymällä läpi onnistuneeseen lämpökäsittelyprosessiin johtavia tekijöitä. Lisäksi työssä suunniteltiin ja testattiin käytännössä lämpökäsittelyprosessi esimerkkinä toimineelle ruostumattomalle pulveriteräkselle eli Böhler - Uddeholmin valmistamalle Elmaxille.</p> <p>Työn tuloksena saatiin luotua toimiva lämpökäsittelyohjelma Elmax teräkselle, jota tullaan käyttämään tulevaisuudessa kyseisestä teräksestä tehtävien puukonterien valmistuksessa. Lisäksi yrityksessä ymmärretään nyt paremmin se, miten suuri merkitys oikeaoppisella lämpökäsittelyllä on koko lopputuotetta ajatellen.</p>		
Asiasanat Faasi, karkaisu, lämpökäsittely, mikrorakenne, päästö, sammutus, teräs		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date June 2017	Author Teemu Häkkilä
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis HEAT TREATING OF STEEL. As an example heat treating of knife blades		
Instructor Seppo Jokelainen	Pages 33+1	
Supervisor		
<p>This thesis was done for my own company, company name Teemu Häkkilä. The topic of this thesis was the heat treating of steel using heat treating of knife blades as an example. The aim was also to create an even stronger base of heat treating techniques and of the understanding of their importance, which could help the company in manufacturing and developing products in the future.</p> <p>The goal was aimed at by immersing into the theory of heat treating and making clear which are the reasons for successful heat treating process. In addition, the thesis included planning and testing of heat treating process in practice for the powder metallurgy based stainless steel Böhler-Uddeholm Elmax, which acted as an example.</p> <p>The result of thesis was a workable heat treating program for Elmax steel which will be used in manufacturing knife blades of that steel in the future. Also the company now understands better the importance of good quality heat treating process for the end product.</p>		

<p>Key words Hardening, heat treating, microstructure, phase, quenching, steel, tempering</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Austeniitti	Yksi teräksen kidelaaduista, joka noudattaa pintakeskisen kuution hilamuotoa.
Austenitoituminen	Teräksen rakenteen muuttuminen austeniitiksi lämpötilan noustessa.
Bainiitti	Teräksen kidelaatu, joka voidaan aikaansaada tarkoituksenmukaisesti bainitoinnilla tai vahingossa esimerkiksi liian hitaan sammutuksen yhteydessä.
Faasi	Teräksen sisäinen kidelaatu.
Ferriitti	Yksi teräksen faaseista, joka noudattaa tilakeskisen kuution hilamuotoa.
Hehkutus	Teräksen lämmittämistä tiettyyn lämpötilaan, jolloin teräksen sisäinen rakenne muuttuu.
HRC	Rockwell C-kovuusmittauksen yksikkö.
Karkaisu	Menetelmä, jolla saadaan lujitettua terästä.
Karkenevuus	Aineominaisuus, joka tarkoittaa teräksen kykyä kareta eli muuttua jäähdytyksen yhteydessä martensiittiseksi.
Martensiitti	Karkaisun avulla saavutettava teräksen kiderakenne.
Normalisointi	Teräksen sisäisen rakenteen tasaamista hehkutuksen avulla.
Perliitti	Teräksen kiderakenne, joka koostuu ferriitistä ja sementiitistä.
Puukkoteräs	Puukonterän materiaaliksi soveltuva teräs, joka on usein työkaluterästä.
Päästö	Hehkuttamista, jolla pyritään palauttamaan teräksen sitkeyttä karkaisun jälkeen.
Rekristallisoituminen	Austeniitin uudelleen kiteytyminen kuumamuokkauksen aikana.
Sammutus	Teräksen nopea jäähdyttäminen austeniittialueelta.
Sementiitti	Hiiliteräksen faasi, joka on sen kiderakenteista kaikista kovin.
Teräs	Rautavaltainen seos, joka sisältää hiiltä ja monia muita seosaineita.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 TERÄS	2
2.1 Teräksen rakenne.....	2
2.2 Rauta-hiili-tasapainopiirros	5
2.3 Seosaineet	7
3 LÄMPÖKÄSITTELY	10
3.1 Normalisointi	10
3.2 Pehmeäksihehkytys.....	10
3.3 Karkaisuhehkytys	11
3.4 Sammutus.....	12
3.5 Päästö	14
3.6 Onnistunut lämpökäsittelyprosessi.....	15
4 LÄMPÖKÄSITTELYLAITTEISTO.....	16
5 PUUKKOTERÄKSET	18
5.1 Hiiliteräokset	18
5.2 Työkaluteräokset.....	18
5.3 Ruostumattomat teräokset	19
5.4 Pulveriteräokset.....	20
6 ELMAX TERÄKSISTEN PUUKONTERIEN LÄMPÖKÄSITTELY	21
6.1 Terien valmistus	21
6.2 Terien karkaisuhehkytys.....	22
6.3 Terien sammutus	24
6.4 Terien päästö	26
6.5 Terien kovuusmittaus	27
6.6 Lämpökäsittelyprosessin lopputulos	30
7 YHTEENVETO JA POHDINTA	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	
KUVAT	
KUVA 1. Atomirakenne	2
KUVA 2. Kiderakenne.....	3
KUVA 3. Raeraja.....	3
KUVA 4. Kidevikoja, karbideja tai nitridejä	4
KUVA 5. Faaseista koostuva rakenne	4
KUVA 6. Pintakeskinen ja tilakeskinen kuutiollinen hilarakenne sekä heksagoninen hilarakenne	5
KUVA 7. Rauta-hiili-tasapainopiirros	6

KUVA 8. Teränsuukarkaisu.....	14
KUVA 9. Karkaisu-uuni	17
KUVA 10. Puukonterät hiottuina ja valmiina lämpökäsittelyyn	22
KUVA 11. Terät suojataan Ticonic-lämpökäsittelyfoliolla.....	23
KUVA 12. Teräpakkaukset lämpökäsittelyuunissa	24
KUVA 13. Terien karkaisu ilmaan	25
KUVA 14. Onnistuneesti karkaistut terät	25
KUVA 15. Elmaxin päästökäyrästä.....	26
KUVA 16. Rockwell C – kovuusmittauksen perusteet.....	27
KUVA 17. Rockwell (HRC) – kovuusmittari.....	28
KUVA 18. Mittarin tekniset tiedot	29
KUVA 19. Erikoisvalmistettu mittapenkki.....	29

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Lämpökäsittelytapojen spesifikaatiot	30
--	----

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty omalle yritykselleni – Tmi Teemu Häkkilä, joka valmistaa ja myy erilaisia puukkoja ja terätyökaluja sekä paljon muita käyttö- ja lahjaesineitä. Puukot ovat muodostuneet muutama viime vuoden aikana yrityksen tärkeimmiksi tuotteiksi ja siksi niihin tullaan panostamaan tulevaisuudessa entistä enemmän. Tämän työn tarkoitus on kehittää yrityksen lämpökäsittelyprosessi yhä paremmaksi ja tarkemmaksi, jotta tuotteet eli puukot ja puukonterät olisivat entistä laadukkaampia. Tätä lähdetään kehittämään syventämällä terästen lämpökäsittelyyn liittyvää tietotaitoa, sekä käymällä läpi monipuolisesti asioita, jotka vaikuttavat onnistuneeseen lämpökäsittelyprosessiin. Lisäksi työn puitteissa tullaan suunnittelemaan, toteuttamaan ja testaamaan käytännössä lämpökäsittelyprosessi esimerkiksi toimivalle hieman haastavammalle teräkselle (ruostumaton pulveriteräs Uddeholm Elmax).

Työn tavoitteena on syventää terästen lämpökäsittelyn osaamista sekä suunnitella, toteuttaa ja testata lämpökäsittelyprosessi esimerkkiteräkselle. Työn tavoitteena on myös luoda sellainen pohja lämpökäsittelyasioista ja sen merkityksen ymmärtämisestä, jota yritys voi hyödyntää tulevaisuudessa tuotteidensa valmistuksessa sekä niiden kehittämisessä.

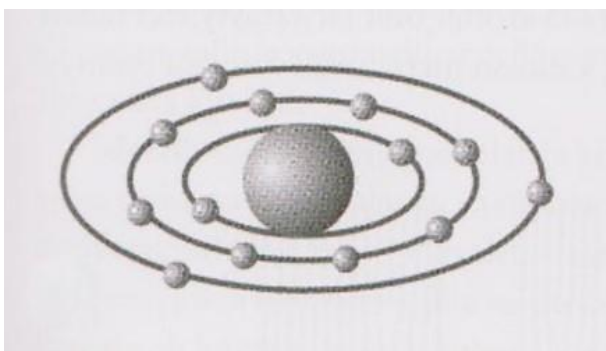
Työssä tullaan keskittymään nimensä mukaisesti eri terästen lämpökäsittelyyn käyttäen sopivia esimerkkejä liittyen nimenomaan puukonterien karkaisuun ja päästöön. Työssä tullaan myös vertailemaan eri teräslaatuja, kuten työkaluterästen ja ruostumattomien terästen lämpökäsittelyjä. Työstä on rajattu pois ohutlevyterästen, valurautojen ja valuterästen sekä alumiinien ja kuparien lämpökäsittelyyn liittyvät asiat, koska niitä ei käytetä puukkoteräksinä. Myös nuorrutukset sekä osa erikoisemmista hehkutuksista ja muista vastaavista toimenpiteistä, jotka eivät liity puukonterien lämpökäsittelyyn, jätetään tässä työssä huomioitta. Lisäksi karkaisuun liittyvän sammutuksen eri tekniikoista tarkastelun ulkopuolelle jätetään leijupatjat sekä suola- ja metallikylvyt, koska niitä ei käytetä yleisesti puukonterien sammutukseen.

2 TERÄS

Teräs on rautavaltainen seos, joka sisältää hiiltä ja monia muita seosaineita. Terästä pidetään aikakautemme tärkeimpänä metallisena rakenneaineena, jonka yksi erittäin tärkeä ominaisuus on sen muunneltavuus esimerkiksi seostuksen ja lämpökäsittelyn avulla. Kun hiilen määrä teräksessä nousee yli 2,1 %, sitä aletaan kutsua valuraudaksi. Seostuksen avulla pystytään vaikuttamaan paljon teräksen ominaisuuksiin ja laatuun. Kun terästä kutsutaan seostetuksi, siinä olevien seosaineiden määrä on yleensä suurempi kuin siinä olevan hiilen määrä. Seosaineiden lisäksi teräkseen pääsee monesti myös haitallisia epäpuhauksia, jotka voivat heikentää jossain määrin teräksen ominaisuuksia. (Kivivuori & Härkönen 2016, 5, 17.)

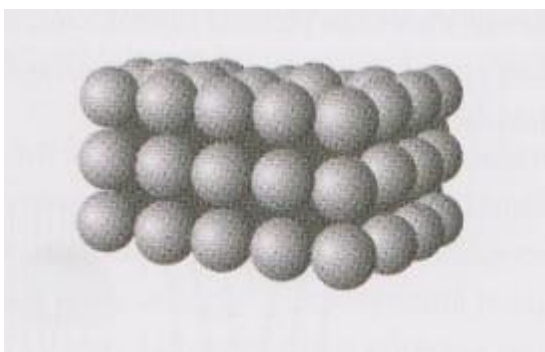
2.1 Teräksen rakenne

Teräs koostuu atomeista, kuten kaikki muutkin materiaalit. Atomien rakenne on jokaisella alkuaineella omanlaisensa. Näiden atomirakenteiden avulla alkuaineet pystytään erottamaan toisistaan. Atomit pystyvät sitoutumaan toisiinsa kovalenttisen sidoksen, ionisidoksen, van der Waalsin sidoksen tai metallisidoksen avulla. Metallisidosta sanotaan suuntautumattomaksi, koska atomit jakavat ulomman atomi-kehän vapaita elektroneja toistensa kanssa samalla muodostaen yhteisen elektronipilven (KUVA 1). Nämä pilvet pystyvät sitten liikkumaan teräksen sisällä muokaten siitä sitkeämpää ja paremmin sähköä ja lämpöä johtavaa. (Kivivuori & Härkönen 2004, 10.)



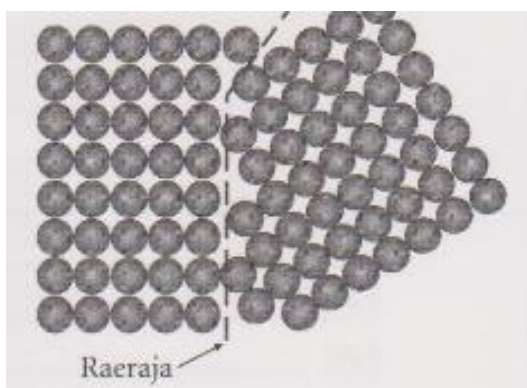
KUVA 1. Atomirakenne (mukaillen Kivivuori & Härkönen 2016, 39)

Kun sula metalli jähmettyy kiinteään olotilaan, sen atomit järjestäytyvät kiteiseen muotoon (KUVA 2). Siinä atomit asettuvat tasaisesti määrätyn etäisyyden päähän toisistaan (Kivivuori & Härkönen 2004, 10). Metallikiteessä olevien atomien välillä vallitsevat voimat myös tekevät metalleista helposti muokattavia. Tämä johtuu siitä, että kiteiden eri tasot kykenevät ikään kuin liukumaan toisiinsa nähden rikkomatta rakennetta. (Miekk-Oja 1972, 46–47.)



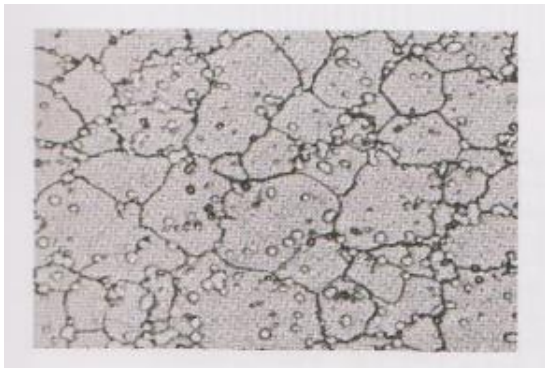
KUVA 2. Kiderakenne (mukaillen Kivivuori & Härkönen 2016, 39)

Kiteinen rakenne muodostuu aina useammasta erisuuntaisesta kiteestä. Niin kutsutut raerajat erottavat nämä kiteet toisistaan (KUVA 3). (Kivivuori & Härkönen 2004, 10.)



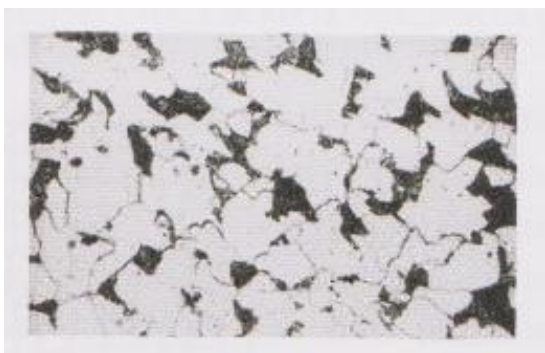
KUVA 3. Raeraja (mukaillen Kivivuori & Härkönen 2004, 10)

Teräksen seostamisen vuoksi sen kiteisiin voi päästä vieraita atomeja tai monia muita kidevikoja. Kidevirheet ovat hilassa esiintyviä epäsäännöllisyyksiä, jotka voivat olla viivamaisia, tasomaisia, pistemäisiä tai kolmiulotteisia (KUVA 4). Käytännössä lähes kaikissa metallisissa hiloissa on jonkinasteisia hilavikoja. (Kivivuori & Härkönen 2004, 10–11.)



KUVA 4. Kidevikoja, karbideja tai nitridejä (mukaiillen Kivivuori & Härkönen 2016, 39)

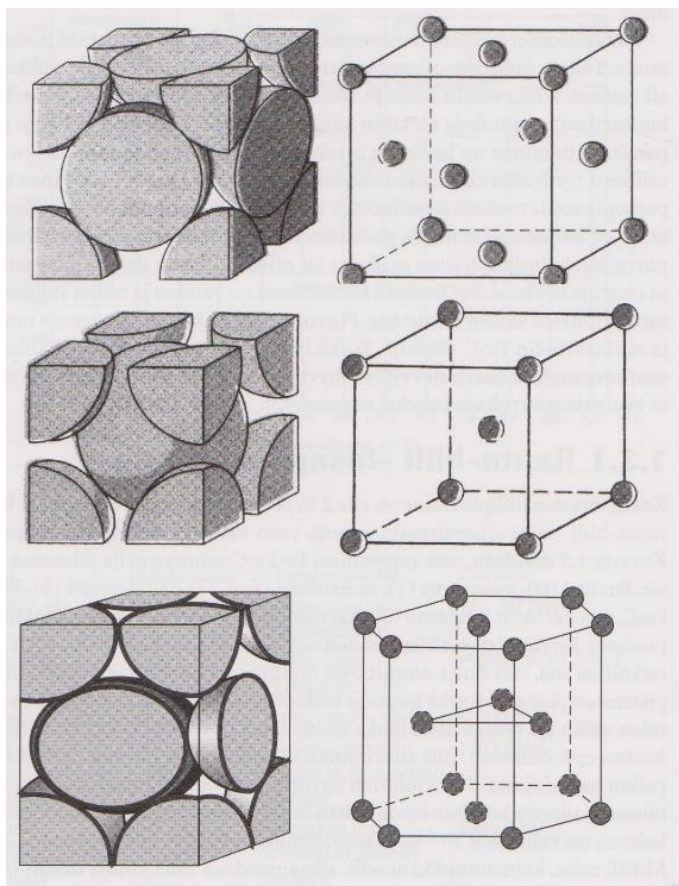
Metalliseokseen lisätyt alkuaineet muodostavat perusmateriaalin kanssa erilaisia yhdisteitä. Näin syntyy eri kidelaaduista eli faaseista muodostuva rakenne (KUVA 5). (Kivivuori & Härkönen 2004, 10.)



KUVA 5. Faaseista koostuva rakenne (mukaiillen Kivivuori & Härkönen 2016, 39)

Metallien atomit kasautuvat yleensä erittäin symmetriseen muotoon. Näitä muotoja ovat pinta- ja tilakeskinen kuutiollinen hilarakenne sekä heksagoninen hilarakenne (KUVA 6). Hilarakenteilla pyritään selittämään atomien asettumista eräänlaisen kolmiulotteisen verkon leikkauspisteisiin. Nämä leikkauspisteet esitetään kuvissa usein pienillä palloilla. (Kivivuori & Härkönen 2016, 42.)

Metallien rakenteen yksikäsitteinen määrittely on äärimmäisen hankalaa. Kaikkia metalleja yhdistää kuitenkin sitkeys, kiilto, kyky muodostaa jähmeitä liuoksia sekä hyvä lämmön- ja sähkönjohtavuus. Metallien seostaminen monimutkaistaa vielä entisestään näitä ominaisuuksia ja rakenteita. Ja oman vaikutuksensa asiaan tuovat vielä monet ulkoiset tekijät, kuten lämpötila. (Kivivuori & Härkönen 2016, 42.)



KUVA 6. Pintakeskinen ja tilakeskinen kuutiollinen hilarakenne sekä heksagoninen hilarakenne (mukaillen Kivivuori & Härkönen 2004, 13)

2.2 Rauta-hiili-tasapainopiirros

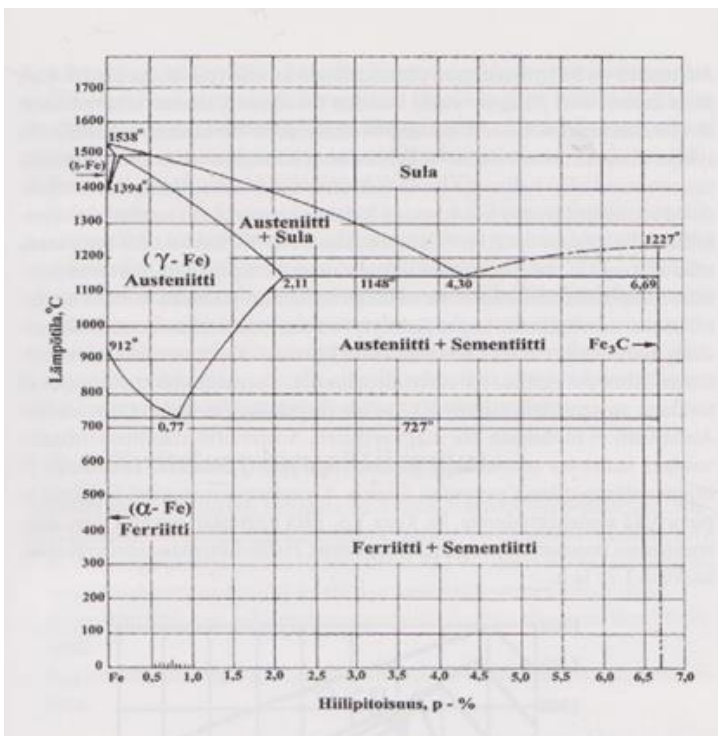
Rauta-hiili-tasapainopiirroksessa on kuvattu yhteensä neljä erilaista jähmeää faasia eli kideraata (KUVA 7). Nämä faasit ovat ferriitti, austeniitti, sementiitti ja deltaferriitti. Deltaferriitillä ei ole käytännössä merkitystä tavallisten terästen käsittelyssä, joten sen tarkastelu jätetään vähemmälle. Jokaisella faasilla on omanlaisensa hilarakenne ja muut ominaisuudet. (Kivivuori & Härkönen 2004, 14, 17.)

Hiiliteräksen kiderakenne on huoneenlämmössä aina ferriittinen, joka voi olla täysin puhdasta ferriittiä tai perliittiä. Perliitti on erittäin ohuiden ferriitti- ja karbidilamellien yhdistelmä. Ferriitin hilamuoto noudattaa tilakeskisen kuution muotoa (KUVA 6). Näin ollen rauta-atomit sijaitsevat kuution nurkissa ja keskipisteessä. Atomien väliin jäävä tyhjä alue on kooltaan 32 % koko rakenteesta. Tämä tyhjä alue on jakautunut vielä niin epätasaisesti, että ferriitti ei pysty liuottamaan kuin hyvin pieniä määriä hiiltä. Liuokoisuus on ferriitillä suurimmillaan 727 °C lämpötilassa. Normaaleissa olosuhteissa ferriitti on hyvin

muovautuvaa ja sitkeää kylmänä ja kuumana. Erittäin tärkeä ja huomioitava seikka on myös se, että ferriitti on magneettinen 768 °C lämpötilaan asti. Tätä magneettisuutta ja sen häviämistä lämpötilan vielä noustessa, voidaan hyödyntää esimerkiksi sopivaa karkaisulämpötilaa määritettäessä jos käytössä ei ole lämpökäsittelyuuneja. (Perttula 2015, 9; Kivivuori & Härkönen 2004, 14.)

Austeniitin hilamuoto noudattaa pintakeskisen kuution muotoa (KUVA 6). Siinä atomit ovat sijoittuneet kuution kulmiin sekä jokaisen sivun keskipisteeseen. Austeniitissa olevan tyhjän tilan osuus koko rakenteesta on 26 %. Vaikka tyhjä alue on pienempi kuin ferriitillä, se on jakautunut siten, että austeniitti pystyy liuottamaan hiiltä huomattavasti enemmän kuin ferriitti. Liuokoisuus on suurimmillaan 1148 °C lämpötilassa. Austeniittia pystytään muovaamaan hyvin kylmänä sekä kuumana, mutta esimerkiksi kuumamuokkaus tehdään yleensä pelkästään austeniittialueella. Jos austeniitti jäähdytetään nopeasti eli suoritetaan karkaisu, liuennut hiili ei ehdi muodostaa perliittiä tai ferriittiä. Silloin austeniitti muuttuu kovaksi martensiitiksi, jonka raerakenne säilyy kuitenkin austeniitin kaltaisena. (Kivivuori & Härkönen 2004, 16; Perttula 2015, 10.)

Sementiitti on erittäin kovaa ja haurasta rautakarbidia, joka syntyy, kun ylitetään ferriitin ja austeniitin raja hiilen liuottamiseen. Sementiitti sisältää 6,68 % hiiltä ja samalla se on hiiliteräksen faaseista kaikista kovin. (Perttula 2015, 9; Kivivuori & Härkönen 2004, 17.)



KUVA 7. Rauta-hiili-tasapainopiirros (mukailten Kivivuori & Härkönen 2004, 15)

2.3 Seosaineet

Terästä seostetaan usein monilla seosaineilla, joiden avulla teräksen ominaisuuksia voidaan muuttaa haluttuun suuntaan käyttötarkoituksesta riippuen. Seosaineen vaikutus teräkseen voi olla epäsuora tai suora. Epäsuora vaikutus voi olla esimerkiksi seosaineen vaikutus faasimuutoslämpötilaan ja suora vaikutus esimerkiksi mangaanin iskusitkeyttä parantava vaikutus. (Kivivuori & Härkönen 2016, 48–50).

Hiiltä pidetään teräksen tärkeimpänä seosaineena, koska se kasvattaa tehokkaasti karkaisussa muodostuvan martensiitin kovuutta. Teräksen kovuuden nousemisen lisäksi myös sen lujuus kasvaa. Esimerkkinä mainittakoon muodonmuutoslujuuden kasvu, joka tosin heikentää samalla hieman teräksen sitkeyttä. Hiilipitoisuuden kasvattaminen heikentää kuitenkin osaltaan teräksen hitsattavuus- ja muovattavuusominaisuuksia, mutta siltikin hiilen merkitys ja sen mukanaan tuomat hyödyt ovat erittäin tärkeitä. (Kivivuori & Härkönen 2016, 51.)

Molybdeeniseostuksella on iskusitkeyttä parantava vaikutus (Kivivuori & Härkönen 2016, 53). Lisäksi se parantaa päästön kestävyyttä ja korkeissa lämpötiloissa päästetyn kappaleen sitkeyttä estäen päästöhaurauten syntymistä (Perttula 2015, 38). Myös kuumalujuus, vetolujuus ja hitsattavuus paranevat molybdeeniseostuksen myötä (Roselli & Mehtonen 2011, 28).

Kromi muodostaa teräksen rakenteeseen kovia kromikarbideja, jonka myötä sopivalla seosmäärällä teräksen sitkeys ja lujuus kasvavat. Liian suuri kromimäärä kuitenkin saattaa jopa heikentää terästä. Myös kromi parantaa teräksen karkenevuutta, mutta ei aivan siinä määrin kuin molybdeeni ja mangaani. Lisäksi kovat kromikarbidit estävät austeniitin rakeenkasvua ja parantavat teräksen kulumiskestoja. Yksi kromin merkittävimmistä ominaisuuksista on kuitenkin sen korroosiota estävä vaikutus, jossa se pyrkii muodostamaan teräksen pintaan hapettumista estävän tiiviin oksidikerroksen. Vähintään 10,5 % kromia sisältäviä seosteräksiä aletaankin kutsumaan ruostumattomiksi teräksiksi (Kivivuori & Härkönen 2004, 220). Kromilisäys saattaa kuitenkin aiheuttaa päästöhaurautta päästettäessä kappaletta 375–575 °C lämpötiloissa, mutta tätäkin voidaan vähentää lisäämällä teräkseen molybdeenia. (Kivivuori & Härkönen 2016, 52–53.)

Mangaani parantaa teräksen karkenevuutta ja karkaisusyvyyttä, jolloin myös lujuus, kovuus ja kulutuskestävyys paranevat. Samalla mangaani on yksi parhaista iskusitkeyttä parantavista seosaineista ja lisäksi se parantaa vielä kuumamuovattavuutta. Mangaanilla on myös ominaisuus estää austeniitin hajoamista, jolloin korkealla mangaaniseostuksella varustettuun korkeahiiliseen teräkseen jää usein iso

määrä jäännösausteniittia. Prosentin ylittävä mangaaniseostus laskee jo kuitenkin teräksen sitkeyttä, mutta tilannetta voidaan korjata lisäämällä seokseen kromia. (Kivivuori & Härkönen 2016, 51–52; Rosselli & Mehtonen 2011, 27.)

Nikkelin tärkein tehtävä on austeniitin stabiloiminen ja samalla se myös lisää teräksen iskusitkeyttä. Lisäksi teräksen muodonmuutoslujuus ja muokkauslujittuminen lisääntyvät, mistä johtuen taottaessa nikkelpitoisuuden olisi hyvä olla matalahko. (Kivivuori & Härkönen 2016, 52.)

Vanadiini lisää teräksen karkenevuutta sekä pienentää raekokoa lisäten samalla teräksen lujuutta ja muodonmuutoslujuutta (Kivivuori & Härkönen 2016, 54). Yleensä jo noin 0,15 % vanadiinilisäys riittää rakeenkasvun estämiseen. Suurissa kovuuksissa vanadiiniseostus saattaa jopa kaksinkertaistaa 0,6–0,8 % hiiltä sisältävän teräksen sitkeyden. Vanadiini muodostaa pääasiassa karbideja, mutta se kykenee myös jossain määrin reagoimaan teräksessä olevan typen kanssa muodostaen nitridejä. (Perttula 2015, 34–35.)

Booria käytetään yleisesti parantamaan karkenevuutta matalasti seostetuissa tai kokonaan seostamattomissa teräksissä. Boorilla on kuitenkin taipumus jakautua epätasaisesti teräksen rakenteeseen, jolloin booripitoisuus voi vaihdella paljonkin teräksen eri kohdissa. Huomioitavaa on myös se, että boori-seostuksen määrä parantaa karkenevuutta vain tiettyyn rajaan asti, jonka jälkeen se voikin alkaa laskemaan teräksen iskusitkeyttä. (Kivivuori & Härkönen 2016, 53.)

Alumiinia voidaan käyttää apuna teräksen tiivistämisessä, koska se sitoo itseensä helposti seoksessa olevaa typpeä ja happea. Alumiini myös hienontaa raekokoa, muodostaa nitridejä ja lisää teräksen iskusitkeyttä. Alumiini pystyy muodostamaan teräksessä pelkästään nitridejä, jonka vuoksi sen teho on vahvasti riippuvainen teräksen tyypipitoisuudesta. Alumiiniseostuksen säätäminen sulaan teräkseen voi olla usein hankalaa, koska osa alumiinista palaa helposti pois reagoidessaan hapen kanssa. (Kivivuori & Härkönen 2016, 53; Perttula 2015, 35.)

Piillä on muokkauslujittumista ja muodonmuutoslujuutta lisäävä vaikutus, jonka vuoksi esimerkiksi kylmätaonnassa piipitoisuus saisi olla mahdollisimman matala (Kivivuori & Härkönen 2016, 52). Pii nostaa teräksen austenoitumislämpötilaa, jonka vuoksi paljon piitä sisältävät teräkset pitää karkaista normaalia korkeammasta lämpötilasta. Piitä voidaan käyttää myös teräksen tiivistämisessä, jolloin se muodostaa hapen kanssa reagoidessaan kuonaa, joka estää hapen pääsemistä sulaan teräkseen. Piitä on mahdollista lisätä teräkseen korkeintaan 2 %, mutta yleensä sen määrä on huomattavasti pienempi eli noin 0,2 %.

Piitä käytetäänkin monesti yhdessä alumiinin kanssa apuna teräksen tiivistämisessä, jolloin niiden yhteisvaikutuksella päästään hyvään lopputulokseen. (Perttula 2015, 33.)

Kupari on nikkelin ohella toinen erittäin hyvä austeniitin stabiloija. Se laskee austeniitin hajaantumislämpöä ja on lisäksi paljon halvempi seosaine kuin samoja vaikutuksia omaava nikkeli. Jos kupariseos on yli 0,2 %, syntyy vaara teräksen halkeilulle etenkin kuumavalssauksen aikana. (Kivivuori & Härkönen 2016, 52.)

Titaani on eräänlainen mikroseosaine, joka kykenee pienentämään raekokoa. Tätä myötä kasvavat myös teräksen muodonmuutoslujuus ja lujuus yleensäkin. Titaani saattaa myös muodostaa jähmettymisen aikana typen kanssa niin kutsuttuja TiN-erkaumia, jotka heikentävät teräksen työstettävyyttä lujuuden kasvun seurauksena. Myös niobilla on hyvin samankaltaiset vaikutukset kuin titaanilla. (Kivivuori & Härkönen 2016, 54.)

Kalsiumilla voidaan parantaa teräksen työstettävyyttä. Kalsium-käsitelty teräs ei muodosta yhtä pitkää lastua työstettäessä kuin käsittelemätön teräs. Näin voidaan parantaa esimerkiksi teräspalojen käyttöikä. (Kivivuori & Härkönen 2016, 54.)

Volframia ja kobolttia käytetään kuuma- ja pikatyöstöterästen lisäaineena, koska ne parantavat teräksen kuumalujuutta ja karkaisunpitoa. Myös teräksen veto- ja leikkuulujuus sekä kovuus ja myötöraja kohoavat. (Roselli & Mehtonen 2011, 29.)

3 LÄMPÖKÄSITTELY

Ennen varsinaisia lämpökäsittelyjä, teräkset yleensä kuumamuokataan. Kuumamuokkaus voi olla valsausta, takomista, kuumapursotusta tai jotain muuta muokkausta. Kuumamuokkaus tehdään kokonaan austeniittialueella, jolloin austeniitti kiteytyy uudelleen eli rekristallisoituu muokkausten aikana. Tällöin teräs ei muokkauslujitu, vaan muutoksia saadaan tehtyä kohtuullisen pienillä voimilla. Teräksen lämmittämisessä sopivaan lämpötilaan pitää olla tarkkana, jotta teräs ei palaisi pilalle liian korkean lämpötilan vuoksi. (Kivivuori & Härkönen 2004, 37–38.)

Myös hiiliteräksestä valmistettavat puukonterät taotaan yleensä muotoonsa, jolloin materiaalia säästyy ja takomisen jälkeisen hiomisen tarve vähenee. Ruostumattomia puukkoteräksiä ei kuitenkaan yleensä taota, vaan terät tehdään valmiiksi hiomalla. Tämä siksi, että ruostumattoman teräksen sopiva muokauslämpötila-alue on hiiliteräksiin verrattuna kapeampi ja lisäksi ruostumaton teräs muokkauslujittuu herkemmin, jolloin myös työstövoimien pitää olla suurempia.

3.1 Normalisointi

Normalisoinnilla pyritään tasaamaan teräksen sisäistä rakennetta, saamaan rakenteesta hienorakeisempi tai vähentämään edellisten muokkausten tai lämpökäsittelyjen vaikutusta. Esimerkiksi takomisessa teräksen raekoko muuttuu melko epätasaiseksi, jolloin on erityisen tärkeää suorittaa normalisointi. Normalisointi suoritetaan yleensä lämmittämällä teräs uudelleen, yleensä matalammalle austeniittialueelle, jonka jälkeen sen annetaan jäähtyä ilmassa. Silloin aikaisemman sisäisen rakenteen korvaavat uudet perliitti- tai ferriittirakeet. Näin raekoon vaihtelua saadaan korjattua ja iskusitkeyttä parannettua, jonka jälkeen teräs on valmis myös mahdollisille jatkokäsittelyille. Normalisoinnilla voidaan myös parantaa teräsvalujen iskusitkeyttä ja lastuttavuutta sekä poistaa hitsien karkearakeisuutta. (Perttula 2015, 13; Kivivuori & Härkönen 2004, 39–41.)

3.2 Pehmeäsihekkutus

Teräksen hiilipitoisuuden ollessa yli 0,5 % sen rakenne on kuumamuokkauksen jäljiltä monesti liian kova ajatellen seuraavaa lastuavaa tai muovaavaa työstöä. Silloin on aiheellista suorittaa pehmeäsihekkutus, jossa teräksen rakenteeseen syntyy pallomaisia karbidisulkeumia ferriittipohjalla. Hehkuksen tekotapa vaihtelee suuresti hiilipitoisuuden ja teräslaadun mukaan, mutta yleensä hiiliterästä hehkutetaan

700–760 °C lämpötilassa tietty aika, jonka jälkeen se jäähdytetään hyvin hitaasti takaisin huoneenlämpöön. Terästehtailta suoraan tulevat teräkset toimitetaan yleensä valmiiksi pehmeäksi hehkutettuina. (Perttula 2015, 14; Kivivuori & Härkönen 2004, 41.)

3.3 Karkaisuhehkutus

Karkaiseminen on kaikista tehokkain teräksen lujittamisen keino. Siinä karkaistava teräskappale lämmitetään austeniittialueelle, jonka jälkeen sopivan pitoajan kuluttua se sammutetaan eli jäähdytetään nopeasti teräslaadusta riippuen öljyyn, veteen tai johonkin muuhun sammutusaineeseen. Jotkin voimakkaasti seostetut teräkset karkenevat myös ilmaan. Karkaisun jälkeen teräs on erittäin kovaa ja haurasta, joten se on vielä hehkutettava matalammassa lämmössä eli päästettävä, jotta sitkeysominaisuudet saadaan palautettua. (Kivivuori & Härkönen 2004, 49.)

Karkaisun tavoitteena on saada teräksen rakenteesta martensiittinen. Siihen päästään, kun kappale jäähdytetään riittävän nopeasti, jolloin austeniitti ei ehdi hajaantua perliitiksi, ferriitiksi tai bainiitiksi, vaan se muuttuu suoraan martensiitiksi. Myös riittävän pitkä pitoaika karkaisulämpötilassa on tärkeää, jotta rakenteesta tulee homogeeninen ja austeniitti ehtii varmasti muodostua. (Perttula 2015, 15; Kivivuori & Härkönen 2004, 50.)

Sopiva austenointilämpötila riippuu käytettävän teräksen kemiallisesta koostumuksesta, niistä ominaisuuksista, joita karkaisulla halutaan saada aikaan sekä karkaistavan kappaleen muodosta ja koosta. Liian korkea karkaisulämpötila voi aiheuttaa austeniittirakeiden koon suurenemisen, jolloin myös muodostuva martensiitti on normaalia hauraampaa. Liian alhaisen karkaisulämpötilan käyttö taas aiheuttaa sen, että rakenne ei ehdi muuttua kokonaan austeniittiseksi, rakenteeseen jää ferriittiä ja kappaleen kovuus karkaisun jälkeen ei olekaan riittävän kova. 0,5–0,8 % hiiltä sisältäville teräksille sopiva karkaisulämpötila on noin 800 °C. Seosaineet voivat kuitenkin muuttaa merkittävästi sopivaa lämpötilaa. Esimerkiksi kromiseostus vaikeuttaa huomattavasti karbidien liukenemista, jolloin käytettävä hehkutuslämpötila on oltava korkeampi kuin seostamattomalla hiiliteräksellä. (Perttula 2015, 15; Kivivuori & Härkönen 2004, 51.)

Myös karkaisuhehkutuksen nopeudella on merkitystä lopputulokseen. Liian nopea kuumennus voi aiheuttaa kappaleeseen mitta- ja muodonmuutoksia sekä murtumia etenkin, jos kappale on muodoltaan normaalia monimutkaisempi. Vahvasti seostetuilla teräksillä on luonnollisesti suurempi riski vaurioille

kuin matalaseosteisilla teräksillä. Osalle korkeaseosteisille teräksille on syytä tehdä esikuumennus jonkin verran varsinaista karkaisulämpötilaa matalammassa lämpötilassa, jolloin kappale kuumenee tasaisemmin. Puukonterät ovat muodoltaan kuitenkin melko yksinkertaisia ja lämpenevät kauttaaltaan niin tasaisesti, että suuria muodonmuutoksia nopean hehkutuksen vuoksi tapahtuu hyvin harvoin. (Kivivuori & Härkönen 2004, 51.)

Karkaisuhehkutuksen pituus on myös erittäin tärkeässä roolissa hyvin onnistuneessa lämpökäsittelyprosessissa. Hehkutukseen kuluva kokonaisaika koostuu kuumennusajasta ja pitoajasta. Karkaisu-uunia käytettäessä kappale lämpenee uuniin säädettyyn lämpötilaan hyvin tasaisesti eli kappaleen sisus ja pinta saavuttavat halutun lämpötilan suurin piirtein samaan aikaan. Tästä johtuen pitoajan tarvitsee olla vain sen mittainen, että karbidit ehtivät liueta riittävästi ja tasainen austeniittinen rakenne ehtii varmasti muodostua. Niukkaseosteisille ja kokonaan seostamattomille teräksille riittää yleensä vain muutaman minuutin pitoaika, riippuen tietysti kappaleen koosta, koska suuret kappaleet vaativat lämmitäkseen pitemmän ajan kuin vaikkapa yksittäinen pieni puukonterä. Vastaavasti esimerkiksi kromilla vahvasti seostetut teräkset vaativat kaikista pisimmän pitoajan, joka tarkoittaa puukkoteräksistä puhuttaessa yleensä 10–30 minuuttia läpikuumentamisen jälkeen. Etenkin pitempiä pitoaikoja käytettäessä karkaistava kappale pitäisi suojata hapettumiselta, jotta hiilikato jäisi mahdollisimman pieneksi. Hiilikadon vuoksi kappaleen pinta ei välttämättä saavuta haluttua kovuutta. Suojaus voidaan tehdä esimerkiksi karkaisufoliolla tai teollisuudessa erilaisilla suojakaasuilla. (Kivivuori & Härkönen 2004, 51; Perttula 2015, 21.)

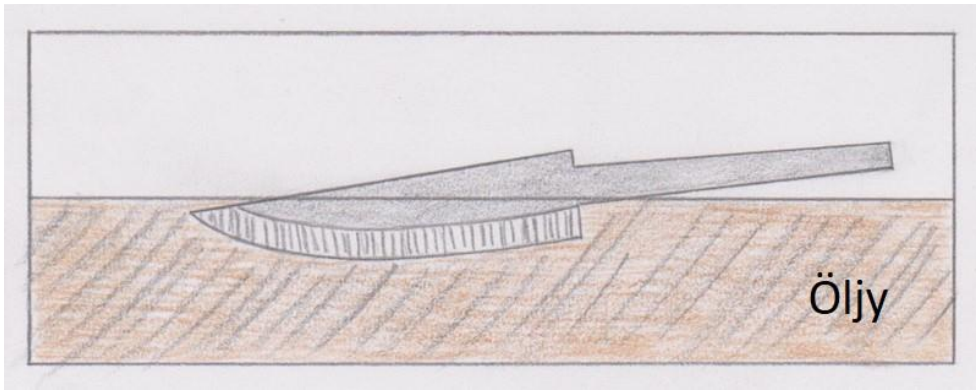
3.4 Sammutus

Sammutus tarkoittaa teräksen nopeaa jäädyttämistä austeniittialueelta siten, että austeniitti ei ehdi hajaantua takaisin ferriitiksi, bainiitiksi tai perliitiksi. Perliittireaktio tapahtuu noin 500 °C paikkeilla ja bainiittireaktio 250–400 °C välillä. Näin ollen, jos teräs saadaan sammutettua riittävän nopeasti edellä mainittujen lämpötilojen alapuolelle, silloin on olemassa erittäin hyvät edellytykset martensiittisen rakenteen saamiseksi. On muistettava se, että austeniitin hajaantumisen nopeus on riippuvainen teräksessä olevista seosaineista sekä jäähdytysnopeudesta. Seostamattomat teräkset vaativat erittäin suuren sammutusnopeuden, joten ne sammutetaan yleensä veteen tai erilaisiin vesiliuoksiin. Vastaavasti seosteräkset karkenevat paljon helpommin ja niiden sammutukseen käytetäänkin öljyä tai kaasua (ilmaa). (Kivivuori & Härkönen 2004, 52.)

Kappaleen jäähtymisnopeuteen vaikuttavat muun muassa kappaleen koko, muoto, pinnanlaatu ja koostumus, sammuttavan aineen ominaisuudet, aineen määrä, sekoitus ja virtausnopeus sekä lämmönsiirtyminen kappaleen ja sammutusaineen välillä. Seostamattomat teräkset karkaistetaan yleensä veteen tai vielä nopeampaa jäähdytysvaikutusta haettaessa suolaveteen. Vesi on tehokkain sammutusaine, vaikka sen paras jäähdytysteho onkin vasta 300 °C lämpötilassa. Vesisammutus saattaa kuitenkin aiheuttaa teräkseen jännityksiä ja suuria muodonmuutoksia, jolloin on olemassa vaara halkeamien muodostumiselle. (Kivivuori & Härkönen 2004, 52–53.)

Toinen ja yleisin sammutusaine myös seostetuille puukkoteräksille on öljy. Korkeamman viskositeetin takia öljyllä ei ole niin nopeaa jäähdytysvaikutusta kuin vedellä, mutta sekin riittää, koska öljyyn karkaistavat teräkset on yleensä seostettu helpommin karkeneviksi. Kun kuuma kappale upotetaan öljyyn, se alkaa höyrystymään pinnaltaan ja pian kiehumaan hieman etempänä. Kiehumisen rikkoo öljyn höyrykalvoa ja kappaleen jäähtymisestä tulee hieman epätasaisempaa, mutta sillä ei käytännössä suurta merkitystä. Höyrystymisvaiheessa kappaleen jäähtymisnopeus on noin 30 °C sekunnissa ja kiehumisvaiheessa 100–150 °C. Kun kiehumisen päättyy, loppu lämpö poistuu kappaleesta konvektiolla. Lisäksi öljyn sekoittaminen lisää merkittävästi sen jäähdytystehoa. Öljyn olisikin hyvä olla aina valmiiksi hieman lämmintä, koska lämmin öljy jäähdyttää paremmin kuin kylmä. Tämä johtuu siitä, että öljyn viskositeetti on lämpimänä matalampi. (Kivivuori & Härkönen 2004, 53.)

Hiiliteräksestä valmistetuille puukonterille suoritetaan yleensä teränsuukarkaisu, jonka tavoitteena on jättää terän hamara (selkä) pehmeämmäksi kuin teränsuu. Silloin terä kestää paremmin vääntöä, eikä näin ollen katkea niin herkästi kovassakaan käytössä. Teränsuukarkaisussakin terä lämmitetään usein kauttaaltaan, mutta aluksi öljyyn kastetaan vain teränsuu (KUVA 8). Punahehkun häivyttyä koko terä voidaan jäähdyttää lopuksi öljyssä, jolloin hamara ei enää karkene yhtä kovaksi kuin teränsuu eikä hamara pääse päästämään kovempaa teränsuuta. Näin terästä saadaan samaan aikaan kova, hyvin leikkaava ja silti sitkeä sekä hyvin vääntöä kestävä.



KUVA 8. Teränsuukarkaisu

Kolmas paljon käytetty sammutusaine on kaasu, jota käytettäessä saadaan kaikista tasaisin jäähtymisprosessi. Tasaisuus perustuu siihen, että kaasulla sammutettaessa höyrystymis- sekä kiehumisvaihe jäävät kokonaan pois ja lämpö siirtyy pelkästään konvektion avulla. Konvektio tarkoittaa lämmön virtaamista pois kappaleesta jonkin väliaineen mukana. Sammutuskaasuna käytetään yleensä puhdasta heliumia, typpeä tai sitten yksinkertaisimmillaan kappale voidaan sammuttaa ilmalla tai paineilmalla. Karkaistava kappale myös vetelee huomattavasti vähemmän kuin veteen tai öljyyn karkaistaessa. Ilmaan karkaisu onkin hyvä menetelmä monille vahvasti seostetuille työkaluteräksille, joita käytetään paljon myös puukkoteräksinä. (Kivivuori & Härkönen 2004, 53, 64.)

3.5 Päästö

Päästö on karkaisuprosessin kolmas vaihe, jonka tarkoituksena on teräksen sisäisen rakenteen sitkeyden nostaminen ja karkaisussa syntyneiden jännitteiden vähentäminen. Päästö on käytännössä karkaistun teräksen uudelleen hehkuttamista, mutta tällä kertaa huomattavasti matalammassa lämpötilassa ja pitemmällä pitoajalla. Päästö tekee martensiitista sitkeämpää ja pehmeämpää, joten myös kappaleen kovuus laskee hieman päästön aikana. Päästöissä hiiliatomit muodostavat rauta-atomien kanssa kemiallisia sidoksia, joita kutsutaan rautakarbideiksi. Päästö pitäisi suorittaa aina mahdollisimman pian sammutuksen jälkeen. Tämä sen vuoksi, että etenkin runsaasti seostetun teräksen pinta jää karkaisussa eräänlaiseen vetojäännösjännitystilaan, jonka myötä kappaleeseen voi syntyä hiusmurtumia, mikäli kappaletta ei päästetä pikimmiten. (Kivivuori & Härkönen 2004, 56; Perttula 2015, 17–18.)

Yleensä päästöaika on vähintään yksi tunti, mutta esimerkiksi puukonteriä päästetään noin kaksi tuntia. Silloin voi olla varma, että terä on ollut sisuksiaan myöten riittävän ajanjakson päästölämpötilassa ja

sitkeyttä parantava vaikutus saa tapahtua rauhassa. Eniten käytetyille seostetuille puukkoteräksille sopivat päästölämpötilat ovat noin 180–220 °C, jolloin terä jää melko kovaksi, mutta riittävän sitkeäksi. Joihinkin teräksiin, kuten vaikkapa ruostumattomiin pulveriteräksiin, muodostuu karkaisun yhteydessä paljon jäännösausteniittia. Sitä voidaan poistaa jäädyttämällä kappale vähintään -70 °C ennen päästöä eli suorittaa pakkaskarkaisu ja/tai suorittamalla päästö 2–3 kertaan. Näin saadaan hajautettua jäännösausteniittia ja muutettua sitä martensiitiksi siten, että kappaleen lopullinen kovuus ja lujuus ovat suurempia.

Kromi- ja kromi-nikkeli-seosteisilla teräksillä saattaa esiintyä tiettyjä päästölämpötiloja käytettäessä päästöaurautta. Päästöauraus tarkoittaa teräksen sitkeyden heikkenemistä, joka aiheutuu sopivan lämpötilan ja teräkseen päässeiden epäpuhtauksien, kuten fosforin, tinan, arseenin, antimonin tai teräkseen lisättyjen seosaineiden, kuten mangaanin tai piin yhteisvaikutuksesta. Esimerkiksi ruostumattomissa teräksissä on aina suuri määrä kromia ja niiden taipumusta päästöaurautteen lievennetäänkin usein molybdeeniseostuksen avulla. Jo 0,3–0,5 % molybdeeniseostuksen avulla pystytään poistamaan ylempi päästöaurausalue lähes kokonaan. Tästä huolimatta kromiseosteisia teräksiä käytettäessä suositellaan välttämään 375–575 °C päästölämpötiloja, joissa päästöaurautta saattaa ilmetä. (Kivivuori & Härkönen 2016, 52–53, 82.)

3.6 Onnistunut lämpökäsittelyprosessi

Oikeaoppisesti suoritettu lämpökäsittelyprosessi täyttää seuraavat kriteerit:

- Koko prosessi on suunniteltu hyvin jo ennakkoon
- Käytössä on asiantuntemusta
- Käytössä on toimiva ja tarkka laitteisto
- Käytettävä teräs on tarkoitukseen sopiva
- Teräkselle on valittu sopiva sammutusaine
- Karkaisulämpötila on valittu oikein
- Pitoaika karkaisulämpötilassa on riittävän pitkä
- Sammutustapa sekä -nopeus ja kappaleen asento sammutuksessa on oikeanlainen
- Päästölämpötila on valittu oikein
- Pitoaika päästölämpötilassa on riittävän pitkä (Kivivuori & Härkönen 2004, 58.)

4 LÄMPÖKÄSITTELYLAITTEISTO

Lämpökäsittelyprosessin perustana on toimiva, varma ja tarkka lämpökäsittelylaitteisto. Nykypäivänä lämpökäsittelyt hoidetaan yleensä monenlaisilla induktiolaitteilla ja sähkö- tai kaasu-uuneilla, jotka on varustettu tarkkoilla lämmönsäätelystä vastaavilla automaatioilla. Teollisuuden käytössä olevat uunit ovat massiivisia ja valtavia määriä energiaa kuluttavia laitteistoja, joissa voidaan lämpökäsitellä kerralla isoja määriä tavaraa. Teollisuuden uunien sisälle luodaan monesti suojakaasuatmosfääri, jolla ehkäistään lämpökäsiteltävien kappaleiden hapettuminen hehkutusten aikana. Suojakaasut voivat olla esimerkiksi typpeä tai argonia. Suojakaasujen käyttö helpottaa paljon lämpökäsittelyprosessia, koska kappaleet ovat usein isoja ja monimutkaisen muotoisia, joten niitä olisi hankala muuten suojata. Koska työn aiheena on lämpökäsittelyyn liittyvät asiat käyttäen esimerkkinä puukonterien lämpökäsittelyä, sivuutan suurimman osan teollisuuden käytössä olevasta tekniikasta ja keskityn sen sijaan laitteistoihin, joita käytetään apuna puukkojen ja veitsien valmistuksessa.

Suurimmalla osalla puukkojen ja veitsien tekijöistä on nykyisin käytössään sähköuunit, joilla saadaan lämpökäsiteltyä kaikki yleisimmät teräkset aina pulverimetallurgisesti valmistettuihin teräksiin asti. Uunit ovat yleensä pienehköjä laboratorio- tai karkaisu-uuneja, joita on markkinoilla useita eri malleja eri valmistajilta. Uunien lämpötilan ylläpidosta vastaavat ohjelmoitavat automaatiikat, joiden muistiin voidaan määrittää useampia ohjelmia eri teräksille. Tällaisissa uuneissa ei yleensä käytetä suojakaasuja uunin sisällä, vaan kappaleiden eli puukonterien yksinkertaisen muodon vuoksi ne on helppo suojata hapettumiselta esimerkiksi karkaisufoliolla tai pienellä ruostumattomasta teräksestä valmistetulla karkaisulaatikolla, johon laitetaan hiiletysjauhoa. Hiiletysjauho kyllä luo höyrystyessään karkaisulaatikon eräänlaisen suojakaasun, mutta uunin sisään syötettävät kaasut ovat käsityömaisessä terätyökalujen valmistuksessa harvinaisia. Näin ollen näissä uuneissa vallitsee kontrolloimaton sisäatmosfääri.

Uunien tyyppi ja koko on aina valittava lämpökäsiteltävien tuotteiden mukaan. Tuotteet voivat olla kooltaan, muodoltaan tai materiaaleiltaan sellaisia, että niitä ei voi käsitellä kaikilla uunityypeillä. Jotkin materiaalit voivat olla erityisen herkkiä esimerkiksi hapettumiselle, jolloin suojakaasujen käyttö on välttämätöntä riittävän hyvän pinnanlaadun säilyttämiseksi. Lisäksi on oltava riittävän hyvällä tasolla olevaa tietotaitoa, jotta laitteita osattaisiin käyttää oikein. Nämä kaikki asiat ovat yhdessä vaikuttamassa lämpökäsittelyprosessin laatuun ja tehokkuuteen.



KUVA 9. Karkaisu-uuni

Oma lämpökäsittelyuunini (KUVA 9) on Keracomp Oy:n valmistama 2,2 kW tehoinen uuni, joka on varustettu Stafford ST315A -automaatiikalla. Automaatiikan muistiin saa ohjelmoitua kahdeksan eri ohjelmaa eri teräksille. Tämänkin uunin sisäatmosfääri on kontrolloimaton eli sen ilmanlaatua ja koostumusta ei muokata. Matalaseosteisista teräksistä tehtyjä teriä ei ole pakko suojata niitä hehkutettaessa lainkaan, koska pitoajat ovat vain noin 3–5 minuutin luokkaa. Pulveriteräksiä käytettäessä pitoajat alkavat olemaan jo 30 minuutin pituisia, joten silloin terät on suojattava hapettumiselta. Tuolloin käytän yleensä lämpökäsittelyfoliota ilmaan karkeneville teräksille ja öljyyn karkaistaville teräksille karkaisu-laatikkaa, josta terät on nopea ottaa pois sammutusta varten.

Lämpökäsittelylaitteistojen kunnonvalvonta on erittäin tärkeässä roolissa osana onnistunutta lämpökäsittelyprosessia. Varsinkin päivittäisessä jatkuvassa käytössä olevat laitteet, kuten uunit, ovat suurten lämpötilojen takia kovalla rasituksella. Silloin on äärimmäisen tärkeää huolehtia uunien oikea-aikaisista huolloista ja korjauksista. Kun laitteista pidetään hyvä huoli, lämpökäsittelyprosessi pysyy tasalaatuisena ja silloin myös käsitellyt tuotteet ovat ominaisuuksiltaan sellaisia, kun on suunniteltu. Samalla tuotannon tehokkuus pysyy hyvällä tasolla päivästä toiseen. Koulutuksen ja ohjeistamisen avulla pystytään estämään laitteistojen vääränlainen käyttö ja myös tämä pidentää laitteistojen käyttöikää huomattavasti. Lisäksi ennakoivalla huollolla voidaan säästää suuriakin summia rahaa, kun esimerkiksi jotkin todennäköisesti pian rikkoutuvat tai kuluvat osat vaihdetaan jo ennen niiden rikkoutumista tuotannon hiljaisempina aikoina. Näin säästyy rahaa ja aikaa, kun koko prosessi ei keskeydy jonakin kiireisenä aikana yllättävien rikkoutumisten seurauksena. (Kivivuori & Härkönen 2016, 149–150.)

5 PUUKKOTERÄKSET

Puukkojen ja veitsien terämateriaaliksi soveltuvia teräksiä on olemassa satoja erilaisia. Vielä joitakin vuosia sitten sanottiin, että hiiliteräs on ainoa oikea terämateriaali eikä ruostumattomasta teräksestä valmistetulla terällä tee yhtään mitään. Näin on voinut joitakin vuosikymmeniä sitten ollakin, mutta teräkset ovat kehittyneet valtavasti viime vuosina. Nykyisin ruostumattomien terästen arvostus on jo korkealla, koska niistä saadaan tehtyä teriä, jotka pysyvät terävän pitkään, ne saadaan teroitettua kohtuullisen helposti uudestaan teräviksi ja lisäksi niillä on hyvä korroosionkesto eli ne eivät ruostu. Varsinaisia nimensä mukaisia puukkoteräksiä ei liene olemassa, vaan usein ne on valmistettu alun perin jotakin muuta käyttötarkoitusta varten. Tällaisten terästen hyvät ominaisuudet ja sopivuus myös puukonterien materiaaliksi on kuitenkin jotakin kautta huomattu, jonka jälkeen niitä on alettu kutsumaan puukkoteräksiksi. Puukkoteräkset ovat usein hiiliteräksiä tai seostettuja työkaluteräksiä, joista valmistetaan paljon muitakin leikkaavia työkaluja ja koneiden osia.

5.1 Hiiliteräkset

Hiiliteräkset ovat nimensä mukaisesti hiilivaltaisia teräksiä, joihin ei yleensä ole lisätty seosaineita. Mangaania hiiliteräksissä on kuitenkin lähes aina jonkun verran. Hiilipitoisuus voi vaihdella 0,3–2 % välillä, mutta puukonteriä tehtäessä hiilipitoisuuden pitäisi olla minimissään 0,6–0,8 %, jotta terästä saadaan hyvin leikkaava sekä riittävän kova. Hiiliteräkset ovat hinnaltaan edullisia, niitä on helppo takoa ja myös lämpökäsittelyt ovat melko yksinkertaiset. Hiiliteräksien karkaisulämpö on yleensä noin 800 °C ja päästölämpötilat 160–220 °C välillä halutusta kovuudesta riippuen. Hiiliteräksiset terät on helppo teroittaa, mutta niillä on kohtuullisen huono korroosionkesto. Yleisimpiä puukonteriin käytettäviä hiiliteräksiä ovat AISI 1095, AISI 1084 sekä C60 ja C80. (Perttula 2015, 40.)

5.2 Työkaluteräkset

Työkaluteräkset ovat yleensä aina seosteräksiä, jotka on alun perin suunniteltu johonkin teollisuuden työkaluihin. Seostuksella on pyritty parantamaan joitain tiettyjä ominaisuuksia teräksen käyttökohteesta riippuen. Työkaluterästen hiilipitoisuus on normaalisti aika suuri ja yleisimmät seosaineet ovat kromi, nikkeli, vanadiini, molybdeeni, koboltti ja volframi. Työkaluteräkset voivat olla myös ruostumattomia.

Työkaluteräket jaetaan kolmeen ryhmään, jotka ovat kylmä- ja kuumatyöteräket sekä pikateräket. Seostuksen ansiosta työkaluteräksillä on erittäin hyvä kulumiskestävyys sekä puristuslujuus. Työkaluteräket vaativat seostuksen vuoksi usein hieman pitemmän pitoajan karkaisulämmössä ja ne sammutetaan yleensä öljyyn tai ilmaan. Yleisimpiä puukonteriin käytettäviä työkaluteräksiä ovat esimerkiksi AISI O1, AISI D2, 115CrV3 eli ”hopeateräs” sekä nykyisin ehkä Suomessa eniten käytetty 80CrV2. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 284; Perttula 2015, 39.)

5.3 Ruostumattomat teräket

Ruostumattomiksi teräksiksi kutsutaan vähintään 10,5 % kromia sisältäviä seosteräksiä. Vahvalla kromiseostuksella saadaan parannettua merkittävästi teräksen korroosionkestoa, jolloin näitä teräksiä voidaan käyttää myös ilmastollisesti haastavissa olosuhteissa. Kromi muodostaa ruostumattoman teräksen pintaan hapen kanssa reagoidessaan oksidikalvon, joka estää terästä syöpymästä. Ruostumattomat teräket jaotellaan usein neljään eri ryhmään niiden kiderakenteiden perusteella. Nämä ryhmät ovat austeniittiset, ferriittiset, martensiittiset ja austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräket eli duplex teräket. Näistä neljästä ryhmästä martensiittiset ruostumattomat teräket soveltuvat myös puukonterien raaka-aineeksi, koska ne ovat karkenevia ja lujia teräksiä. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 226–227.)

Ruostumatonta terästä ei yleensä taota, vaan terät tehdään muotoonsa suoraan hiomalla. Tämä johtuu siitä, että ruostumaton teräs on äärimmäisen tarkka oikeasta takomislämpötilasta. Tämän vuoksi siihen tulee herkästi jännitteitä ja murtumia, jotka heikentävät merkittävästi terän kestävyyttä. Ruostumattomat teräket vaativat karetaukseen noin 1050 °C karkaisulämmön, koska kromi hankaloittaa huomattavasti karbidien liukenemistä. Ruostumaton teräs ei myöskään karkene yhtä kovaksi kuin hiiliteräket, koska vahvan kromiseostuksen vuoksi siihen jää usein paljon jäännösausteniittia. Jäännösausteniittia pyritään sitten poistamaan useamman päästön ja pakkaskarkaisun avulla, jolloin kovuutta saadaan hieman nostettua. Yleisimpiä ruostumattomia puukkoteräksiä ovat monien muiden muassa esimerkiksi Sandvik 12C27, Böhler N690, ATS-34 ja AEB-L. (Perttula 2015, 44.)

5.4 Pulveriteräksset

Pulveriteräksiä kutsutaan uuden sukupolven teräksiksi. Ne valmistetaan eräänlaisessa hapettomassa systeemissä, jossa sulaa terästä suihkutetaan kammioon, missä se jäähdytetään nopeasti kaasujen avulla. Näin sulasta metallista muodostuu pulverimaista ainesta. Tämä pulveri kerätään sitten tiiviiseen sylinterimäiseen säiliöön, jossa se muokataan yhtenäiseksi teräsaihioksi valtavassa paineessa ja erittäin korkeassa lämpötilassa. Tämän jälkeen aikaan saatu teräsaihio voidaan valssata tai takoa haluttuun muotoon. Tässä hapettomassa ja monimutkaisessa prosessissa muodostuva teräs on äärimmäisen tasalaatuista sekä mikrorakenteeltaan hienojakoista. Näiden terästen mekaaniset ominaisuudet ovat omaa luokkaansa. Pulveriteräksiä on olemassa sekä ruostumattomia että korroosiolle herkempiä laatuja. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 292–293.)

Pulveriterästen lämpökäsittelyt ovat suuresta seosaineiden määrästä johtuen haastavimmat kuin perustason teräksillä. Pulveriteräksset vaativat karkaisussa pitkiä pitoaikoja ja myös lämpötilojen pitää olla hyvin tarkasti kohdillaan. Lisäksi teräksen rakenteeseen jäävä jäännösausteniitti vaatii hajautuakseen useita päästökertoja ja pakastuksen. Pulveriterästen hinnat voivat sen valmistustavasta johtuen olla miltei kymmenkertaiset hiiliteräksiin verrattuna. Yleisimmin tunnettuja puukkoihinkin käytettäviä pulveriteräksiä ovat esimerkiksi RWL-34, Elmax, M390 ja CPM 154.

6 ELMAX TERÄKSISTEN PUUKONTERIEN LÄMPÖKÄSITTELY

Halusin perehtyä tässä työssäni, teorian tiedon syventämisen lisäksi, tarkemmin yhteen nykyajan huipputasoon puukkoteräkseen eli itävaltalais-ruotsalaisen Böhler-Uddeholmin Elmax teräkseen (DIN X170CrVMo18-3-1). Elmax on pulverimetallurgisesti valmistettu ruostumaton teräs, jolla on erittäin hyvä kulumis- ja korroosionkestävyys. Elmaxissa on 1,7 % hiiltä ja sen tärkeimmät seosaineet ovat kromi (18 %), vanadium (3 %) ja molybdeeni (1 %). Vahvasta seostuksesta johtuen, Elmaxin lämpökäsittely ei ole aivan yhtä yksinkertaista kuin perustason hiiliteräksillä. Onnistuneeseen lämpökäsittelyyn vaaditaan hyvä karkaisu-uuni, huolellinen tutustuminen teräksen tuoteselosteeseen (LIITE 1) sekä hyvä ennakkosuunnittelu koskien koko lämpökäsittelyprosessia.

Työn puitteissa tulen testaamaan neljä erilaista lämpökäsittelytapaa, jonka jälkeen suoritan terille kovuusmittaukset. Mittausten perusteella voin sitten valita parhaimman lopputuloksen antavan ”reseptin” jatkokäyttöä varten. Tämä käytännön testaaminen on erittäin tärkeää, koska tarkoitukseni on valmistaa kyseisestä Elmax teräksestä puukonteriä ja veitsiä tulevaisuudessa enenevissä määrin. Asetin terien tavoitekovuudeksi 60–61 HRC, jolloin terät pysyisivät terävänä pitkään ollen samalla riittävän sitkeitä kestäen kovankin käytön ongelmitta.

6.1 Terien valmistus

Valmistin tätä testausprojektia varten yhteensä 8 kappaletta puukonteriä Elmax teräksestä (KUVA 10), jotka tulen lämpökäsittämään neljällä eri tavalla (2 terää/tapa). Terien valmistus lähti liikkeelle hankkimastani 3,78 mm vahvuisesta Elmax levystä. Terät muotoilin suoraan levystä, koska takomista ei pulveriteräksille yleensä suositella. Takomisen seurauksena näin korkeasti seostettuun teräkseen tulee herkästi vahvoja jännitteitä, murtumia tai muita vikoja, jotka heikentäisivät oleellisesti lopullisen terän kestävyttä. Myös oikeasta takomislämpötilasta pitäisi pystyä pitämään äärimmäisen tarkasti huolta, jotta materiaalia ei saisi pilattua takomisen myötä. Näin ollen takominen kannattaa unohtaa kokonaan käsiteltäessä ruostumattomia pulveriteräksiä. Lisäksi teräslevy on tehtaalta tullessaan valmiiksi pehmeäsihekkutettua, joten siitä tilasta on helpointa suorittaa terien muotoilu suoraan hiomalla.

Elmax teräs karkenee ilmaan, josta johtuen terät voidaan tehdä täysin lopulliseen muotoonsa jo ennen lämpökäsittelyä. Normaalisti tehtäessä teriä hiiliteräksestä, teränsuuhun jätettäisiin vajaat puoli millia

tavaraa eli terää ei teroitettaisi täysin teräväksi ennen karkaisua mahdollisen hiilikadon vuoksi. Hiilikadosta johtuen teräksen kovuus sen pinnalta olisi jonkin verran pienempi kuin hieman syvempänä. Siksi terästä jouduttaisiin hiomaan vielä lämpökäsittelyjen jälkeen sitä pehmeää osuutta pois, jotta teränsuuhun saataisiin riittävä ja tavoiteltu kovuus. Tässä tapauksessa kuitenkin ilmaan karkenevuuden ja seuraavassa kappaleessa selitettävän hapettumiselta suojaamisen vuoksi terät voitiin viimeistellä hyvin pitkälle ja hioa terän viisteetkin niin sanotusti puhki eli täysin teräväksi. Tämä helpottaa huomattavasti myös lämpökäsittelyjen jälkeistä viimeistelyä.



KUVA 10. Puukonterät hiottuina ja valmiina lämpökäsittelyyn

6.2 Terien karkaisuhehkus

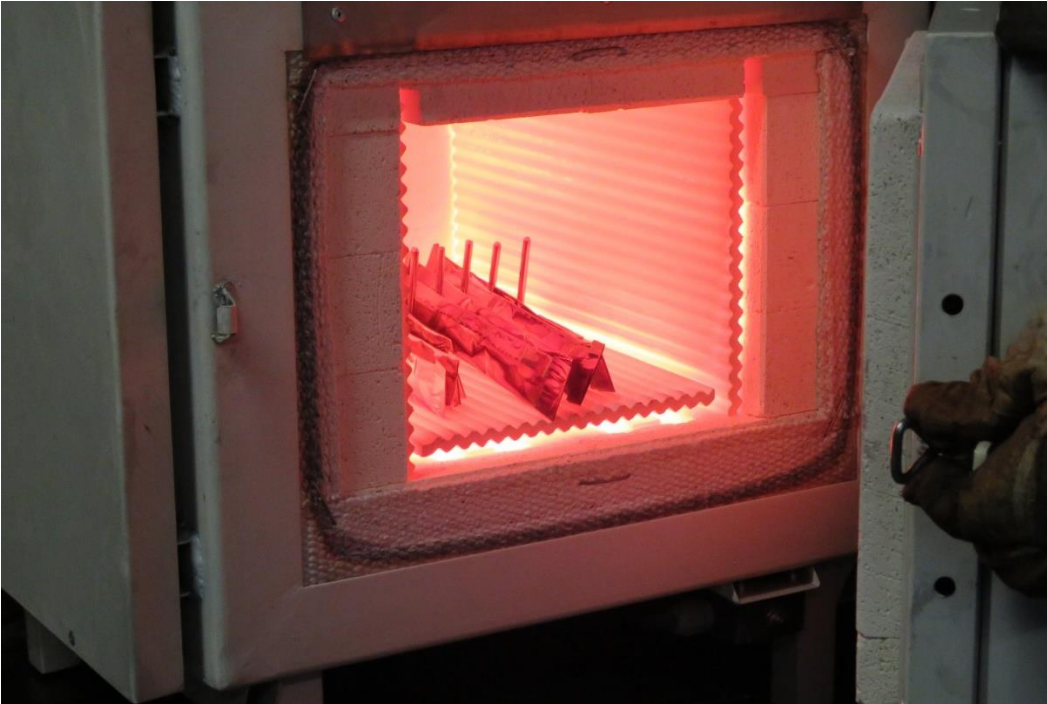
Elmax teräksen tuoteselosteessa (LIITE 1) sen austenitointilämpötilaksi kerrottiin 1050–1100 °C. Valitsin hehkuslämpötilaksi 1080 °C, jota käyttämällä olisi vielä mahdollista päästä karkaisussa saavutettavaan maksimikovuuteen. Tätä hieman korkeinta suositeltua karkaisulämpötilaa alhaisempaa lämpötilaa käyttämällä voitaisiin mahdollisesti vähentää myös hieman joka tapauksessa muodostuvan jäännösausteniitin määrää. Jäännösausteniittia muodostuu teräksen karkaisun yhteydessä etenkin, jos teräksen hiilipitoisuus ylittää 0,7 % rajan (Kivivuori & Härkönen 2016, 76). Elmaxin hiilipitoisuus on 1,7 %, joten syntyvän jäännösausteniitin määrä on oletettavasti aika suuri, jolloin myös sen karkaisulla tavoiteltavan martensiittisen rakenteen kovuutta laskeva vaikutus on merkittävä. Jäännösausteniitin poistokeinot esitellään myöhemmin seuraavissa kappaleissa.

Elmax teräs, kuten monet muutkin paljon kromia sisältävät teräkset, vaativat kohtuullisen pitkän pitoajan karkaisulämpötilassa, jotta karbidit ehtivät varmasti liueta ja austenitoituminen tapahtua. Käytin lämpökäsittelyssäni 30 minuutin pitoaikaan lämpötilan tasaannuttua. Laitoin kaikki 8 terää uuniin samaan aikaan ja pitoajan laskeminen alkoi vasta sitten, kun lämpötila oli kohonnut takaisin 1080 asteeseen. Kappaleiden eli puukonterien yksinkertaisen muodon vuoksi en koe, että esilämmitystä hieman alhaisemmassa lämpötilassa olisi tarvittu. Pitkän pitoajan vuoksi terät on suojattava hapettumiselta ja hiilikadolta. Koska käytetty teräs on ilmaan karkenevaa, tässä tapauksessa helpoin suojauskeino on käyttää karkaisufoliota. Käyttämäni karkaisufolio on ruostumatonta Ticonic-lämpökäsittelyfoliota, joka on yleisesti puukon- ja veitsentekijöiden käytössä ympäri maailman. Folio kestää hyvin ainakin vielä 1100 °C lämpötiloja. Jokainen terä laitetaan yksitellen karkaisufoliosta taiteltuun pussiin, joka suljetaan huolellisesti (KUVA 11). Tällöin terät ovat hehkutuksen ajan hapettomassa tilassa eikä hiilenkatoa pääse tapahtumaan.



KUVA 11. Terät suojataan Ticonic-lämpökäsittelyfoliolla

Terät olivat uunissa hehkutuksen ajan telineessä, joka piti terät vaakasuorassa asennossa hamarapuoli alaspäin (KUVA 12). Tällöin terät eivät väännä yhtä herkästi kuin jos ne olisivat lappeellaan. Uunin lämpötilaa säätelevä automatiikka (Stafford ST315A) piti lämpötilan koko hehkutuksen ajan noin 1075–1085 °C välillä. Kaikki 8 terää hehkutettiin täsmälleen samalla tavalla ja lämpökäsittelytapojen erot tulevat esille vasta prosessin myöhemmissä vaiheissa.



KUVA 12. Teräspakkaukset lämpökäsittelyuunissa

6.3 Terien sammutus

Elmax teräksen sammutus on helpointa hoitaa ilman avulla. Kun 30 minuutin karkaisu-ehkutusaika oli kulunut, otin teräspakkaukset yksi kerrallaan nopeasti uunista, puristin pakkauksen kahden alumiinilevyn väliin ruuvipenkissä ja lopuksi puhalsin levyjen väliin paineilmaa (KUVA 13). Alumiinilevyt siirtävät tehokkaasti itseensä teräspakkauksen lämmön ja paineilmalla vielä varmistetaan riittävän nopea sammutus. Lisäksi terä ei pääse vääntyilemään sammutuksen yhteydessä, kun se on puristuksissa jäähtytshetkellä.

Seuraavaksi otin terät pois suojaussista, jonka jälkeen oli helppoa todeta sammutuksen ja koko karkaisun onnistuneen hyvin. Terien pintaan oli muodostunut ilmaan karkeneville teräksille ominainen sateenkaaren värejä muistuttava värihuntu (KUVA 14). Lisäksi tein suuntaa antavan viilatestin eli uuden viilan (kovuus noin 66 HRC) tulisi naarmuttaa hieman terän pintaa. Näin tapahtui ja terät olivat mitä luultavimmin karsineet aivan suunnitellusti eli teräksen rakenteesta oli saatu martensiittinen. Tästä oli hyvä jatkaa lämpökäsittelyprosessin seuraaviin vaiheisiin.



KUVA 13. Terien karkaisu ilmaan



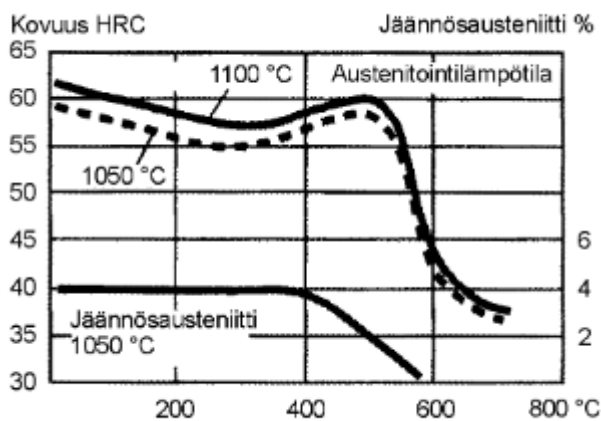
KUVA 14. Onnistuneesti karkaistut terät

6.4 Terien päästö

Sammutuksen jälkeen seuraava vaihe oli terien päästäminen eli hehkuttaminen huomattavasti matalamassa lämmössä kuin oli austenointilämpötila. Päästön avulla poistetaan karkaisussa mahdollisesti syntyneitä jännitteitä ja samalla terästä saadaan sitkeämpi sekä sitä kautta paremmin käyttöä kestävä. Alapuolella on esitetty Elmaxin teräksen päästökäyrästä (KUVA 15), jota tutkimalla tein valinnat käyttämistäni päästölämpötiloista. Lämpökäsittelyprosessin aluksi asetin tavoitekovuudeksi 60–61 HRC, johon nyt päästöjen avulla pitäisi päästä. Elmaxin tuoteselosteessa (LIITE 1) kerrottiin, että päästöajan tulisi olla minimissään 2 tuntia ja kappaleet pitäisi päästää vähintään kahteen kertaan. Useammalla päästöllä pyritään karkaisussa syntyneen jäännösausteniitin hajauttamiseen, jolloin teräksen lopullinen kovuus ja lujuus saadaan esiin. Näiden tietojen perusteella tein seuraavat valinnat:

Tapa 1: päästö 190 °C, 3 x 2 tuntia (päästöjen välissä jäähdytys huoneenlämpöön)

Tapa 3: päästö 500 °C, 3 x 2 tuntia



KUVA 15. Elmaxin päästökäyrästä (LIITE 1)

Tavassa 1 käytin alemmaa päästöaluetta, jolla 60 HRC kovuuteen olisi mahdollista päästä. Tähän päästölämpötilaksi valikoitui 190 °C. **Tavassa 3** käytin päästökäyrästä selvästi näkyvää ylempää päästöaluetta, jolla silläkin tavoitekovuus olisi saavutettavissa. Siinä päästölämpötilaksi valitsin 500 °C. Ylemmän päästöalueen vaikutus eli kovuuskäyrän uudelleen nouseminen perustuu siihen, että päästön jäähdytysvaiheessa tapahtuu eräänlaista jälkikarkenemistä. Jälkikarkenemisessä osa jäännösausteniitista muuttuu martensiitiksi, jonka vuoksi teräksen kovuus nousee. Kummassakin tavassa suoritin päästöt kolmeen kertaan jäähdyttäen terät aina päästöjen välissä huoneenlämpöön.

Käyttämäni **lämpökäsittelytavat 2 ja 4** olivat muuten samanlaiset kuin tavat 1 ja 3, mutta ennen päästöjä suoritin terille 10 tuntia kestävästä pakastuksesta. Suoritin pakastuksen pienellä tavallisella säiliöpakastimella täydellä teholla eli noin -30 °C lämpötilassa. Pakastuksen avulla on mahdollista poistaa teräksestä karkaisussa muodostunutta jäännösausteniittia muuttaen sitä martensiitiksi ja saamaan näin teräs karke-nemaan ikään kuin loppuun asti.

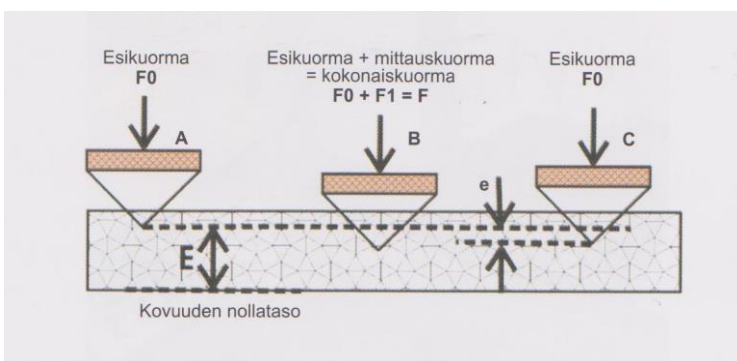
Tapa 2: pakastus -30 °C (10 h), päästö 190 °C , 3 x 2 tuntia (välissä jäädytys huoneenlämpöön)

Tapa 4: pakastus -30 °C (10 h), päästö 500 °C , 3 x 2 tuntia

Oikeaoppisesti tämä jäädyttäminen eli pakkaskarkaisu pitäisi tehdä hiilidioksidijäällä eli kuivajäällä (-70 °C), typpikaasupakastimella (-150 °C) tai nestemäisellä typellä (-196 °C). Näitä edellä mainittuja jäädyttämistapoja ei ollut kuitenkaan mahdollista käyttää tämän työn puitteissa, joten normaali pakastin oli ainoa mahdollinen vaihtoehto. Ennakkoon oli kyllä tiedossa, että -30 °C asteen pakastuksella ei päästä yhtä merkittäviin muutoksiin kuin ankarammilla jäädyttämiskeinoilla, mutta pienimuotoisia hyötyjä voitaisiin saavuttaa myös niin kutsutuin kotikonstein. (Kivivuori & Härkönen 2016, 105–106.)

6.5 Terien kovuusmittaus

Terien päästämisen jälkeen oli vuorossa terien kovuusmittaus, jolla varmistettaisiin onko lopputulos toivotunlainen. Suoritin kovuusmittaukset Centrian Ylivieskan yksikön tiloissa olevalla manuaalikäyttöisellä kovuusmittarilla (KUVA 17), koska oman verstaan varusteisiin kyseisenlainen mittalaite ei ainakaan vielä kuulu. Kyseinen kovuusmittari on malliltaan Time Technology THR-700 (KUVA 18), jolla olen tehnyt aiemminkin ennen tätä mittausta jo useampia eri kovuusmittauksia muista teräksistä valmistamilleni puukonterille.



KUVA 16. Rockwell C -kovuusmittauksen perusteet (mukaillen Kivivuori & Härkönen 2016, 221)

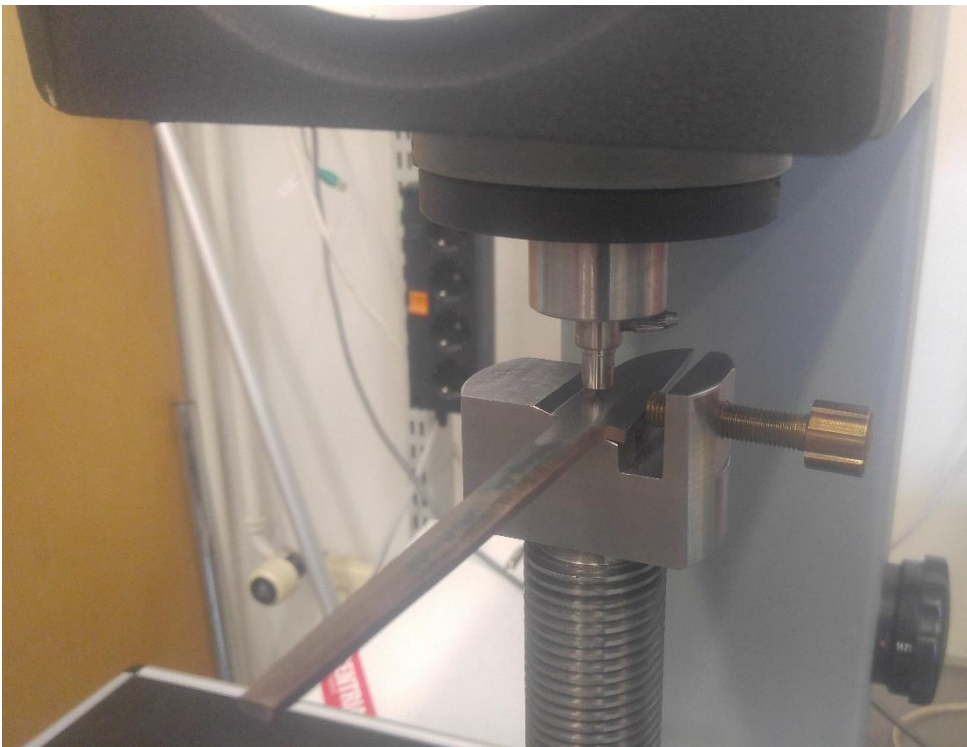
Rockwell C-kovuusmittauksessa mitattavan kappaleen pintaan painetaan kartiomainen timanttikärki ensin esikuormalla kappaleen pinnanlaadusta riippuvalle syvyydelle. Tätä esikuorman määrittämää syvyyttä kutsutaan mittauksen perusviivaksi (KUVA 16). Kovuusmittauksen toisessa vaiheessa timanttikärki painetaan kappaleeseen lopullisella mittakuormalla, jolloin kärki uppoaa perusviivaa syvemmälle. Määrätyn vaikutusajan kuluttua kuormitus vapautetaan tässä kyseisessä mittarissa sen oikeassa kyljessä sijaitsevasta vivusta. Silloin mittakärki palautuu kimmoisen muodonmuutoksen lauetessa, jolloin palautuneen kärjen asemasta muodostuu se mittaussyvyys, jonka perusteella mittari ilmoittaa kappaleen kovuuden. (Kivivuori & Härkönen 2016, 221.)



KUVA 17. Rockwell (HRC) – kovuusmittari



KUVA 18. Mittarin tekniset tiedot



KUVA 19. Erikoisvalmistettu mittapenkki

Suoritin kovuusmittaukset kaikille kahdeksalle puukonterälle ja kirjasin tulokset tarkasti ylös. Mittasin kovuudet sekä teränsuun läheisyydestä että terän ruodosta (puukonkahvan sisään jäävä osuus terästä). Jokaisella lämpökäsittelytavalla muokattua terää oli siis kaksi kappaletta, joista mittasin kovuudet ja laskin saatujen kovuuksien keskiarvot. Koska käytetty teräs oli ilmaan karkeneva, kovuus oli jotakuinkin sama sekä terän viisteessä että ruodossa. Tällä kahdesta eri kohdasta tehtävällä mittauksella halusin pois-

sulkea varmuuden vuoksi sen, että teränsuu olisi ylikuumentunut lämpökäsittelyjen jälkeisessä terän viimeistelyssä eli hionnassa ja loppukiillotuksessa. Tätä ylikuumentumista ei tosin omassa vesijäähdytteisessä hiontasysteemissäni pääse tapahtumaan, mutta sekin mahdollisuus tuli nyt poissuljettua.

Kun terä tehdään seostetusta hiiliteräksestä ja sille suoritetaan teränsuukarkaisu, silloin on oleellista tietää pelkästään teränsuun kovuus. Kovuuden mittaus ruodosta onnistuu tavallisella suoralla mittausalustalla, mutta kovuusmittaus terän viisteestä vaatii onnistuakseen erikoisvalmistetun mittapenkin (KUVA 19), jossa terän viiste saadaan asetettua vaakasuoraan eikä terä näin ollen luista pois mittakärjen alta mittauksen aikana. Kyseisen mittapenkin olin teettänyt itse jo aiempia mittauksiani varten.

Elmax teräksen lämpökäsittely:					
	Karkaisulämpötila: (Pitoaika):	Sammutus:	Pakastus:	Päästö:	Kovuus:
TAPA 1	1080 °C (30 min)	Alumiinilevyjen välissä + paineilmapuhallus	Ei	190 °C 3 x 2 h	60,5 HRC
TAPA 2	1080 °C (30 min)	-//-	Pakastus (10 h) noin - 30 °C	190 °C 3 x 2 h	61 HRC
TAPA 3	1080 °C (30 min)	-//-	Ei	500 °C 3 x 2 h	62 HRC
TAPA 4	1080 °C (30 min)	-//-	Pakastus (10 h) noin - 30 °C	500 °C 3 x 2 h	60,5 HRC

TAULUKKO 1. Lämpökäsittelytapojen spesifikaatiot

6.6 Lämpökäsittelyprosessin lopputulos

Yläpuolella olevassa taulukossa (TAULUKKO 1) on esitetty testaamani lämpökäsittelytavat Elmax teräkselle ja niillä saavutetut tulokset. Asettamani tavoitekovuus oli 60–61 HRC, joten mielestäni tavoitteet täyttyivät aika hyvin ja olen tuloksiin erittäin tyytyväinen. Mittausteni mukaan verrattaessa käyttämäni **lämpökäsittelytapaa 1** ja **2**, pakastuksella näyttäisi olleen pientä vaikutusta kovuuteen. Kovuus olisi siis noussut pakastuksen seurauksena 0,5 HRC. Luultavasti muutos olisi ollut paljon merkittävämpi, jos jäädytyksessä olisi ollut mahdollista käyttää edes puolta kylmempää kuivajäätä.

Jostakin tuntemattomasta syystä tarkasteltaessa vastaavasti **tapoja 3** ja **4**, pakastuksen vaikutus kovuuteen näyttäisikin olleen päinvastainen. Pakastamattoman terän kovuus ei kaiken järjen mukaan pitäisi olla suurempi kuin pakastetun. Sekä tavalla 3 että 4 käsitellyt terät olivat samanaikaisesti karkaisu-

kutuksessa ja päästössä, joten näissä vaiheissa ei tulosten mukaista eroa ole voinut syntyä. Yksi mahdollinen syy on voinut olla sammutuksen nopeudessa, joka ei tietenkään käsin tehtäessä ole vakio. On tietysti mahdollista, että tavalla 3 käsiteltyjen terien sammutus olisi sujunut nopeammin ja terät olisivat näin ollen karsuneet kovemmiksi. Täyttä varmuutta tähän ei kuitenkaan ole, eikä tämän opinnäytetyön puitteissa ole valitettavasti mahdollista tehdä enää uusintakoetta. Asiaan pitää kuitenkin vielä perehtyä myöhemmin mahdollisen testauksen uusimisen muodossa.

Kaikilla testaamillani lämpökäsittelytavoilla saatiin aikaan riittävän sitkeä ja kova terä. Kaikki terät läpäisivät vuolutestin kuivaan koivuun ja kestivät pienimuotoisen vääntelyn katkeamatta. Jatkossa tulen kuitenkin todennäköisesti käyttämään tapaa numero 2. Sillä päästiin 61 HRC kovuuteen, joka on kyseisestä teräksestä valmistetulle terälle oikein hyvä. Matalampaa päästölämpötilaa käyttämällä ei ole ainaakaan vaaraa teräksen korroosionkeston heikkenemiselle eikä päästöhaurauten syntymiselle. Tosin kovin isoa päästöhaurauten riskiä tällä teräksellä ei taida olla, koska siihen on varauduttu prosentin molybdeeniseostuksella.

Aikaisemmin esitetystä epäkohdasta (tapojen 3 ja 4 ristiriitaisuus) huolimatta koko lämpökäsittelyprosessi sujui mielestäni hyvin, tulokset olivat lupaavia ja koko prosessi erittäin mielenkiintoinen toteuttaa. Tulen varmasti käyttämään testaamaani Elmax terästä puukoissani jatkossakin, koska se on osoittautunut kokeissani erittäin hyväksi terämateriaaliksi. Tämä testaus antoi myös uskoa siihen, että olen tehnyt oikeita asioita ja lämpökäsittelyjen tiimoilta ollaan ”hyvällä polulla”. Testaus ja oppiminen jatkuvat tulevaisuudessakin ja nyt on yhä enemmän intoa perehtyä ja kokeilla muitakin lämpökäsittelyiltään haastavampia teräksiä ja sitä kautta kehittää puukoistani yhä parempia.

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa ja kehittää oman yritykseni (Tmi Teemu Häkkinen) puukonterien lämpökäsittelyprosessia yhä paremmaksi. Lisäksi tavoitteena oli syventää terästen lämpökäsittelyihin liittyvää tietotaitoa ja kokemusta entisestään sekä suunnitella ja testata käytännössä koko lämpökäsittelyprosessi Elmax-nimiselle ruostumattomalle pulveriteräkselle. Tarkoituksena oli myös vahvistaa lämpökäsittelyosaamista uudelle tasolle, jotta pysyttäisiin mukana alati muuttuvien teräslaatuojen kehityksessä sekä niiden lämpökäsittelyn hallinnassa.

Tavoitteisiin lähdettiin pyrkimään käymällä ensin läpi monipuolisesti asiaan liittyvää teoriaa ja syventämään sitä kautta koko lämpökäsittelyprosessin merkityksen ymmärtämistä. Tärkeänä osana oli myös oikeaoppisesti suoritettujen lämpökäsittelyprosessin tunnuspiirteiden selvittäminen. Työn loppuosassa oli sitten aika suorittaa sovellusosio, jossa opiskeltuja asioita pääsi hyödyntämään käytännössä. Siinä suunnittelin, toteutin ja testasin erilaisia lämpökäsittelytapoja esimerkkinä toimineelle Elmax teräkselle.

Työn tuloksena sain luotua toimivan lämpökäsittelyohjelman Elmax teräkselle, jota tulen käyttämään jatkossa kyseisestä teräksestä tehtävien puukon- ja veitsenterien valmistuksessa. Lisäksi sain parannettua huomattavasti osaamistani ja tietämykseni määrää liittyen terästen lämpökäsittelyyn ja sen merkitykseen koko lopputuotetta ajatellen.

Kaikki tavoitteeni ja odotukseni täyttyivät tämän opinnäytetyön osalta. Työ oli haastava ja se vaati kovaa panostusta, mutta siitä huolimatta se myös antoi paljon takaisin ja sitä oli mielekästä tehdä. Työn aikana oli myös jonkin verran ajankäytöllisiä haasteita, koska tein koko ajan opinnäytetyön rinnalla muita koko ajan lisääntyviä tilaustöitä. Mielestäni sain tarkasteltua asioita monipuolisesti ja myös työn rajaus onnistui mielestäni hyvin. Nyt on entistä enemmän intoa kehittää puukkojani yhä laadukkaammiksi ja ottaa käyttöön tulevaisuudessakin uusia yhä parempia ja laadukkaampia teräksiä ja tekniikoita.

LÄHTEET

Kivivuori, S., Härkönen, S. 2004. Lämpökäsittelyoppi. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Kivivuori, S., Härkönen, S. 2016. Lämpökäsittelyoppi 2. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Metalliteollisuuden Keskusliitto. 2001. Raaka-aine käsikirja 1 – Muokatut teräkset. 3., uudistettu painos. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Miekk-Oja, H. M. 1972. Metallioppi. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Roselli, H., Mehtonen, I. 2011. Sepän taidot. 2., uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Perttula, J. 2015. Puukkoteräkset. Saatavissa: http://www.puukkoseura.fi/doc/puukkoterakset_2015.pdf. Viitattu 15.4.2017.

Uddeholm Oy Ab. 2009. Uddeholm Elmax- tekniset tiedot. Saatavissa: http://www.uddeholm.fi/files/uddeholm_elmax.pdf. Viitattu 4.6.2017.

Yleistä

Uddeholm Elmax on kromi/vanadiini/molybdeeni - seosteinen teräs, jonka ominaisuuksia ovat:

- hyvä kulumiskestävyys
- hyvä puristuslujuus
- korroosionkestävyys
- hyvä mitanpitävyys.

Hyvään kulumiskestävyteen liittyy yleensä huono korroosionkestävyys ja päinvastoin. Jauhemetallurgisesti valmistetussa Uddeholm Elmaxissa molemmat ominaisuudet on onnistuttu yhdistämään. Elmaxista valmistetut muottien käyttöikä on pitkä, huoltokustannukset alhaiset ja kokonaistaloudellisuus siten paras mahdollinen.

Ohjeanalyysi %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	1,7	0,8	0,3	18,0	1,0	3,0
Toimitustila	pehmeäsihekkutettu n. 280 HB					
Värimerkintä	sininen/musta					

Käyttökohteet

Uudet tekniset muovit, joissa on runsaasti täyteaineita, vaativat työvälinemateriaalilta hyvää kulumis- ja korroosionkestävyyttä. Uddeholm Elmax on kehitetty mm. elektroniikkateollisuuden vaativiin käyttökohteisiin, esim. liittimien, pistokkeiden, kytkimien, vastusten tai integroitujen piirien valmistukseen. Elmax soveltuu myös elintarviketeollisuuden leikkaussovelluksiin.

Ominaisuudet

Fysikaaliset ominaisuudet

Karkaistu ja päästetty 58 HRC:n kovuuteen.

Lämpötila	20 °C	200 °C	400 °C
Tiheys kg/m ³	7 600	7 560	7 500
Kimmomoduuli N/mm ²	230 000	210 000	200 000
Lämpölaajenemis- kerroin per °C, 20 °C ->	-	10,6 × 10 ⁻⁶	11,4 × 10 ⁻⁶
Lämmönjohtavuus* W/m °C	-	15	21
Ominaislämpö J/kg °C	460	-	-

* Lämmönjohtavuuden mittaaminen on vaikeaa. Mittaustulosten hajonta saattaa olla jopa 15 %

Puristuslujuus

Arvot ovat ohjeellisia.

Kovuus	60 HRC	55 HRC	50 HRC
Puristuslujuus R _m N/mm ²	3 000	2 700	2 300
Myötölujuus R _{p0,2} N/mm ²	2 300	2 150	1 800

Korroosionkestävyys

Normaaleissa tuotanto-olosuhteissa Uddeholm Elmaxista valmistetut muotit kestävät syövyttäviä muoveja hyvin.

Ominaisuuksien vertailu

Uddeholm- terästyyppi	Kulumis- kestävyys	Korroosion- kestävyys	Mitan- pitävyys
ELMAX	████████	████████	████████
RIGOR	██████	██	██████
STAVAX	██	████████	██████

Lämpökäsittely

Pehmeäsihekkutus

Suojaa teräs ja läpikuumenna 980 °C:seen, pitoaika 2 h. Jäähdytä uunissa 20°/h 850 °C:seen. Pitoaika 10 h. Jäähdytä hitaasti 750 °C:seen ja sen jälkeen vapaasti ilmassa.

Jännitystenpoistohekkutus

Rouhintakoneistuksen jälkeen kappale läpikuumennetaan 650 °C:seen, pitoaika 2 h. Jäähdytä hitaasti 500 °C:seen ja sen jälkeen vapaasti ilmassa.

Karkaisu

Esikuumennuslämpötila: 600–850 °C

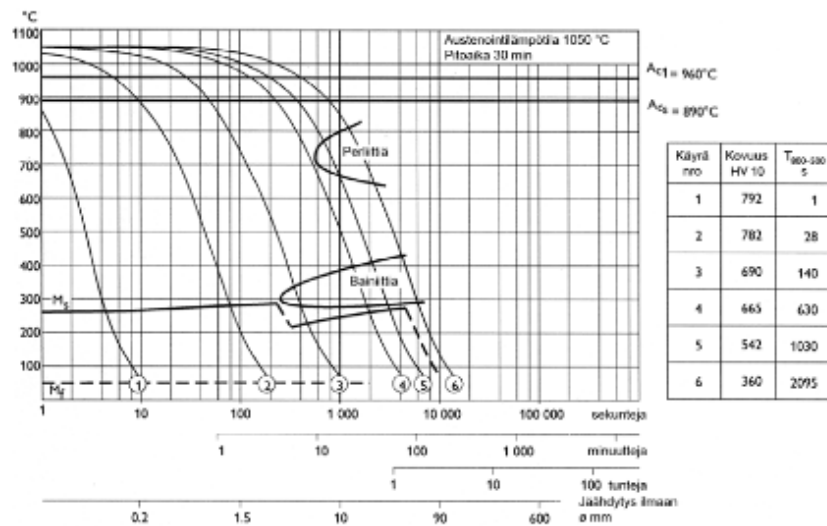
Austenitointilämpötila: 1050–1100 °C, yleensä 1080 °C

Lämpötila °C	Pitoaika* minuutteja	Kovuus HRC ennen päästöä
1050	30	60
1080	30	61
1100	30	61

*Pitoaika karkaisussa sen jälkeen, kun työkalu on täysin läpikuumentunut.

Suojaa työkalu hiilenkadolta ja hapettumiselta karkaisun aikana.

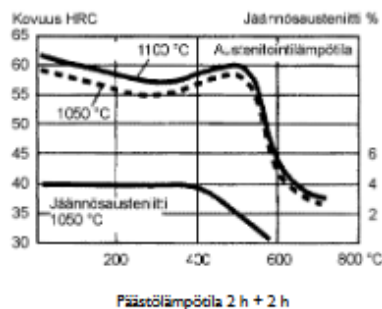
CCT-piirros Austenitointilämpötila 1050 °C, pitoaika 30 min.



Päästö

Valitse päästölämpötila päästökäyrästä halutun kovuuden mukaan. Päästä työkalu kaksi kertaa. Jäähdytä päästöjen välillä huoneenlämpötilaan. Suositeltava päästölämpötila on vähintään 250 °C. Poikkeustapauksissa alhaista päästölämpötilaa 180 °C voi käyttää pienille, yksinkertaisille osille, kun sitkeysominaisuudet eivät ole ensisijaisia. Pitoaika päästölämpötilassa vähintään 2 h.

Päästökäyrä



Sammutusaineet

- kiertoilma/kaasu
- leijupatja tai suolakylpy 200–550 °C, sen jälkeen jäähdytys ilmaan

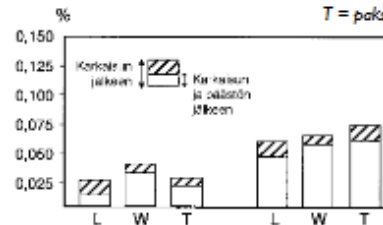
Huom. Hyvien ominaisuuksien saavuttamiseksi jäähdytyksen on tapahduttava nopeasti, kuitenkin niin, ettei tapahdu liikaa muodonmuutosta. Päästä työkalu heti, kun lämpötila on 50–70 °C.

Mittamuutokset lämpökäsittelyssä

Austenitointilämpötilan ja pakkaskarkaisun vaikutus

Koekappale 40 x 40 x 40 mm.

L = pituus
W = leveys
T = paksuus



Austenitointi	1050 °C 30 min	1050 °C 30 min
Sammutusaine	ilma	ilma
Pakkaskarkaisu	-	-60 °C
Päästö	230 °C 2 h + 2 h	230 °C 2 h + 2 h

Pakkaskarkaisu

Työkalut, jotka edellyttävät erittäin hyvää mitanpitävyyttä, on pakkaskarkaistaava mittamuutosten ehkäisemiseksi. Pakkaskarkaisu suoritetaan välittömästi sammutuksen jälkeen. Sen jälkeen työkalu päästetään. Uddeholm Elmax pakkaskarkastaan yleensä -150 °C ja -196 °C välillä. Kovuus paranee 1–3 h:n pakkaskarkaisussa 1–3 HRC.

Vältä monimutkaisia muotoja halkeamisvaaran takia.

Lastuamisohteet

Alla olevat lastuamisparametrit ovat ohjeellisia ja ne on sopeutettava vallitseviin olosuhteisiin. Lisätietoja on Uddeholmin julkaisussa "Lastuamisarvosuosituksia".

Sorvaus

Lastuamisparametrit	Sorvaus kovametallilla		Sorvaus pikateräksellä Hienosorvaus
	Karkeasorvaus	Hienosorvaus	
Lastuamisnopeus V_c m/min	70–120	120–140	10–14
Syöttö f mm/r	0,2–0,4	0,05–0,2	0,05–0,2
Lastuamissyvyys a_p mm	2–4	0,5–2	0,5–3
Työstöryhmä ISO	K20 P10–P20 pinnoitettu kovametalli*	K15, P10 pinnoitettu kovametalli*	–

*Käytä kulumiskestävää Al_2O_3 pinnoitettua kovametalliterää.

Jyrsintä

TASO- JA KULMAJYRSINTÄ

Lastuamisparametrit	Jyrsintä kovametallilla	
	Karkeajyrsintä	Hienojyrsintä
Lastuamisnopeus V_c m/min	80–110	110–140
Syöttö f_t mm/hammas	0,2–0,4	0,1–0,2
Lastuamissyvyys a_p mm	2–4	–2
Työstöryhmä ISO	K20, P20 pinnoitettu kovametalli*	K15, P10 pinnoitettu kovametalli*

*Käytä kulumiskestävää Al_2O_3 pinnoitettua kovametalliterää.

Tappijyrsintä

Lastuamisparametrit	Jyrsintyyppi		
	Täyskovametalli	Kovametallikäännoiterä	Pikateräs
Lastuamisnopeus V_c m/min	50–60	80–110	5–8 ¹⁾
Syöttö f_t mm/hammas	0,01–0,20 ²⁾	0,06–0,20 ²⁾	0,01–0,3 ²⁾
Työstöryhmä ISO	–	K15, P10–P20	–

¹⁾ Pinnoitetulle pikateräsjyrsimelle $V_c = 14–16$ m/min
²⁾ Riippuen radioalisesta lastuamissyvyydestä ja jyrsimen halkaisijasta
³⁾ Käytä kulumiskestävää Al_2O_3 pinnoitettua kovametalliterää

Poraus

PIKATERÄSKIERUKKAPORAT

Poran halkaisija mm	Lastuamisnopeus V_c m/min	Syöttö f mm/r
–5	10–12*	0,05–0,15
5–10	10–12*	0,15–0,20
10–15	10–12*	0,20–0,25
15–20	10–12*	0,25–0,35

*Pinnoitetulle pikateräsporalle $V_c = 18–20$ m/min

KOVAMETALLIPORAT

Lastuamisparametrit	Poratyyppi		
	Käännoiterä	Kovametallipora	Juotettu kovametallipora ¹⁾
Lastuamisnopeus V_c m/min	90–120	60–80	30–35
Syöttö f mm/r	0,05–0,25 ²⁾	0,10–0,25 ²⁾	0,15–0,25 ²⁾

¹⁾ Sisäpuolisilla jäähdytyskanavilla ja juotetulla kovametalliterällä
²⁾ Riippuen poran halkaisijasta

Hionta

Alla annetaan yleisluonteisia hiomalaikkasuosituksia. Tarkempia ohjeita on saatavana Uddeholmin julkaisusta "Työkaluterästen hionta".

Hiontamenetelmä	Pehmeäsihehkutettu aine	Karkaistu aina
Tasohionta suoralla laikalla	A 46 HV	B 151 R50 B3 ¹⁾ A 46 GV
Segmenttihionta	A 36 GV	A 46 GV
Pyöröhionta	A 60 KV	B 151 R50 B3 ¹⁾ A 60 JV
Sisäpuolinen hionta	A 60 JV	B 151 R75 B3 ¹⁾ A 60 IV
Muotohionta	A 100 IV	B 126 R100 B6 ¹⁾ A 100 JV

¹⁾ Käytä mieluiten CBN-laikkoja

Kipinätyöstö

Jos kipinätyöstö tehdään karkaistulle ja päästetylle materiaalille, työkalu on tämän jälkeen päästettävä vielä kerran lämpötilassa, joka on n. 20 °C alhaisempi kuin edellinen päästölämpötila.