

**Jussi Kalliokoski**

**Materiaalitietokanta terästen mikrorakennekuvien vertailuun.  
Case: Inspecta Oy**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Lokakuu 2013**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Kokkola- Pietarsaari	<b>Aika</b> Lokakuu 2013	<b>Tekijä/tekijät</b> Jussi Kalliokoski
<b>Koulutusohjelma</b> Kone- ja tuotantotekniikka		
<b>Työn nimi</b> Materiaalitietokanta terästen mikrorakennekuvien vertailuun. Case: Inspecta Oy		
<b>Työn ohjaaja</b> DI Jyri Järvi	<b>Sivumäärä</b> 41	
<b>Työn valvoja</b> Tkt Martti Härkönen		
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty Inspecta Oy:n elinikäryhmälle. Inspecta Oy:n elinikäryhmä on erikoistunut teräsmateriaalien tarkastukseen ja tutkimiseen teollisuudessa, jonka toiminnan painopiste on kattilalaitoksissa.</p> <p>Tarkoituksena oli laittaa alulle tietokanta terästen mikrorakennekuvien vertailuun, jonka tulisi palvella arvioitaessa kattilalaitosten toimintakuntoa. Toimin Inspectassa asiantuntijana, keskittyen pääasiassa kattilalaitosten elinikä- ja kuntoselvityksiin.</p> <p>Kehittämäni järjestelmää muokattiin resurssien puitteissa koko opinnäytetyön ajan ja kehittäminen jatkuu vielä tulevaisuudessakin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin terästen mikrorakenteiden vertailua parannettua työmaalla ja konttorissa. Erityisesti työmaan työtä helpotettiin päivittäisten työvaiheiden nopeuttamisella.</p>		
<b>Asiasanat</b> Tietokanta, teräs, mikrorakenne, tutkiminen		

**ABSTRACT**

<b>CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b> Department of Technology, Kokkola	<b>Date</b> October 2013	<b>Author</b> Jussi Kalliokoski
<b>Degree programme</b> Degree programme of Mechanical and Production Engineering		
<b>Name of the thesis</b> Data base on inspection microstructure of steels		
<b>Instructor</b> Jyri Järvi	<b>Pages</b> 41	
<b>Supervisor</b> Martti Härkönen		
<p>This thesis is made for the life time inspection group of Inspecta Oy. The life time inspection group is specialized in materials science on steel materials with the main focus on boiler plants.</p> <p>Main focus of this thesis was to start a database for microstructures of steel materials. This database would serve as a tool when doing life time inspections for boiler plants. I worked as an adviser for Inspecta Oy, mainly focusing on life time- and fitness for service inspections.</p> <p>The microstructure database I developed was constantly improved during the thesis and the development is still ongoing.</p> <p>As a result of the thesis comparing microstructures on- and off-site was improved. Especially on-site inspections were greatly helped with this tool by speeding the comparing of microstructures.</p>		
<b>Key words</b> Data base, steel, microstructure, inspection		

# TIIVISTELMÄ

## SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
1.1 Työn tarkoitus	1
1.2 Inspecta Oy yrityksenä	2
<b>2 TERÄKSEN RAKENNE</b>	<b>3</b>
2.1 Terästen ryhmittely	8
<b>3 KUUMALUJAT RERÄKSET</b>	<b>12</b>
3.1 Kuumankesto	13
3.2 Viruminen	13
3.3 Hajaantuminen	15
<b>4 METALLIN TUTKIMINEN</b>	<b>16</b>
4.1 Metallin mikrorakenteen tutkiminen	16
4.2 Vaurioanalyysi ja vauriotyypit	18
<b>5 JÄLJENNETARKASTUSMENETELMÄ</b>	<b>24</b>
5.1 Elektronisesti kiillotetun jäljenteen valmistus	27
5.1.1 Työn suorittaminen	28
5.2 Movipol kiillotuskoneen kuvaus ja soveltaminen	31
5.3 Syövytteet	32
5.3.1 Syövytteen valinta	32
<b>6 TIETOKANTA</b>	<b>34</b>
6.1 Materiaalin valinta tietokannasta	35
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>40</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>41</b>

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tarkoitus

Tämä opinnäytetyö on tehty Inspecta Oy:n elinikäryhmälle. Inspecta- konserni on johtava suomalainen, kansainväliset pätevyysvaatimukset täyttävä palvelu-, testaus-, sertifiointi- ja tarkastusyritys. Itse olen työskennellyt jo useampana vuonna Inspectan palveluksessa, toimien erilaisten NDT- tarkastusmenetelmien eli ainetta rikkomattomien tarkastusmenetelmien parissa. Enimmäkseen olen saanut työskennellä terästen rakennetta ja ominaisuuksia kenttäolosuhteissa tutkivien asiantuntijoiden kanssa.

Inspecta ehdotti, että tekisin heille materiaalin tutkimista käsittelevän insinööri- ja kehittäisin heille materiaalitietokannan eri teräksien mikrorakennekuvien vertailemiseksi. Tietokanta tulisi olemaan eräänlainen materiaalitietopankki, johon koottaisiin eri teräksien mikrorakennekuvia ja tietoja kyseisten materiaalien ominaisuuksista, kuten esim. kovuuksia, murtolujuuksia, virumista, hajaantumista ym. Ennen kaikkea tietokanta tulisi olemaan työkalu, jota Inspectan työntekijät voisivat tarvittaessa käyttää apuna luokitellessaan mikrorakenteita erilaisista lähtökohdista. Tietokantaa ei ole tarkoitus luoda tämän työn puitteissa, vaan tarkoituksena on luoda määrittely kyseiselle tietokannalle ja siksi tietokantaan tuleekin tässä vaiheessa vain joitakin esimerkkikuvia ja tietoja tutkittavista materiaaleista. Työssä selvitetään esimerkein millainen tämä kyseinen tietokanta tulee olemaan ja miten se käytännössä toimii.

Tässä työssä käytän esimerkkeinä pääosin kuumankestäviä teräsmateriaaleja, koska tekemämme tarkastustyöt ovat useimmiten höyrykattilaympäristöissä. Höyrykattilan kuumimpien komponenttien lämpötilat voivat olla jopa 600 °C. Näin kuumissa olosuhteissa käytettävältä materiaalilta vaaditaan hyviä kuumalujuusominaisuuksia, sekä hyvää virumiskestävyyttä. Tässä työssä keskitytäänkin erityisesti erilaisten kuumalujien teräslaatuojen ominaisuuksiin ja niiden rakenteiden tutkimiseen.

Työn ohjaajana oli Inspectan puolelta diplomi- insinööri Jyri Järvi ja Keski- Pohjanmaan ammattikorkeakoululta valvojana toimi yliopettaja Martti Härkönen.

## 1.2 Inspecta Oy yrityksenä

Inspectan juuret ylettyvät vuoteen 1975, jolloin Suomen valtio perusti Teknillisen tarkastuslaitoksen, TTL:n. TTL perustettiin varmistamaan painelaitteiden ja muiden turvallisuuskriittisten kohteiden turvallisuus. Samaan aikaan Ruotsissa astui voimaan kansallisia testauspaikkoja koskeva uusi laki, ja vuonna 1977 Ruotsissa perustettiin Statens Anläggningsprovning -tarkastuslaitos. (Inspecta 2013.)

1990-luvulla monissa maissa julkisessa omistuksessa olevia tarkastusyhtiöitä alettiin yksityistää kilpailun lisäämiseksi. Vuonna 1995 Ruotsi poisti testaus- ja tarkastusmonopolinsa ja nimi Statens Anläggningsprovning muuttui SAQ Kontroll AB:ksi. Tammikuussa 1998 myös Suomen markkinat vapautettiin, ja samassa yhteydessä liikelaitostuminen alkoi. Käytännössä TTL:sta muodostui Inspectan ydin.

Vuonna 2000 Inspecta osti Suomen johtavan rikkomattoman testauksen (NDT) yrityksen, Huber Testing Oy:n. Inspectan laajentuminen Suomen ulkopuolelle alkoi vuonna 2005, kun Latvian toiminnot alkoivat. Vuonna 2006 Inspecta hankki osia DNV:stä, joka oli aiemmin ostanut SAQ Kontroll AB:n Ruotsissa. Inspecta toimii edellä mainittujen maiden lisäksi myös Virossa, Norjassa, Tanskassa ja Liettuassa. (Inspecta 2013.)

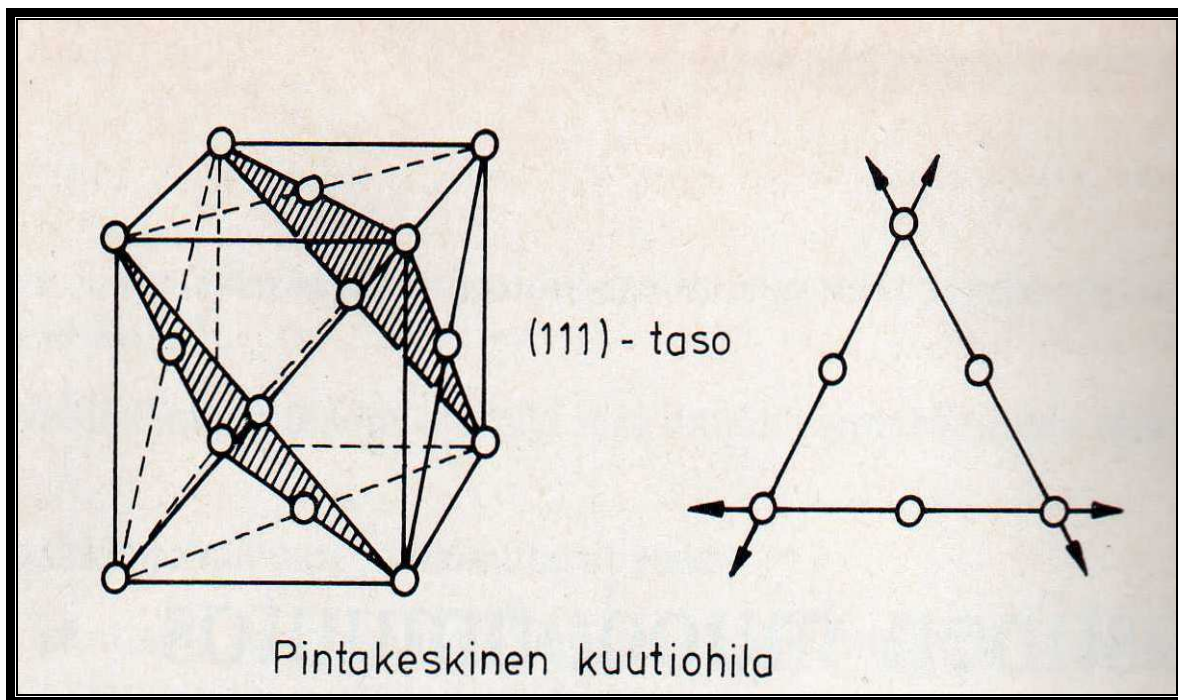
Inspecta Group palvelee yli 1400 työntekijän voimin mm. teollisuuden, energiatuotannon, rakentamisen ja kaupan aloilla. Inspectan palveluiden avulla asiakkaat saavat tuotteilleen niiden markkinoille asettamiseen tarvittavat hyväksymiset sekä varmuuden laitteiden tai laitekokonaisuuksien turvallisuudesta ja luotettavuudesta käytön aikana. (Inspecta 2013.)

## 2 TERÄKSEN RAKENNE

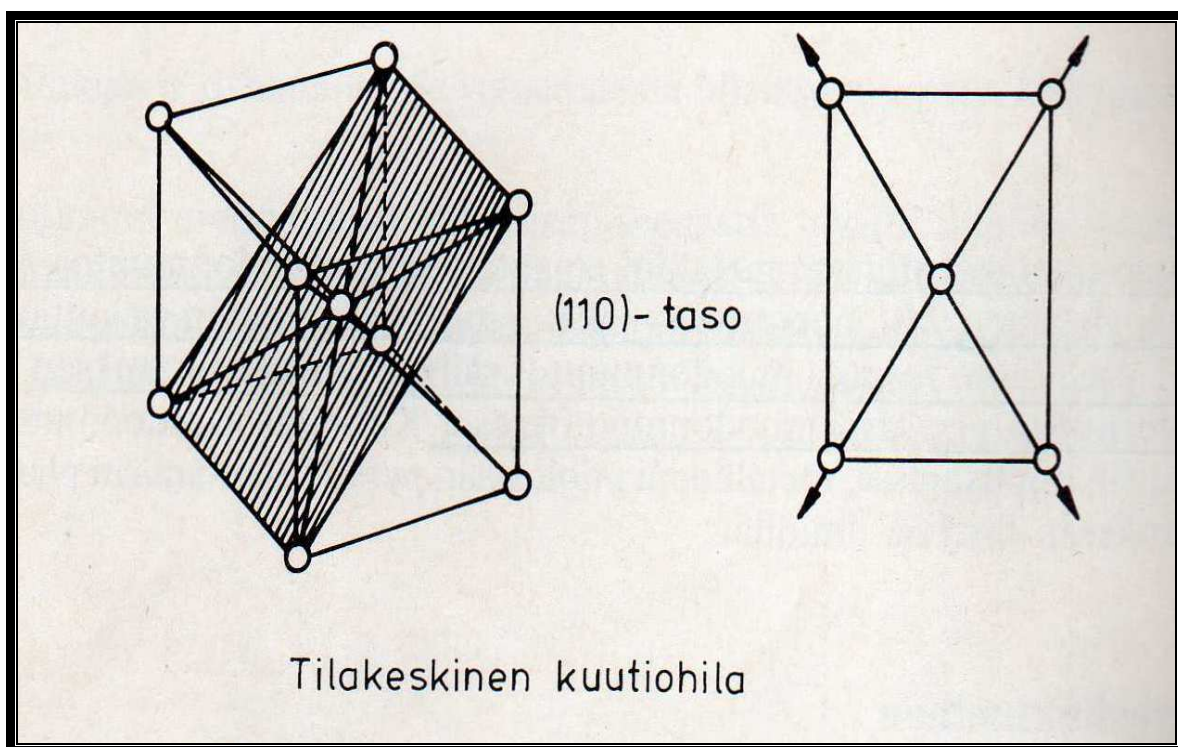
Teräs on raudan ja hiilen seos, jonka hiilipitoisuus on pienempi kuin 2,11 %. Valuraudoiksi luokitellaan tätä suuremman hiilipitoisuuden omaavat seokset. Teräksen ominaisuudet riippuvat voimakkaasti sen rakenteesta, joka puolestaan riippuu hiilen määrästä ja seosaineista. (Nevalainen 1983, 4.)

Teräksen rakenne on hyvin mielenkiintoinen. Yleensä metallit ovat kiteisiä. Sulasta tilasta metalli jähmettyy kiteiseen muotoon. Kiteinen rakenne muodostuu säännönmukaisista atomiyhdistelmistä, jotka muodostavat kidehilan. Kiteet eli rakeet rakentuvat hiloista ja liittyvät raerajoilla toisiinsa. Hilalla tarkoitetaan atomien säännöllistä järjestystä. Hilassa voi olla kuitenkin epäsäännöllisyyksiä eli hilavikoja. Nämä viat ja sisäinen rakenne kokonaisuudessaankin vaikuttavat metallin moniin ominaisuuksiin. Metallien hyvä muovattavuus perustuu siihen että atomien väliset voimat metallikiteessä sallivat kidehilan atomitasojen liukua toisiinsa nähden kiderakenteen rikkoutumatta. Kiteiden koon eli raekoon merkitys on metallin ominaisuuden kannalta huomattava. (Nevalainen 1983, 4.)

Raudalla on kaksi eri kidemuotoa, tilakeskeinen ja pintakeskeinen kuutiohila. Pintakeskeisessä hilassa rauta-atomit sijoittuvat kuution sivutahkojen keskipisteisiin ja kuution kulmiin. Tilakeskeisessä hilassa rauta-atomit sijoittuvat kuution keskelle. Tilakeskeisessä hilassa raudan rakennetta kutsutaan ferriitiksi ja pintakeskeisessä austeniitiksi. (Nevalainen 1983, 4.)



Kuvio 1. Pintakeskeinen kuutiollinen kidejärjestelmä. (Valorinta, 1982, 40).

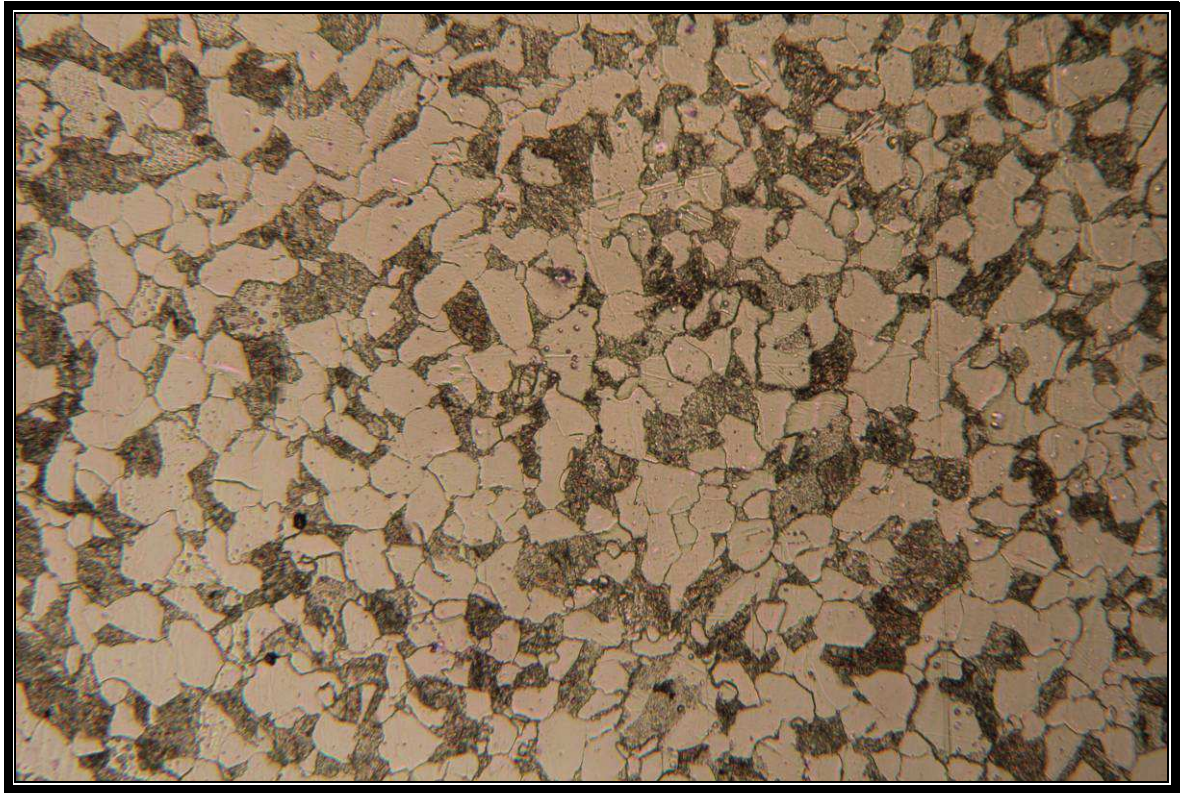


Kuvio 2. Tilakeskeinen kuutiollinen kidejärjestelmä. (Valorinta, 1982, 40).

Teräksen jäähmetymisessä syntyvä kiderakenne jakautuu osiin, eikä näin ollen ulotu yhtenäisenä teräskappaleen läpi. Osiin jakautunutta kiderakennetta erottaa toisistaan epäjärjes-



tynyt vyöhyke, raeraja. Raerajat jakavat kiderakenteen yksittäisiin rakeisiin. Rakeiden koko ja muoto vaikuttavat merkittävästi teräksen ominaisuuksiin. (Nevalainen 1983, 4.)



Kuvio 3. Teräksen 13CrMo44 hiottua ja syövytettyä pintaa mikroskoopissa, suurennos noin 300X. (Inspecta Oy).

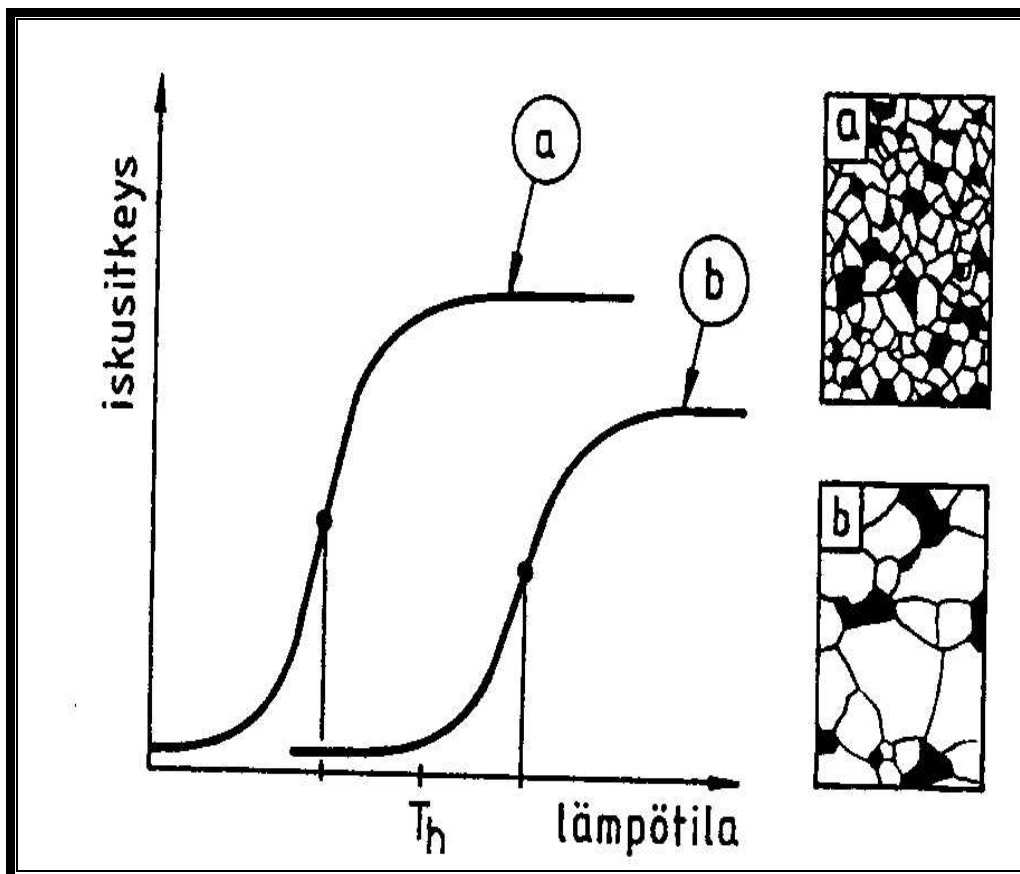
Raekokoon pienentyminen vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin mm. seuraavasti:

- lujuus ja erityisesti myötölujuus kasvaa
- kovuus suurenee
- iskutikeys paranee

Raekoon suurentuminen vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin mm. seuraavasti:

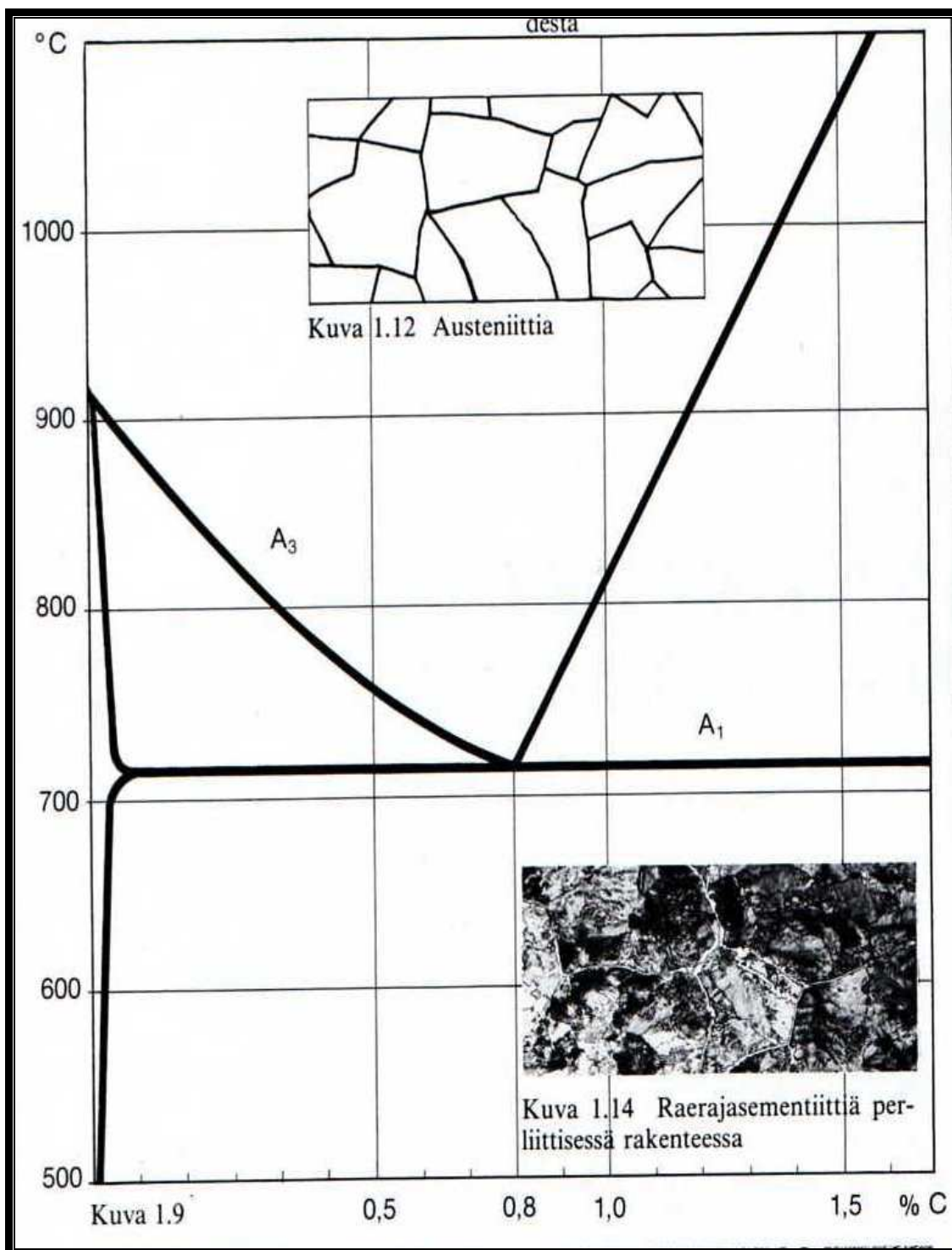
- murtovenymä ja –kurouma suurenevät ja muovattavuus paranevat

(Koivisto, 2004, 48).



Kuvio 4. Raekoon vaikutus rakenneteräksen iskusitkeyteen. a) Hienorakeinen teräs, b) Karkearakeinen teräs.  $T_h$  tarkoittaa huoneen lämpötilaa. (Koivisto, 2004, 48).

Hiilellä on teräksen seosaineena tärkeä asema. Teräksen mikrorakenteen muodostumista eri hiilipitoisuuksilla ja eri lämpötiloissa voidaan päätellä rauta-hiili-olotilapiirroksista (kuva 6). Rauta on alhaisilla hiilipitoisuuksilla aina ferriitin muodossa. Ferriitti on pehmeää, sitkeää ja helposti muovautuvaa. Kun hiilipitoisuus ylittää 0.05 % C, alkaa rakenteessa esiintyä ferriitin rinnalla perliittiä. Perliitti on ferriitistä ja sementiitistä ( $Fe_3C$ ) muodostuva rakenneosaa. Perliitti ei ole yhtä muovautuvaa kuin ferriitti, mutta sillä on hyvä vetolujuus. (Nevalainen, 1983, 5-6).



Kuvio 5. Rauta- hiili- olotilapiirros. (Nevalainen, 1983, 5).

Kun puhdasta rautaa kuumennetaan tarpeeksi korkeaan lämpötilaan, alkaa kidemuoto muuttua austeniitiksi. Tämä tapahtuu kun lämpötila ylittää yli 911 °C:n (kuva 6). Austeniitti voi liuottaa itseensä huomattavan määrän hiiltä, toisin kuin ferriitti. Lämpötilan laskiessa rajan A<sub>3</sub> alapuolelle alkaa austeniitti hajaantua. Austeniitti hajautuu kokonaan kun lämpötila laskee rajan A<sub>1</sub>:n alapuolelle ja näin syntyy alle 0.8 % hiilipitoisuuksilla ferriittis-

perliittinen mikrorakenne. Kyseisessä rakenteessa perliitin osuus lisääntyy hiilipitoisuuden kasvaessa. Hiilipitoisuuden ollessa 0.8 % C, on mikrorakenne kokonaan perliittinen. Hiilipitoisuuden ollessa yli 0.8 %, sementtiittiä esiintyy myös raerajoilla raerajasementtiittinä perliittisen perusaineen lisäksi. Raerajasementtiitti on kovaa ja erittäin haurasta. Martensiittinen mikrorakenne saadaan aikaan jäähdyttämällä teräs nopeasti yli 750°C:n lämpötilasta eli karkaisemalla se. Martensiitti on kovaa ja sen kovuus suurenee hiilipitoisuuden lisääntyessä. Karkaistava teräs sisältää usein kromia, nikkeliä, wolframia, molybdeenia tai vanaadiinia, jotka parantavat teräksen karkenevuutta. (Nevalainen, 1983, 5-6).

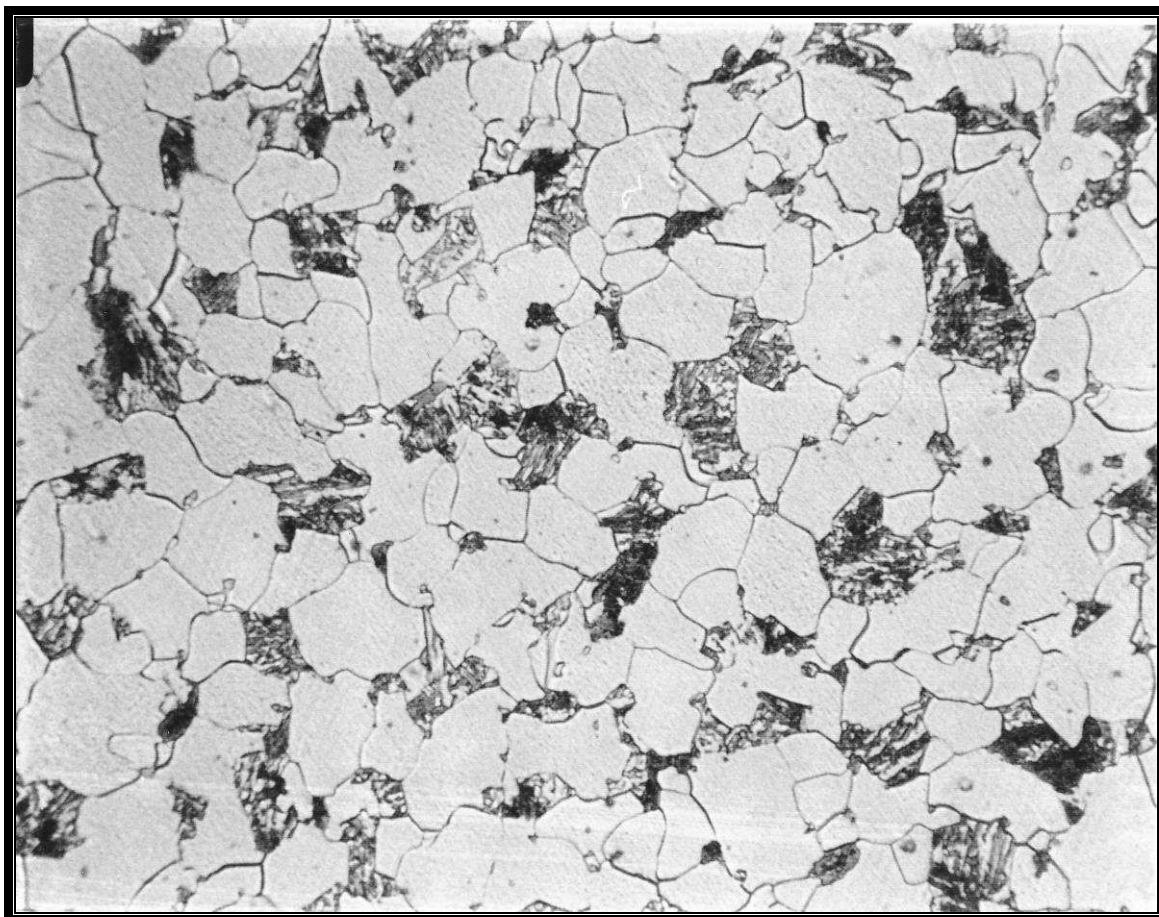
## 2.1 Terästen ryhmittely

Kuumalujat teräkset voidaan jakaa eri ryhmiin joko seostuksen tai mikrorakenteen perusteella. Seostuksen perusteella ryhmittely jakautuu seuraavasti, jolloin seosaineiden lisääntyessä kuumalujuus ja hapettumisenkestävyys yleensä paranevat:

- Seostamattomat teräkset: C- ja CMn-teräkset
- Seosteräkset: Mo-, NiCuMo- ja CrMo-seosteiset teräkset

Seosteräkset voidaan ryhmitellä vielä seostuksensa perusteella seuraavalla tavalla:

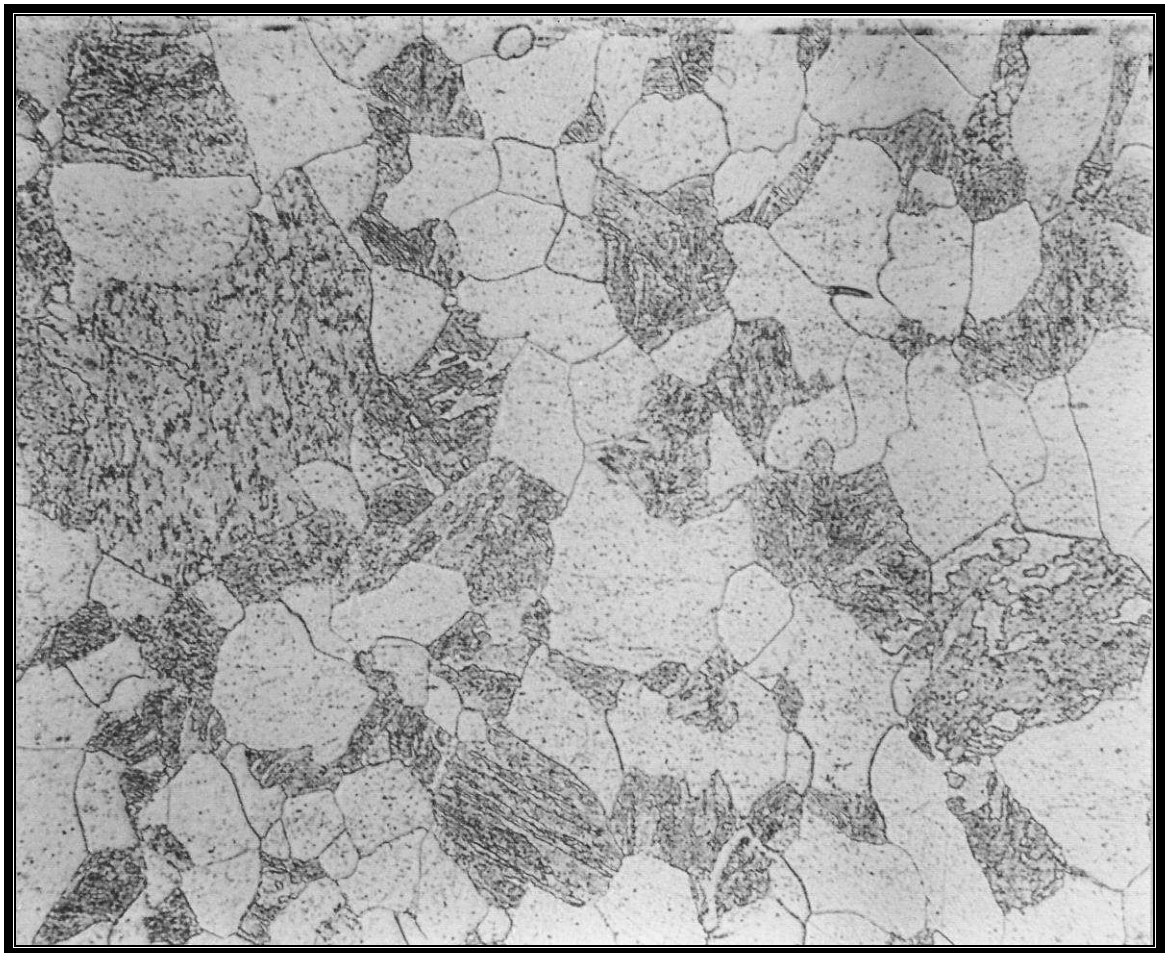
- Niukkaseosteiset Mo-teräkset: esim. 15Mo3 ja 16Mo3, jotka ovat rakenteeltaan ferriittis-perliittisiä. Kyseisten terästen korkein käyttölämpötila on noin 400–450°C.



Kuvio 6. Teräksen 15Mo3 perusaineen mikrorakennetta. Ferriittis- perliittinen rakenne. Suurennos noin 500 kertainen. (Inspecta Oy).

- Niukkaseosteiset MoV-teräkset: esim. 14MoV6-3, joiden hyvä virumislujuus perustuu vakaisiin ja hienorakeisiin  $V_4C_3$  erkaumiin, sekä  $Mo_2C$  karbideihin. Lujuusominaisuuksiltaan MoV teräkset ovat jopa parempia kuin enemmän seostetut CrMoV teräkset, mutta voimalaitosolosuhteissa CrMoV teräkset ovat kuitenkin muiden ominaisuuksien johdosta havaittu paremmaksi vaihtoehdoksi.
- Niukkaseosteiset NiCuMo-teräkset: esim. 15NiCuMo5-6-4, joilla on huomattavasti suurempi lujuus virumislämpötilan alapuolella, kuin esimerkiksi vähemmän seostetuilla Mo-teräksillä ja MoV teräksillä. Käyttöalue on noin 280–360°C ja näin ollen käyttö virumisalueella on harvinaista, virumislajuuden laskiessa hyvin jyrkästi lämpötilan noustessa. Käytetään esim. lieriöiden valmistuksessa.

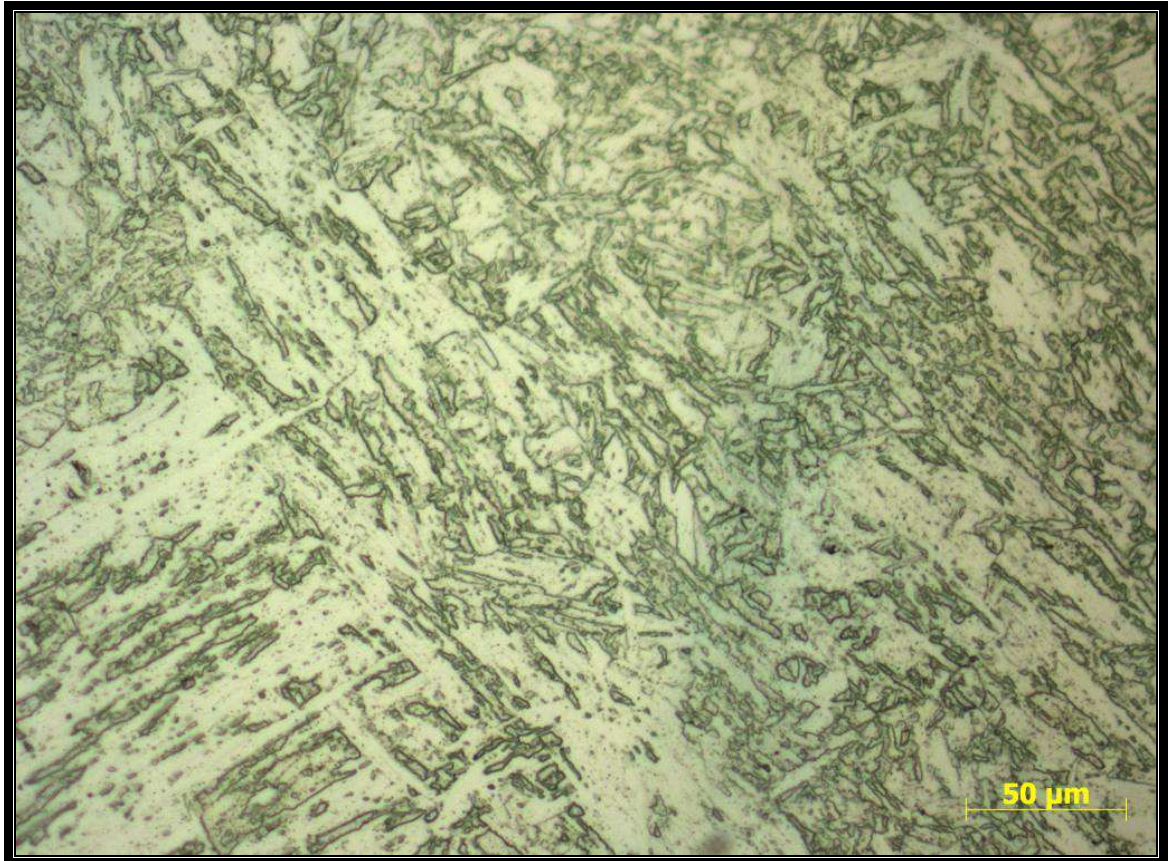
- Niukkaseosteiset CrMo-teräkset: esim. 13CrMo4-5 ja 10CrMo9-10 ovat käyttökelpoisia 550 °C lämpötiloihin asti. Lieväkin 1,0 p-% kromiseostus mahdollistaa molybdeenin hyödyntämisen yli 400 °C lämpötiloissa. Näiden materiaalien rinnalla käytetään myös vanadiinilla seostettuja CrMoV teräksiä varsinkin petrokemianteollisuuden vetyreaktoreissa. Vanadiiniseostus parantaa lujuusominaisuuksia koko käyttöalueella, sekä virumisenkestoa erityisesti 482 °C – 538 °C lämpötiloissa.



Kuvio 7. Teräksen 10CrMo9-10 perusaineen mikrorakennetta. Ferriittis- bainiittinen rakenne. Suurennos noin 500-kertainen. (Inspecta Oy).

- Runsaseosteiset CrMo-teräkset: esim. X10CrMoVNb9-1 ja X20CrMoV11-1 ovat rakenteeltaan martensiittisiä ja sisältävät noin 9-12 % kromia, sekä muina seosaineina molybdeenia, vanadiinia, niobia ja

volframia. 1980-luvun jälkeen kehitettyjä runsasseosteisia kuimalujia CrMo teräksiä kutsutaan myös moderneiksi kuimalujiksi teräksiksi. Nimitykseen alkaminen X kirjaimella viittaa EN-standardissa runsasseosteiseen teräslaatuun. (Lukkari, Hitsaustekniikka-lehti 4/2004, 10- 33).



Kuvio 8. Teräksen X10CrMoVNb9-1 perusaineen mikrorakennetta. Martensiittinen rakenne. Suurennos noin 500 kertainen. (Inspecta Oy).

### 3 KUUMALUJAT TERÄKSET

Kuumalujilla teräksillä tarkoitetaan teräksiä, joilla on hyvät ja määritellyt lujuusominaisuudet korkeissa käyttölämpötiloissa, riippuen teräslajista aina n. 650 °C:seen saakka. Kuumalujien terästen tyypillisiä käyttökohteita höyrykattilalaitoksissa ovat höyrystin, höyryputkistot, höyrylieriöt, tulistimet, jako- ja kokoojatukit, lämmönvaihtimet ja eväputki-paneelit. Lisäksi muita käyttökohteita ovat esimerkiksi vetyreaktorit energiantuotantolaitoksilla sekä kemian- ja petrokemianteollisuudessa. (Lukkari, Hitsaustekniikka-lehti 1/2009, 39- 44).

Tässä työssä keskitytään erityisesti kuumalujiin teräsiin, koska ne ovat höyrykattiloissa yleisimpiä materiaaleja juuri niiden hyvien kuumankesto-ominaisuuksien ansiosta ja höyrykattilalaitokset taas kuuluvat laajalti Inspectan tarkastusten piiriin.

Korkeissa lämpötiloissa teräksiltä vaaditaan hyvää virumis- ja väsymiskestävyyttä. Seostamalla ja sen jälkeen sopivasti käsittelemällä saadaan esiin metallien parhaimmat ominaisuudet. Näin ollen suurin osa käyttömetalleista on juuri seoksia. Lämpökäsittelyllä muokataan teräksien ominaisuuksia erityisesti, joita ovat mm. hehkutus, karkaisu, nuorutus, sekä valssaus. Työn rajoissa ei ole mahdollista käydä läpi kaikkia muokkauksissa tapahtuvia reaktioita, joten menetelmistä selvitetään vain peruseriaatteet. (Koivisto, 2004, 37).

Hehkutuksella tarkoitetaan teräksen kuumentamista punahehkuseksi. Yleensä hehkutus suoritetaan viimeisenä käsittelynä ja sillä korjataan muissa käsittelyissä muodostuneita epäedullisia rakenteita. Karkaisussa terästä lämmitetään punahehkuseksi, jonka jälkeen se nopeasti jäähdytetään eli sammutetaan. Tämän jälkeen teräs päästetään, eli sitä hehkutetaan lievästi. Tällöin teräksestä tulee entistä kovempaa ja kestävämpää. Nuorutus vastaa karkaisua sillä erotuksella, että teräs päästetään lopuksi jonkin verran korkeampaan lämpötilaan kuin karkaisussa. Näin teräksestä tulee lujaa ja sitkeää, mutta kovuus laskee. Valssaus taas tarkoittaa teräksen muotoilua rullien, eli valssien avulla. Valssaus voidaan suorittaa sekä kylmä että kuumavalssauksena. (Lindroos, 1986, 312- 329).



### 3.1 Kuumankesto

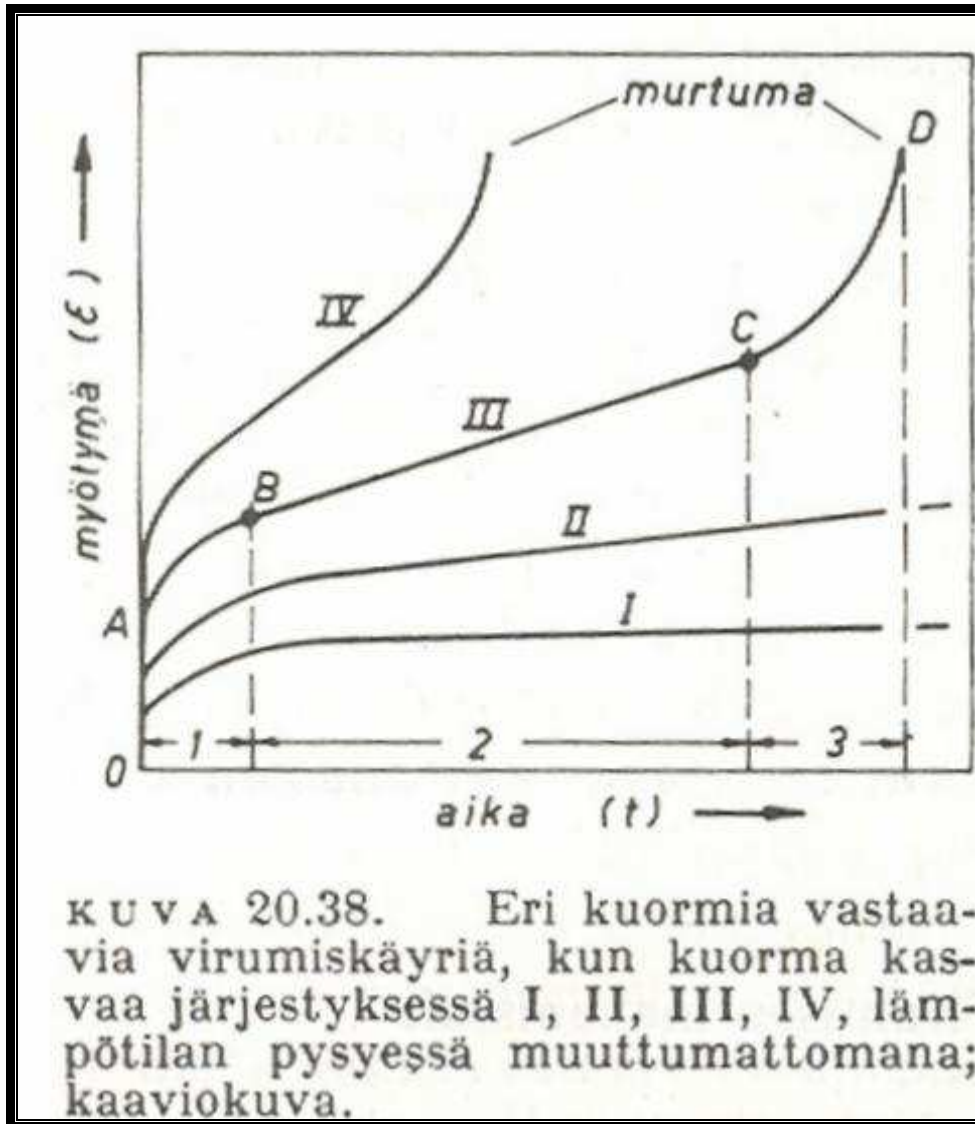
Kuumankestolla tarkoitetaan yleensä metallin hyvää virumiskestävyyttä korkeassa lämpötilassa. Eri teräslaadut kestävätkin eri tavalla korkeita lämpötiloja. Parhaiten kuumuutta kestävät austeniittiset teräkset ja ns. superseokset, jotka koostuvat lähinnä korkeissa lämpötiloissa sulavista metalleista. (Lindroos, 1986, 746- 750).

Kuumalujuutta parannetaan eri seosaineilla, joista molybdeeni on tehokkain ja yleisin. Se muodostaa raudan kanssa kuumalujuutta nostavia sekakiteitä. Lisäksi muita yleisesti käytettäviä seosaineita ovat kromi, vanadiini, niobi ja typpi. Kromin tärkein tehtävä on parantaa kestävyyttä korroosiota ja hapettumista vastaan. Niobi, vanadiini ja typpi muodostavat lujittavia karbideja ja nitridejä. Kromipitoisuus on korkeampia lämpötiloja varten ja se voi olla jopa 12 %. Lisäksi kuumankesto kasvaa vähentämällä hiilen määrää, sillä hiilen terästä vahvistava vaikutus heikkenee lämpötilan kasvaessa, muuttuen lopulta terästä heikentäväksi. (Lukkari, Hitsaustekniikka-lehti 1/2009, 39- 44).

### 3.2 Viruminen

Metallit muuttavat muotoaan kuormituksen alaisina. Metallin muodonmuutos voidaan jakaa kimmoiseen ja plastiseen muodonmuutokseen. Kimmoinen on palautuvaa ja plastinen pysyvää muodonmuutosta. Huoneenlämpötilassa metalli esiintyy yleensä kimmoisena melko suuriin jännityksiin saakka muovautuen plastiseksi, vasta kun kimmoraja ylittyy. Korkeissa lämpötiloissa ajan myötä metallissa tapahtuu plastista muodonmuutosta jo hyvin pienillä jännityksillä, vaikkakin se on usein äärimmäisen hidasta. Tätä ilmiötä kutsutaan virumiseksi. Virumista tapahtuu yleensä pitkäaikaisen käytön aikana, korkean lämpötilan ja rakenteeseen kohdistuvan voiman aiheuttamana. Jonkin edellä mainituista elementeistä puuttuttua virumista ei metallissa tapahdu. Virumista tapahtuu korkeissa lämpötiloissa usein niin pienillä jännityksillä, ettei sitä voida välttää, ja se on siksi otettava suunnittelussa huomioon. Metallit, lyijyä ja sinkkiä lukuun ottamatta, eivät viru huonelämpötilassa, vaan vain korkeissa lämpötiloissa, yli 450 °C:ssa. Viruminen on sitä nopeampaa, mitä suurempi on jännitys tai korkeampi lämpötila. (Lindroos, 1986, 734).

Virumisen kulkua tutkitaan yleensä kuormittamalla koesauvaa vakio­lämpötilassa vakio­kuormalla ja mittaamalla ajan mukana tapahtuva myötyminen, joka sitten esitetään kuvan 1 mukaisella ns. virumiskäyrällä. (Lindroos, 1986, 734- 735).

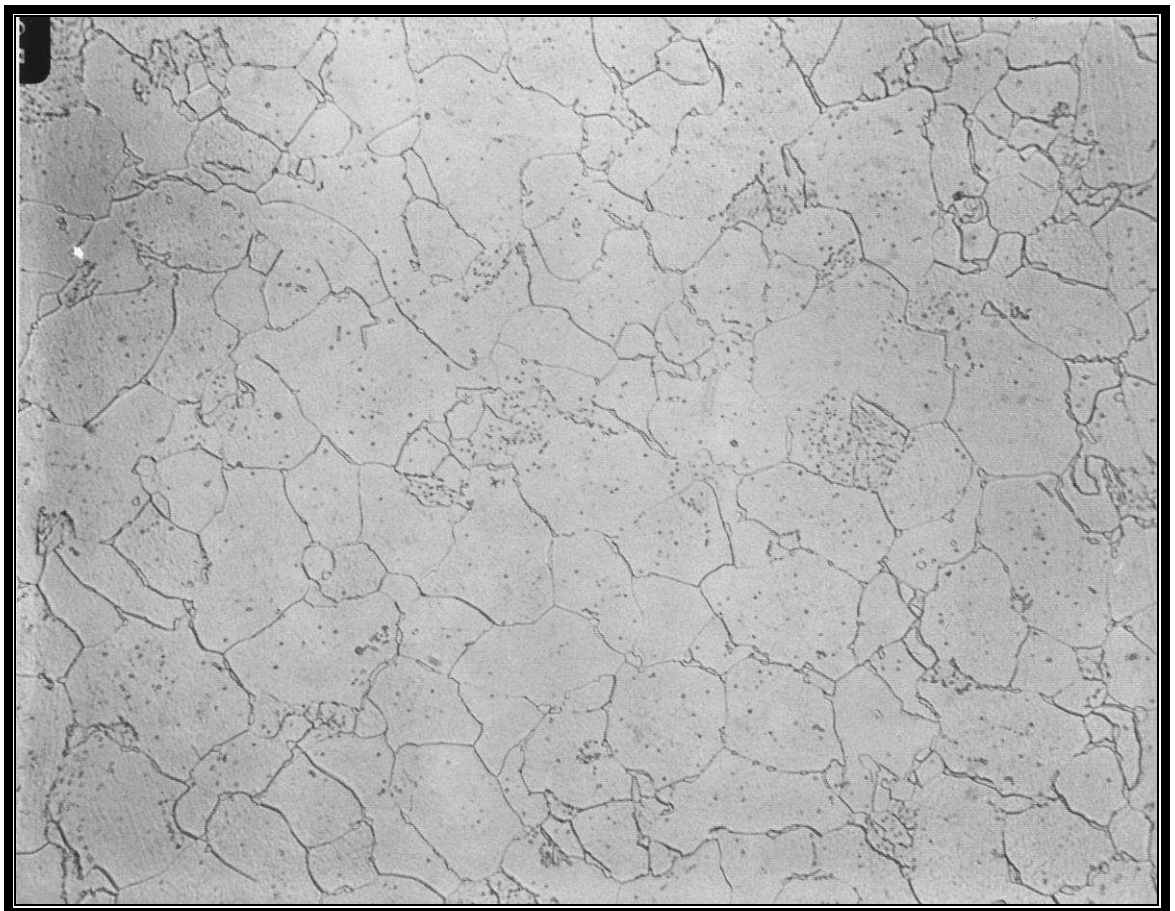


Kuvio 9. Aineen viruminen esitettyä virumiskäyrällä. (Lindroos, 1986, 735).

Virumiskäyrä esittää virumistapahtuman jakautuvan kolmeen eri vaiheeseen aluksi tapah-  
tuvan kimmoisen muodonmuutoksen jälkeen; primääriseen eli ohimenevään vaiheeseen  
(A-B), sekundääriseen eli vakautuneeseen (B-C) ja tertiääriseen eli murtumaan johtavaan  
vaiheeseen (C-D). Näistä sekundäärinen on yleensä pisin vaihe ja todellista käyttötilannetta  
vastaava, ja täten määräävä mitoituksessa. Kaikki vaiheet ovat kuitenkin olemassa, mutta  
eivät todennäköisesti ehdi toteutua. (Lindroos, 1986, 735- 736).

### 3.3 Hajaantuminen

Mikrorakenteen hajaantuminen johtuu metallin pyrkimyksestä mahdollisimman stabiiliin, eli mahdollisimman vähän energiaa sitovaan tilaan. Hajaantuminen ilmenee mm. muutoksina erkaumien tai faasien määrässä, kemiallisessa koostumuksessa tai hilamuodossa, sekä faasien sisäisten rajojen ja virheiden vähenemisellä, josta seuraa mm. rakeen kasvua. Mikrorakenteen hajaantuminen johtaa tavallisesti virumislujuuden heikentymiseen ja kovuuden pienenemiseen. Tämä onkin syytä ottaa jo mitoituksessa huomioon, niin vältetään ikäviltä yllätyksiltä käytön aikana. (Salonen, 2011, 14- 15).



Kuvio 10. Perusrakenne teräs 13CrMo44. Hajaantunut ferriittis- perliittis- bainiittinen rakenne. Suurennos noin 500X. (Inspecta Oy)

## 4 METALLIN TUTKIMINEN

Metallin tutkiminen on hyvin mielenkiintoista ja antoisaa työtä, johon kuuluu monia osa-alueita. Tärkeimpinä osa-alueina mainittakoon metallografia eli metallin sisäisen rakenteen tutkiminen, kemiallisen koostumuksen määrittäminen, mekaanisten ja teknologisten ominaisuuksien tutkiminen, sekä vaurioanalyysi, jonka avulla saadaan tietoja kappaleiden ja rakenteiden vaurioitumisen syistä. (Koivisto, 2004, 39).

### 4.1 Metallin mikrorakenteen tutkiminen

Metallin sisäisen rakenteen tutkiminen on tärkeä osa metallioppia. Silmämääräisellä tutkinnalla havaitaan joskus jo pelkästä koneistetusta metallipinnasta sisäistä rakennetta kuvaavia kuvioita. Metallin sisäisestä rakenteesta ei kuitenkaan saa tarkkaa käsitystä pelkästään kappaleen pintaa tarkkailemalla, vaan vasta sitten, kun metallista on tehty sopiva näyte eli hie. Silmämääräinen tarkastus on kuitenkin tärkeä osa metalleja tutkittaessa, koska esim. rikkoutuneiden osien murtopintoja katselemalla saadaan tietoa murtumatyyppistä ja metallin rakenteestakin, etenkin käyttäen apuna oikeanlaista suurennuslasia. (Koivisto, 2004, 39- 40).

Hie on näytepala metallin sisäisen rakenteen tutkimuksiin. Hie valmistetaan siten, että tutkittavasta kappaleesta irrotetaan pieni näytepala, jonka pinta hiotaan ja kiillotetaan peili-kiiltoon. Lopuksi tarvitaan vielä yleensä syövytys, jotta metallin rakenne tulee paremmin esille. Hieen valmistus on rikkovaa aineenkoetusta ja tapahtuu yleensä metallilaboratoriossa. (Koivisto, 2004, 40).

Metalleja tutkitaan erityisellä metallimikroskoopilla, jonka suurennukset ovat tavallisesti monisatakertaisia. Mikrorakennetutkimuksen kohteita ovat metallin kiderakenne yleisesti, sulkeumat, erkaumat, ainesviat ja rakennevyöhykkeet kuten hitsaussaumot, pintakarkaisukerrokset ym. Metallimikroskoopin rakenne perustuu siihen, että metalli ei päästä valoa lävitseen, vaan heijastaa sitä. Valonsäde kohtaa hiepinnan ja heijastuu siitä mikroskoopin okulaariin tai himmeälle lasille, jolle syntyy kuva tutkittavan materiaalin rakenteesta.. Mikäli käytettävissä on oikeanlaiset erikoislaitteet, voidaan kuva siirtää näkyviin

myös television tai tietokoneen kuvaruutuun. Hieestä voidaan ottaa myös kuvia mikroskoopiin liitetyllä kameralla. Kyseisiä kuvia kutsutaan mikro- tai hiekuviksi. Kuvista näkyy monia yksityiskohtia, kuten toisistaan poikkeavia kidelaatuja, sulkeumia, raerajoja jne. (Koivisto, 2004, 40).



Kuvio 11. Metallimikroskooppi Laborlux 12 ME. (Inspecta Oy).

Jos metallin rakenteesta halutaan nähdä hyvin pieniä yksityiskohtia, tarvitaan tavallisen valomikroskoopin lisäksi elektronimikroskooppia. Elektronimikroskoopilla saadaan helposti satatuhattakertaisia suurennoksia, kun taas valomikroskooppi suurentaa enintään

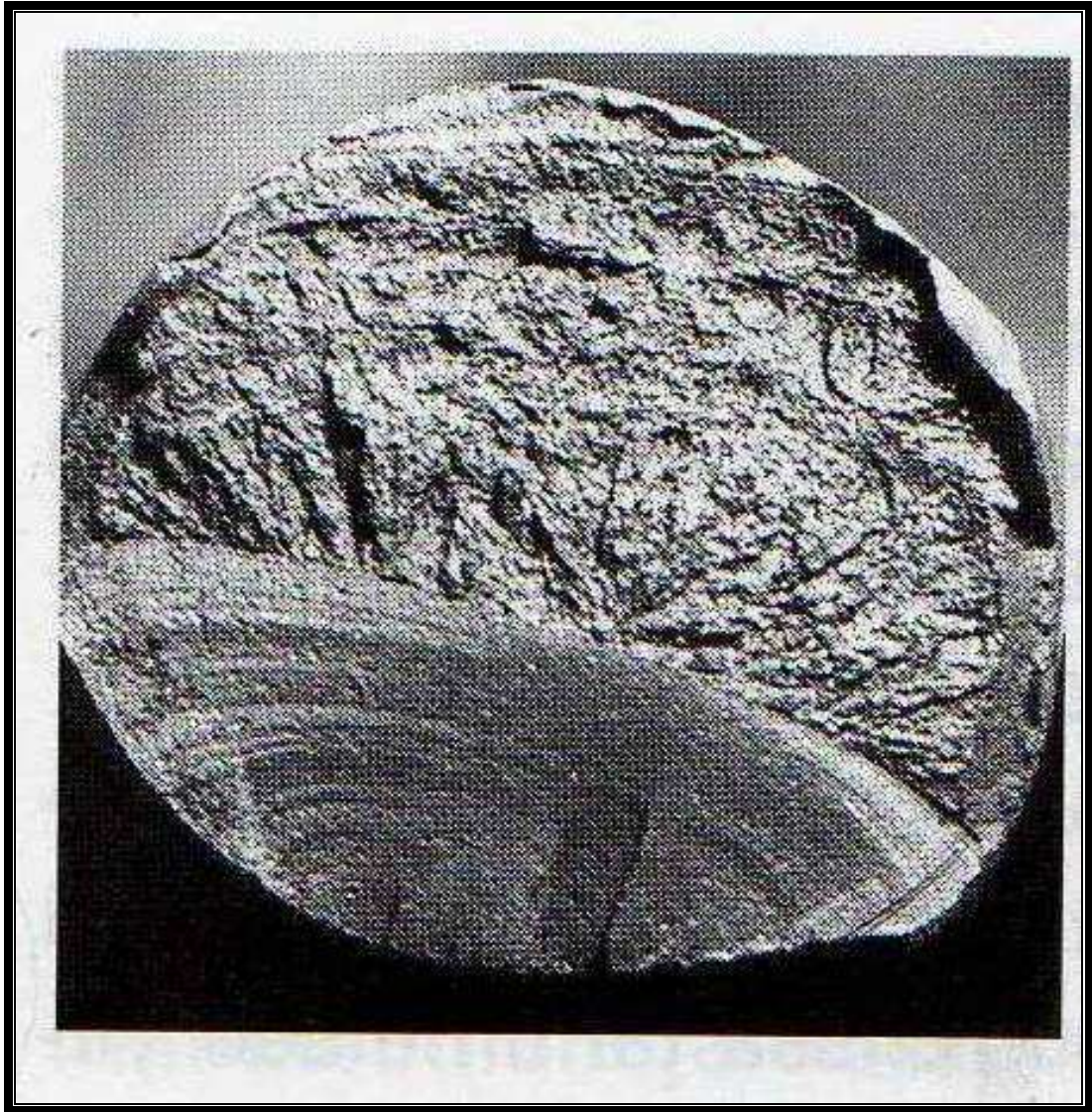
2000-kertaiseksi. Uusimmilla elektronimikroskoopeilla voidaan nähdä jopa atomeitakin, koska ne voivat suurentaa jopa 10-miljoonaakertaisesti. (Koivisto, 2004, 40- 41).

## 4.2 Vaurioanalyysi ja vauriotyypit

Metalliset rakenteet ja niiden osat toimivat monesti rasituksille ja kuormituksille alttiissa ympäristöissä ja tiloissa, esim. lämpövoimalaitoksissa. Rasitus voi olla staattista, vaihtelevaa tai iskumaista. Voimien ja momenttien lisäksi voi esiintyä yllättäviä luonnonvoimia, erilaisia inhimillisiä seikkoja, käyttövirheitä ja ylikuormitusta. Rakenneosien vaurioitumisille voi siis olla monenlaisia syitä. Metallikappaleen murtumista ja murtopinnoista voidaan usein päätellä murtumistyyppi tutkimalla sen pintaa. Kun murtumisen syy on selvinyt, helpottuu myös sen pohdinta, miten murtuma olisi ollut estettävissä. (Koivisto, 2004, 41).

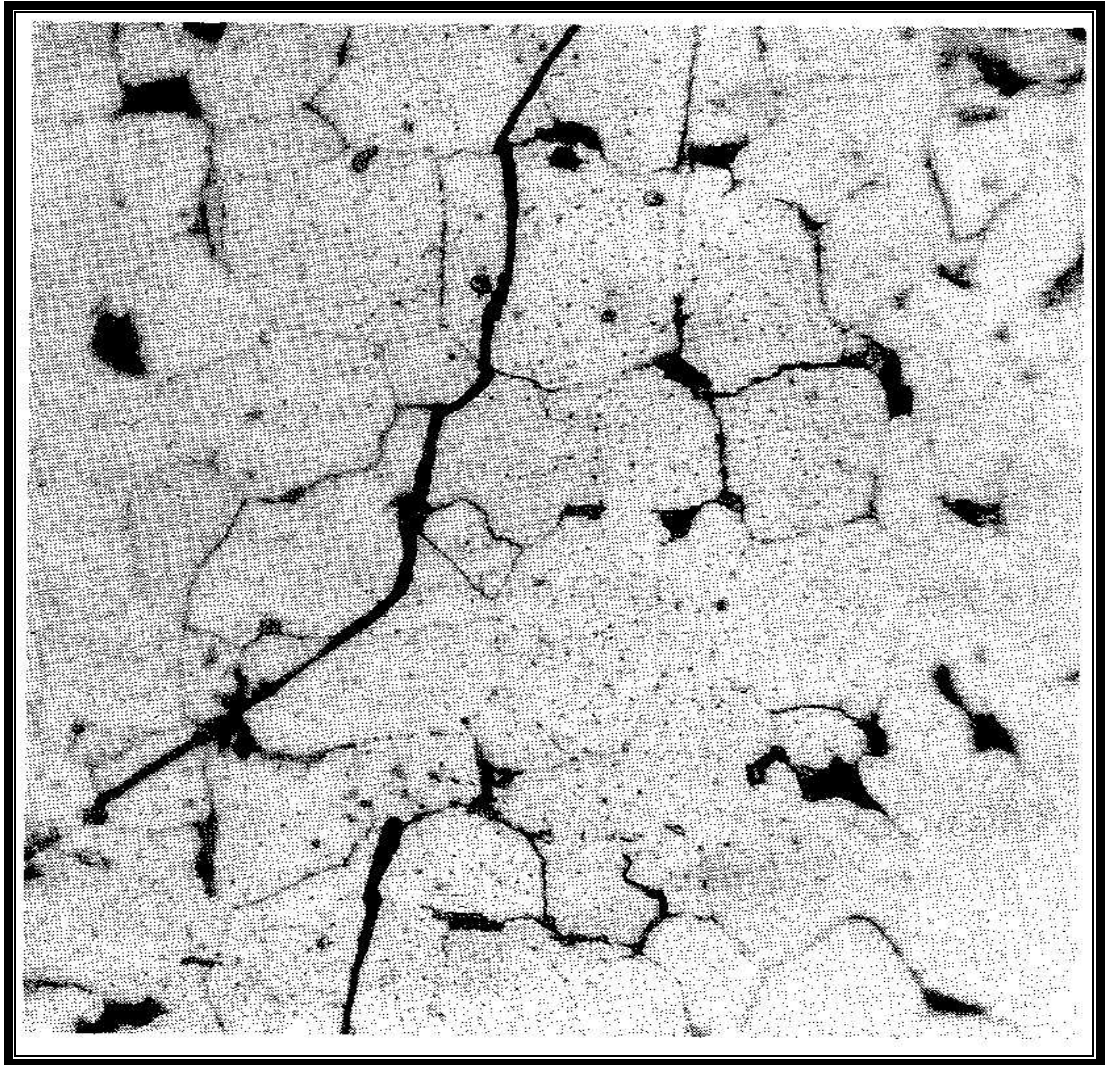
Metalleille luonteenomaisia vauriotyyppejä ovat:

- väsymismurtuma, joka on yleisin koneenosien murtumissy ja se syntyy toistuvista kuormitusvaihteluista. Yleensä murtuma alkaa kappaleen pinnan epäkohdista, esim. terävistä lovista ja naarmuista. Väsymismurtuma etenee yleensä hyvin hitaasti. Totaaliseksi murtumaksi sen kehittyminen saattaa kestää jopa useita vuosia. (Koivisto, 2004, 41).



Kuvio 12. Teräksen väsymismurtuma, jossa näkyy sileä väsymisalue ja hauras jäännösmurtuma. (Koivisto, 2004, 41).

- haurasmurtuma, joka on tavallisesti äkillinen murtuma ilman näkyvää plastista muodonmuutosta. Murtuma etenee hyvin nopeasti ja on joko raketta lävistävä lohkomurtuma tai raerajamurtuma. Joskus haurasmurtuma saattaa edetä raerajoja pitkin, jonka syynä on raerajojen heikentyminen. (Koivisto, 2004, 41).



Kuvio 13. Rakeita lävistävä lohkomurtuma. Suurennus noin 500 kertainen. (Koivisto, 2004, 42).

- sitkeä murtuma, jota edeltää plastinen muodonmuutos on käytännössä melko harvinainen. Esimerkiksi jos pientä ruuvia vääntää liian suurella momentilla, saattaa se vääntyä sitkeästi poikki. Sitkeää murtumaa voi tarkastella yleensä vetokoesauvojen murtopinnoista. (Koivisto, 2004, 41-42).
- pysyvä muodonmuutos, jossa rakenneosaa on menettänyt toimintakykynsä liian suuren plastisen muodonmuutoksen vuoksi. (Koivisto, 2004, 41).
- korroosioauriotyyppejä on hyvin monenlaisia ja ne ovat riippuvaisia syövyttävästä ympäristöstä ja materiaalin ominaisuuksista. Voimalaitos-

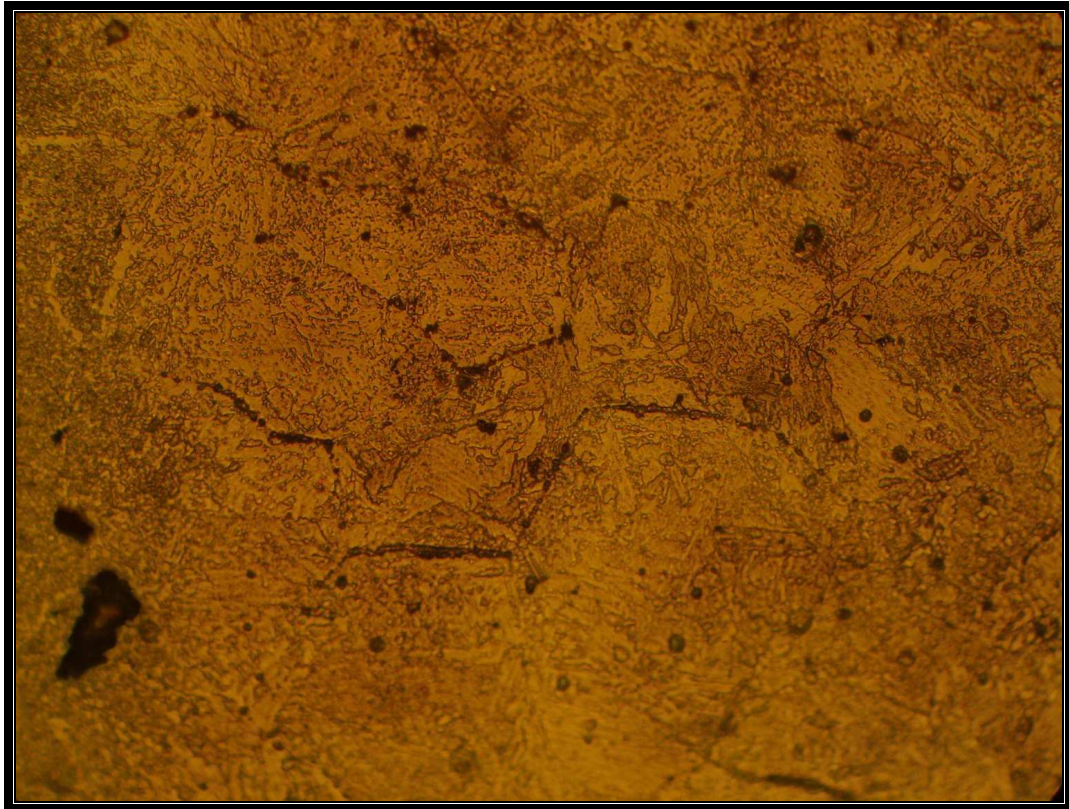


olosuhteissa ympäristötekijät ja etenkin oikeanlainen happipitoisuus ovat yleensä suuressa roolissa, jotta korroosio voitaisiin estää. Varsinkin, jos metallilla on kyky muodostaa pintaansa suojaava oksidikalvo, niin korroosion estäminen parantuu huomattavasti. Yleisimmät korroosiomuodot ovat yleinen korroosio, kuoppakorroosio, rakokorroosio, valikoiva korroosio, raerajakorroosio, kosketuskorroosio, jännityskorroosio, hankauskorroosio, ja eroosiokorroosio. (Koivisto, 2004, 12).

- Virumismurtumat, jotka etenevät tavallisesti raerajoja pitkin, muodostaen ennen murtumaa suuntautuneita koloja raerajoille, kuvioiden 14 ja 15 mukaisesti.



Kuvio 14. Teräksen 10CrMo9-10 hitsausauman karkearakeisen muutosvyöhykkeen virumaa. Suuntautuneita raerajakoloja, suurennos noin 400 kertainen. (Inspecta Oy).



Kuvio 15. Teräksen 13CrMo44 hitsausauman karkearakeisen muutosvyöhykkeen virumaa. Mikrosäröjä, suurennos noin 400 kertainen. (Inspecta Oy).

- Mekaaniset kulumisvauriot tapahtuvat pintojen liukuvan, iskevän tai värähtelevän liikkeen ja virtauksen vaikutuksesta. Voimalaitosympäristössä esiintyy mm. kavitaatio- ja eroosiokulumista höyryn virtauksen aiheuttamana esimerkiksi voimalaitosten kattiloiden tulistinputkissa. Voimalaitosten turbiinit ovat taasen alttiita värähtelykulumiselle. (Koivisto, 2004, 42).
- termisen rasituksen aiheuttamat vauriot (esim. pintavauriot painevalumuoteissa). (Koivisto, 2004, 41).

Vaurioanalyysi on tutkimusta, jolla pyritään selvittämään syy rakenneosan tai rakenteen vaurioitumiseen. Vaurioanalyysin tekemiseen tarvitaan asianmukainen metallilaboratorio, jossa on aineenkoetusvälineitä, mikroskooppeja, materiaalianalysointilaitteita ym. laitteita sekä ennen kaikkea vauriotapausten selvittämiseen kykenevä ja pätevä henkilöstö. (Koivisto, 2004, 42).

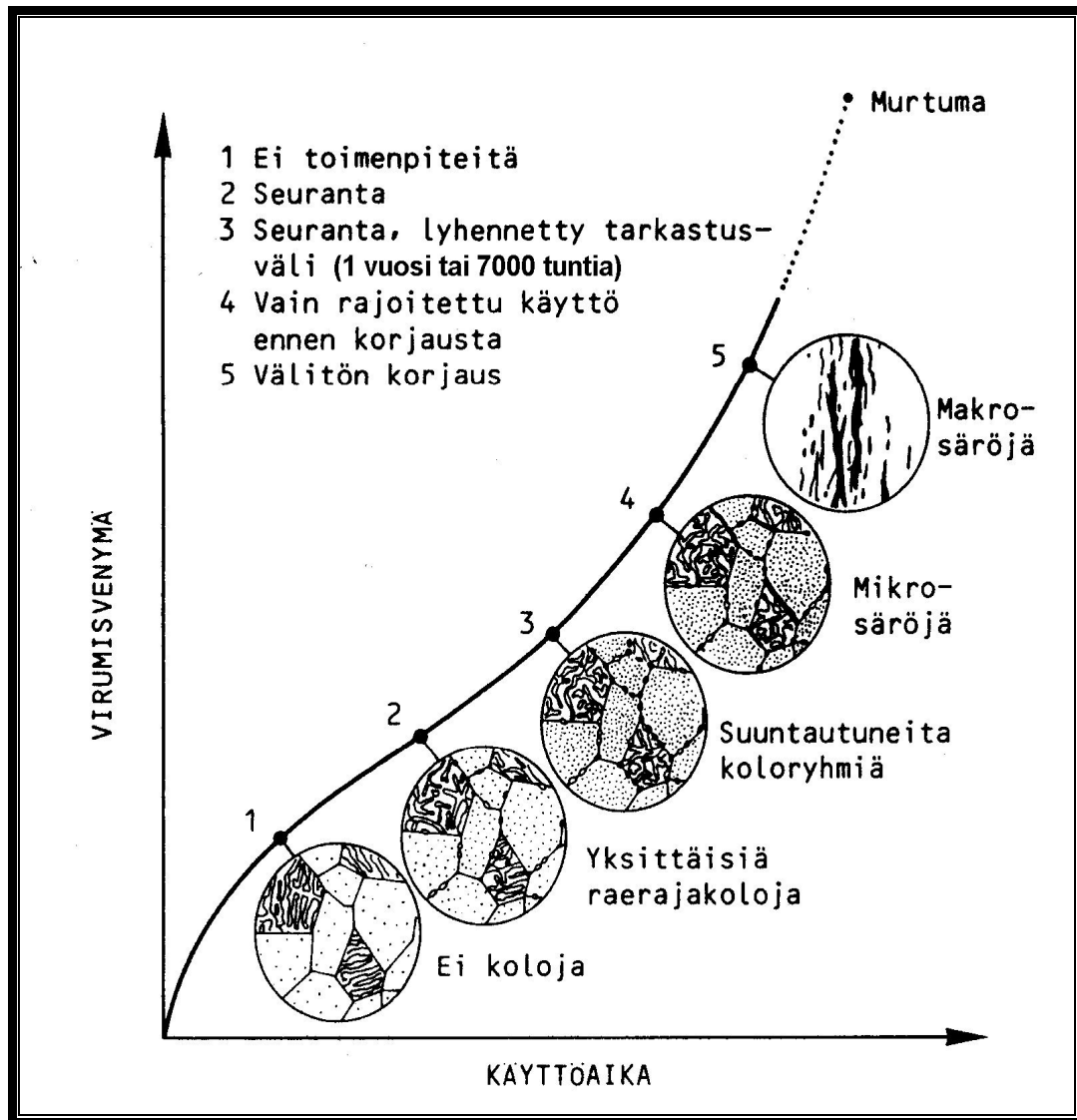
Materiaalitekniset kysymykset ovat vaurioanalyysin perusta, ja vaurioanalyysi onkin tärkeä osa materiaalitekniikkaa. Sen tuloksia pystytään myös hyödyntämään haettaessa parasta ratkaisua tuotteen ominaisuuksien, valmistusmenetelmien ja kustannusten kesken. Jos esim. vaurion aiheuttajaksi on todettu tietyn osan tai materiaalivalinnan virhe, on vastuutonta tehdä ”korjaus” vain vaihtamalla vaurioitunut osa uuteen samanlaiseen, jolloin vaurio on jälleen pian odotettavissa. (Koivisto, 2004, 43).

## 5 JÄLJENNETARKASTUSMENETELMÄ

Metallin mikrorakennetta voidaan tutkia laitosolosuhteissa jäljennetarkastusmenetelmällä mekaanisesti tai elektrolyyttisesti kiillotetulta ja syövytetyltä pinnalta. Lisäksi mikrorakennetta voidaan joissakin tapauksissa (esim. voimalaitoksen tulistinputket) tutkia myös suoraan materiaalin pinnalta pienemmillä mikroskoopeilla, joka on aina selvästi parempi menetelmä, koska jäljenne on kuitenkin vain kopio tutkittavasta materiaalista. Jäljennetarkastusmenetelmä on rikkomatonta aineenkoetusta.

Mikroskooppitarkastelun käyttöönotto merkitsee tehtävän siirtymistä kunnossapitohenkilöstöltä materiaalitekniikan asiantuntijoille ja käytettävissä olevan kapasiteetin selvää pienenemistä. Kyseessä on kuitenkin tärkeä tiedon syventämisen keino, jolla päästään lähemmäksi metallin vaurioitumisen alkuhetkeä. (Nikkarila, 2002, 7-8).

Jäljennemenetelmän erottelukyky on hyvä, sillä voidaan erottaa rakenteesta jopa alle 0,1 µm suuruisia yksityiskohtia. Jäljennemenetelmällä on mahdollista havaita jo virumisvaurion esiasteet. Tarkastettavat kohteet on valittava huolellisesti, jotta jäljenne edustaisi rakenteen pahiten vaurioitunutta osaa. Kiillotetusta ja syövytetystä pinnasta voidaan ottaa kenttäolosuhteissa jäljenne, joka tarjoaa oikotien materiaalin tilan tarkasteluun mikroskopiolla. Tällöin päästään selville mm. raerajakolojen ja erkaumien määrästä ja sijainnista sekä raerajojen aukeamisesta. Näitä tietoja voidaan suoraan hyödyntää rasiusten luonteen ja vakavuusasteen arvioinnissa. Raerajakolojen tutkiminen on virumisasteen arvioinnin keino, josta on standardi SFS 3280 (Paineastiain tarkastus. Virumisasteen arviointi. 1984-10-22). Standardissa annetaan suosituksenomaisia ohjeita virumisasteen arvioimisesta ja virumisen seuraamisesta. (Nikkarila, 2002, 8-9).



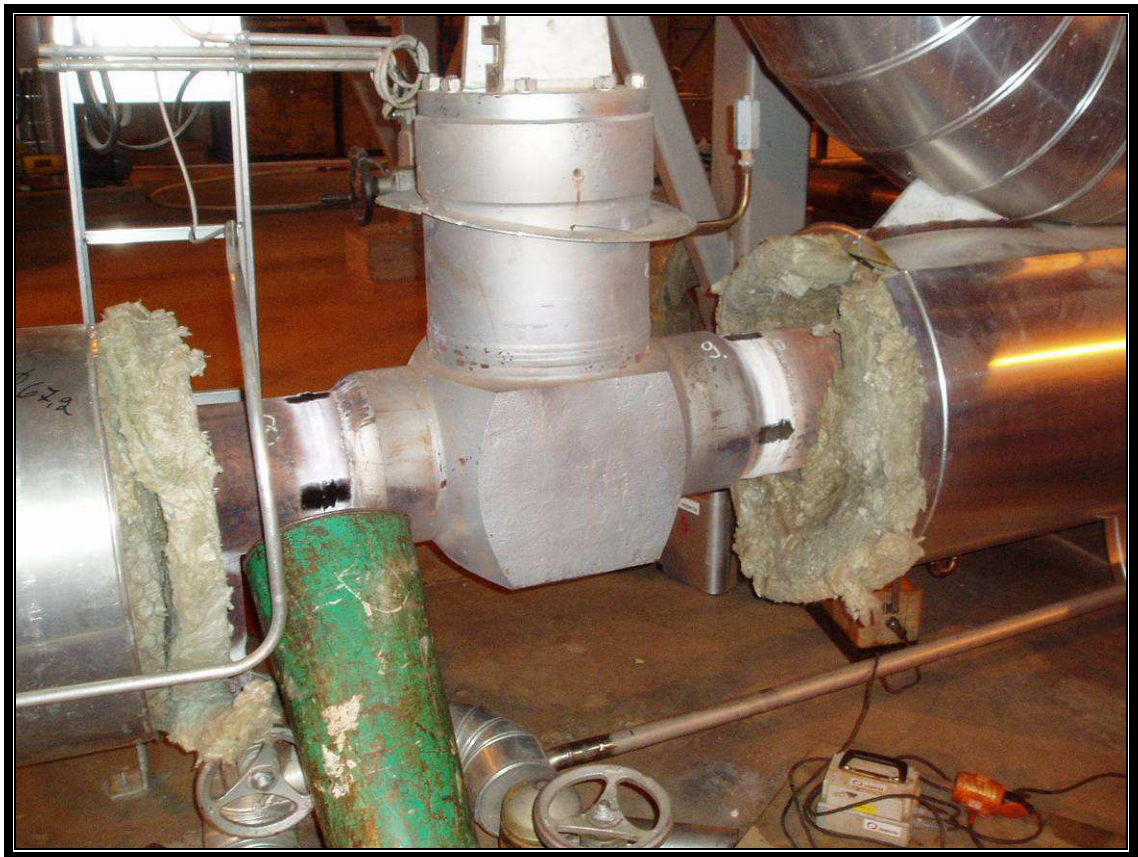
Kuvio 16. Virumisvaurion luokittelu ja toimenpidesuosituksat. (Inspecta Oy).

Virumisastetta arvioidaan standardin mukaan kuvion 16 asteikolla. Myös Nordtestin raporttia NT TECHN REPORT 170 (reference micrographs for evaluation of creep damage in replica inspections) käytetään arvioitaessa virumisastetta. Jäljennemenetelmä paljastaa virumisvaurion jo niin aikaisessa vaiheessa, että välittömiin korjauksiin tai uusimisiin ei välttämättä ole tarvetta. Vaurio voidaan jättää seurantaan ja tarkastella virumista etenemistä tietyin väliajoin ja arvioida sen etenemisen perusteella kohteen jäljellä oleva elinikä. Toimenpidesuosituksat ovat suuntaa antavia ja ovat aina tapauskohtaisia. (Nikkarila, 2002, 9)

Raekokoa mitattaessa käytetään eräänlaista vertailumenetelmää. Siinä mikrorakenteen suunnennettua kuvaa verrataan raekokostandardeissa (ASTM tai ISO) oleviin mallikuviiin. Ky-

seisissä standardeissa raekoot merkitään numeroin, esim. ISO- indeksi G1 tarkoittaa rakeen halkaisijaa 250  $\mu\text{m}$  ja G 6 halkaisijaa 44,2  $\mu\text{m}$ . Mitä suurempi on numero, niin sitä pienempi on raekoko. (Koivisto, 2004, 47).

Jäljennemenetelmä perustuu siihen, että kiillotettuun ja syövytettyyn metallipintaan painetaan ohut, liuottimella pehmitetty muovikalvo, joka kovetuttuaan ja pinnasta irrotettuna toistaa metallin pintarakenteen.. Lopuksi jäljenne pinnoitetaan kullalla, jolloin arviointikyky paranee huomattavasti ja sen jälkeen sen voi tutkia valo- ja elektronimikroskoopilla, joissa suurennokset voivat olla jopa 3000 kertaisia. Näytteestä nähdään esim. mikrohalkeamat ja kolotiheys, joista voidaan päätellä virumisluokka. Jäljennetutkimuksen tuloksia voidaan käyttää esimerkiksi elinikäanalyysien tekemisessä. (Nikkarila, 2002, 9).



Kuvio 17. Tyypillinen jäljennetarkastuskohde höyryvoimalaitoksessa. Päähöyryputken ja venttiilin liitossaumat. (Inspecta Oy).



Kuvio 18. Jäljenteiden otto pähöyryputken ja venttiilin liitossaumasta.. Virumavaurio on edennyt säröytymiseen asti. (Inspecta Oy).

## 5.1 Elektronisesti kiillotetun jäljenteen valmistus

### Tarvittavat laitteet:

- Mittalaite seinämän paksuuden mittaukseen (tarvittaessa)
- Hiomakone ja kiillotuslaikat
- Elektrolyttinen MOVIPOL- kiillotuslaite
- Nesteitä: Alkoholia (A9), asetonia, elektrolyttiset kiilloitusnesteet (A2 käytetään hiili-, niukkaseosteisille ja runsasseosteisille teräksille, AC2 käytetään runsasseosteisille austeniittisille teräksille).
- Syövytteitä (ovat materiaalikohtaisia ja niihin perehdytään myöhemmässä osiossa).
- AGAR- jäljennemuovia
- Messinkilevy, (28x35x0,5) mm.
- Veden kestävä merkitsemiskynä, 0,3 mm.

- Kirurgin veitsi tai puukko
- Kaksipuolista teippiä
- Jäljennepusseja
- Optinen pöytämikroskooppi, suurennos 200 X, 300 X ja 500 X.
- Käyttöturvallisuustiedotteiden mukaiset suojavälineet, kuten orgaanisille kaasuille ja liuottimille sopivat hengityssuojaimet ja kumikäsineet.

### 5.1.1 Työn suorittaminen

Ensimmäisenä suoritetaan hiilenkato- ja oksidikerroksen hionta kulmahiomakoneella, vi-  
rumisastetta arvioitaessa hionnan syvyys 0,2- 0,5 mm.



Kuvio 19. Jäljennetarkastuskohteen hiontaa. (Inspecta Oy).



Tarkastettavan kohteen ollessa hitsausseura, syövytetään hitsi materiaalille sopivalla syövytteellä niin kauan, että sularajat näkyvät selvästi ja huuhdellaan välittömästi alkoholilla. Perusmateriaalin ollessa tarkasteltavana kohteena tätä toimenpidettä ei tarvitse suorittaa. Tämän jälkeen tarkastettava pinta kiillotetaan elektrolyyttisellä kiillotuslaitteella. Sähkökiillotuksessa kiillotettava pinta muutetaan elektrolyytissä olevaksi anodiksi. Kiillotuksen aikana metallin pinnalta irtoaa ainetta. Valitsemalla sopiva virta, elektrolyytti ja kiillotusaika materiaalin irtoaminen tapahtuu siten, että pinta kiillottuu peilikirkkaaksi. Kiillotettu kohta huuhdellaan välittömästi alkoholilla kiillotusajan päätyttyä. Movipol-kiillotuslaitteen käyttöohje antaa suositukset kiillotusajasta ja kiillotusvirrasta eri materiaaleille, mutta käytännössä sopivimmat arvot saadaan kuitenkin vain kokeilemalla.



Kuvio 20. Jäljennetarkastuskohteen puhdistus. Suorittajana asiantuntija Reino Nikkarila Inspecta Oy:stä.

Seuraavaksi kiillotettu alue syövytetään materiaalille soveltuvalla syövytteellä. Syövytys voidaan tehdä movipol- kiillotuslaitteella tai käsin. Syövytysaika määräytyy materiaalin ja sen lämpötilan mukaan. Ennen jäljennemuovin laittoa on kohde puhdistettava asetonilla ja kuivattava. Tämän jälkeen ruiskutetaan jäljennemuovin toiselle puolelle asetonia ja painetaan jäljennemuovi kiillotettuun kohteeseen. Sitten annetaan muovin kuivua noin. 10 - 20 minuuttia, jonka jälkeen se otetaan irti ja asetetaan paperipussiin välittömästi käpristymisen välttämiseksi.

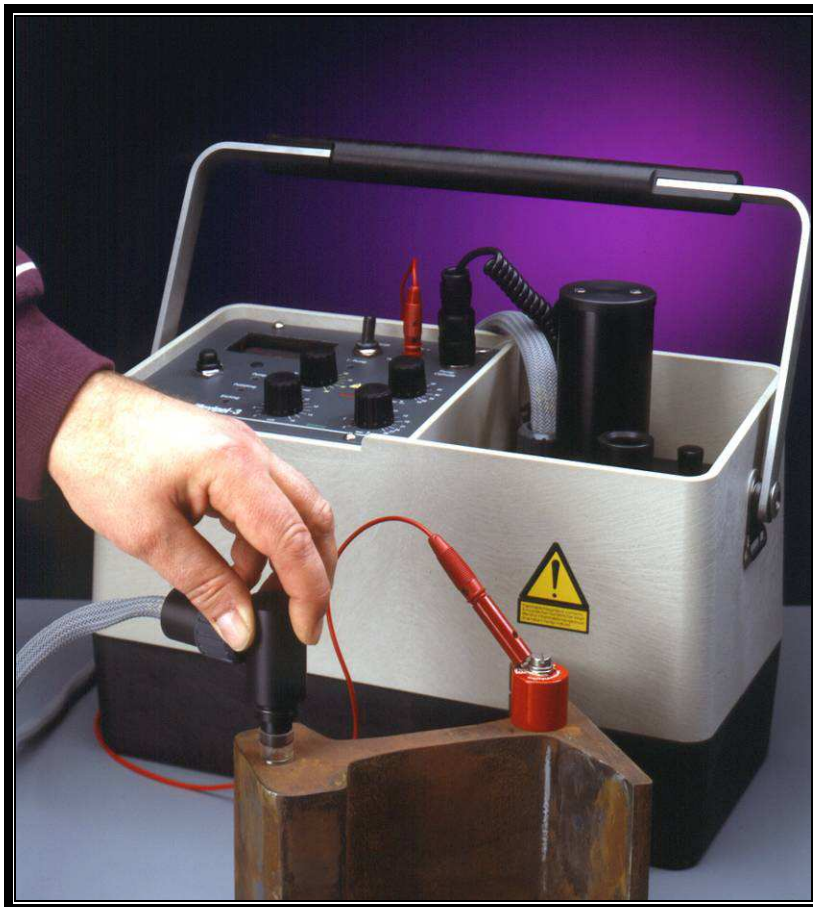


Kuvio 21. Jäljennetarkastuskohteen syövyttäminen. Suorittajana asiantuntija Jussi Kallio-koski Inspecta Oy:stä.

Tämän jälkeen asennetaan jäljennemuovi messinkilevyille kaksipuolisen teipin avulla siten, että näyte on ylöspäin. Seuraavaksi tutkitaan jäljenne optisella mikroskoopilla, jolloin raerajojen täytyy erottua selvästi. Jos jäljenteessä on havaittavissa hionnan aiheuttamia naarmuja tai jos raerajat eivät erotu kunnolla on työ suoritettava uudelleen, muuttaen kiillotus- ja syövytysaikoja tarpeen tullen.

## 5.2 Movipol kiillotuskoneen kuvaus ja soveltaminen

Movipol on kannettava laite, joka on suunniteltu sähköä johtavien materiaalien kiillottamiseen mikroskooppitarkastelua varten. Laite on suunniteltu kenttäkäyttöön teollisuusympäristöissä. Kiillotus-menetelmä ei vaurioita tutkittavaa materiaalia. Menetelmää käytetään yleensä toiminnassa olevien tai vaikeasti siirrettävien rakenteiden, kuten esim. voimalaitosten eri komponenttien tarkkailuun. (Movipol- käyttöohje, 3)



Kuvio 22. Movipol- kiillotuslaite. (Struers).

Kun kiillotus- kynä asetetaan tutkittavan kohteen pinnalle, elektrolyytillä täytetty kammio jää pinnan ja kynässä olevan katodin väliin. Pumppu kierrättää elektrolyyttiä muoviletken kautta säiliöstä kammioon ja takaisin. Kun testimateriaali kytketään anodiksi käyttöpaneelissa olevan pistukan kautta, kulkee elektrolyytin läpi tasavirta, jolloin elektrolyytin peittämältä alueelta irtoaa elektrolyyttisesti ainetta ja alue kiillottuu peilikirkkaaksi. (Mopipol- käyttöohje, 3)

### 5.3 Syövytteet

Oikean syövytteen valinta sekä oikea syövytysaika tutkittavalle materiaalille ovat melkein pä tärkeimpiä tekijöitä, jotta jäljenne tulisi onnistumaa. Yleisin syy jäljenteen epäonnistuksessa onkin väärä syövytysaika, jolloin jäljenteestä tulee joko liian tumma tai liian vaalea. Tutkittavasta kohteesta pitää pystyä erottamaan materiaalin rakenne; raerajat, kiteet, karbidit, mahdolliset viat ym. Jäljenteen vaaleus johtuu usein liian lyhyestä syövytysajasta tai siitä että käytössä on liian laimea syövyte tutkittavalle materiaalille. Jäljenteen liiallinen tummuus taas johtuu yleensä liian pitkästä syövytysajasta, tai että käytetty syövyte on ollut liian voimakasta. Tällöin kiillotus on tehtävä uudelleen ja pienennettävä syövytysaika tai vaihdettava syövytetä kokonaan. Parhaan syövytystuloksen saakin yleensä vain kokeilemalla. Seuraavassa on kerrottu yleisimmille kuumalujille teräksille sopivista syövytteistä.

#### 5.3.1 Syövytteen valinta

Yleisimmin käytettävä syövyte on nital eli typpihappo-alkoholi-liuos, jossa typpihappoa on 2...4 %. Nitalilla syövytettäessä voi kuitenkin rakenteessa oleva hienojakoinen perliitti jäädä syöpymättä, jolloin sen erottaminen ferriitistä on vaikeaa. Toiseksi yleisin syövyte on Picral, jota on suositeltavaa käyttää perliittisen teräksen (hiilipitoisuus n. 0,8 %) syövytyksessä. Jos halutaan tutkia perliittiä yli 1000-kertaisilla suurennoksilla on suositeltavaa käyttää picralia. Sementtiitti erottuu tällöin selvemmin, sillä Picral värjää sen kevyesti. Martensiitti erottuu selvärajaisemmin käytettäessä picralia tai vilellaa. Picral syövyttää paremmin karbideja. Sen avulla saadaan selvästi näkyviin esimerkiksi martensiittimatriisissa olevat karbidit ja raerajakarbidit niukkahiilisessä ferriittisessä teräksessä. Nital on kemiallisesti

aktiivisempi, joten seosainepitoisuuden kasvaessa se syövyttää paremmin kuin picral. Vilellällä saadaan näkyviin perinnäisen austeniitin raerajat päästömartensiittisessa.

Yleisimpien Inspectan käyttämien syövytteiden koostumukset:

Nital:

1...5 ml HN03,  
100 ml etanolia (95 %) tai  
metanolia (95 %)

Picral:

4 g pikriinihappoa  
100 ml etanolia tai metanolia.

Vilella:

5 ml HCL (37 %),  
1 g pikriinihappoa,  
100 ml etanolia tai metanolia

## 6 TIETOKANTA

Materiaalin tutkiminen kenttäolosuhteissa jäljennetarkastusmenetelmällä on erittäin mielenkiintoista ja haastavaa työtä. Erityisen haastavaksi sen tekeekin metallilaboratorioolosuhteisiin verrattuna juuri laitosympäristö, koska tutkittavat komponentit ovat yleensä edelleen käytössä ja näin ollen paikallaan. On myös oltava erittäin varma mitä tekee, ettei vahingoita tärkeitä ja kalliita komponentteja niitä tutkiessa. Niin sanotusti kentällä ei myöskään ole yhtä laajaa ja monipuolista tutkimusvalikoimaa käytössä kuin mitä laboratoriossa on, johtuen tietenkin että työvälineitä pitää pystyä kuljettamaan kentällä kätevästi ja nopeasti paikasta toiseen.

Jäljennetarkastuksista suurin osa tehdään laitosten huoltoseisokeissa, eli silloin kun laitos ei ole käytössä. Huoltoseisokit pyritään hoitamaan yleensä mahdollisimman nopeasti, joten tarkastuksetkin tulee hoitaa ripeästi, laadusta kuitenkin tinkimättä. Tässä kohtaa tietokanta tuleekin tarpeeseen, sillä on huomattavasti helpompaa tutkia tietyn komponentin kuntoa, kun tietää sen materiaalin ominaisuuksista ja mikrorakenteesta jo etukäteen. Tietenkin aikaisemminkin on ollut erilaisia menetelmiä joilla etsiä tietoja tutkittavista materiaaleista, mutta ne ovat toisinaan vieneet paljon aikaa. Tietokannasta on tarkoitus tehdä helppo ja nopea tapa etsiä tutkittavan materiaalin tietoja sekä mikrorakennekuvia.

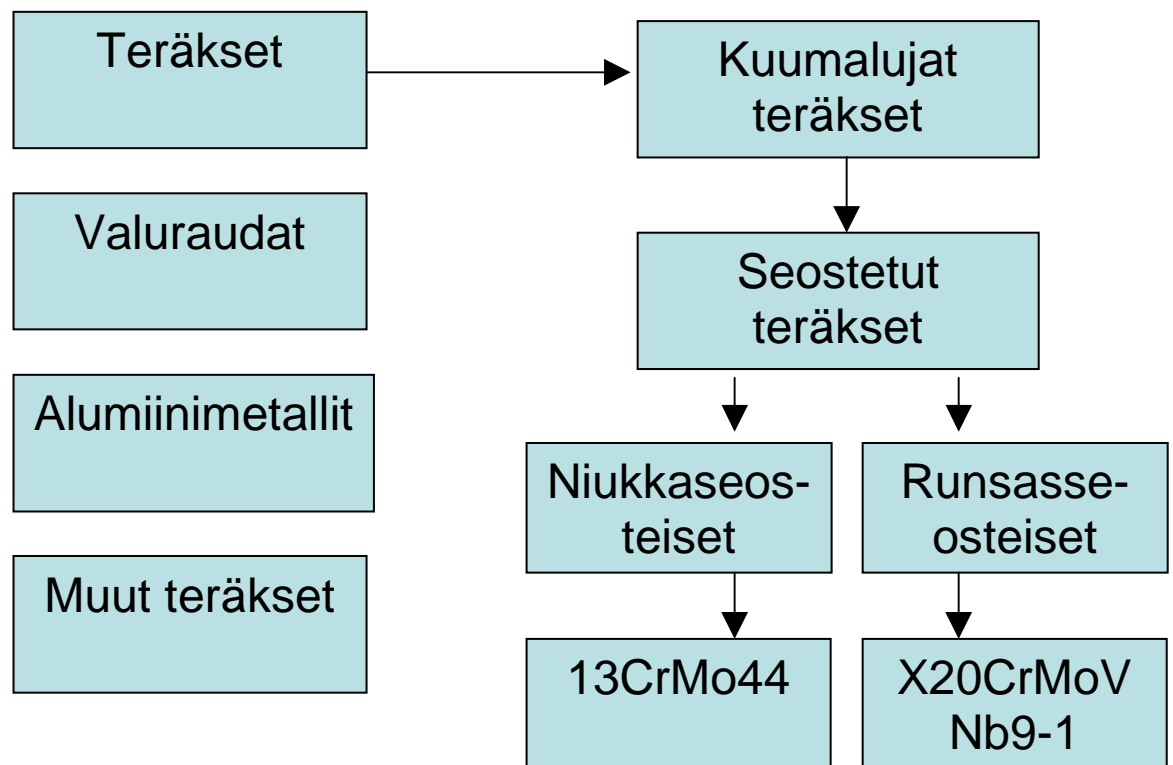
Tietokannan yksi keskeinen teema on vikaantuneet mikrorakenteet. Eli sinne tulee kuvia eri materiaalien mikrorakenteista, jotka ovat esimerkiksi kärsineet pitkäaikaisen käytön aikana korkean lämpötilan ja paineen aiheuttamista voimista, jolloin mikrorakenne alkaa mm. hajaantua tai virua. Toinen keskeinen teema on materiaalien erilaiset toimitustilat, koska jo pienetkin seostukset voivat muuttaa mikrorakennetta huomattavasti.

Tietokannasta on tarkoitus tehdä hyvinkin kattava tiedosto, johon aluksi laitetaan jo entuudestaan meille tutut teräsmateriaalit. Tietokantaa tullaan päivittämään sitä mukaan kun uusia materiaaleja ilmenee. Terästen kehitystyö on voimakasta ja uusia entistä parempia teräksiä tulee markkinoille jatkuvasti.

## 6.1 Materiaalin valinta tietokannasta

Materiaalitietokanta on tarkoitettu luoda yhdessä Inspectan atk-asiantuntijoiden kanssa. Tietokannasta pyritään tekemään mahdollisimman helppokäyttöinen ja tarpeeksi selkeä. Halutun materiaalin valinta tietokannasta tapahtuisi jokseenkin kuvion 23 mukaisesti, jossa olen käyttänyt esimerkkeinä teräsmateriaaleja 13CrMo44 ja X20CrMoVNb9-1.

Valitun materiaalin jälkeen avautuisi käyttäjälle kaikki sillä hetkellä tietokannassa olevat tiedot ja kuvat kyseisestä materiaalista. Sivuilla 36- 39 olen käyttänyt esimerkkeinä teräsmateriaalien 13CrMo44 ja X20CrMoVNb9-1 eri hajaantumisasiänteitä.



Kuvio 23. Esimerkkeinä terästen 13CrMo44 ja X20CrMoVNb9-1 valinta tietokannasta.

## Teräs 13CrMo44

Niukkaseosteinen CrMo-teräs.

Rakenne ferriittiä ja bainiittia.

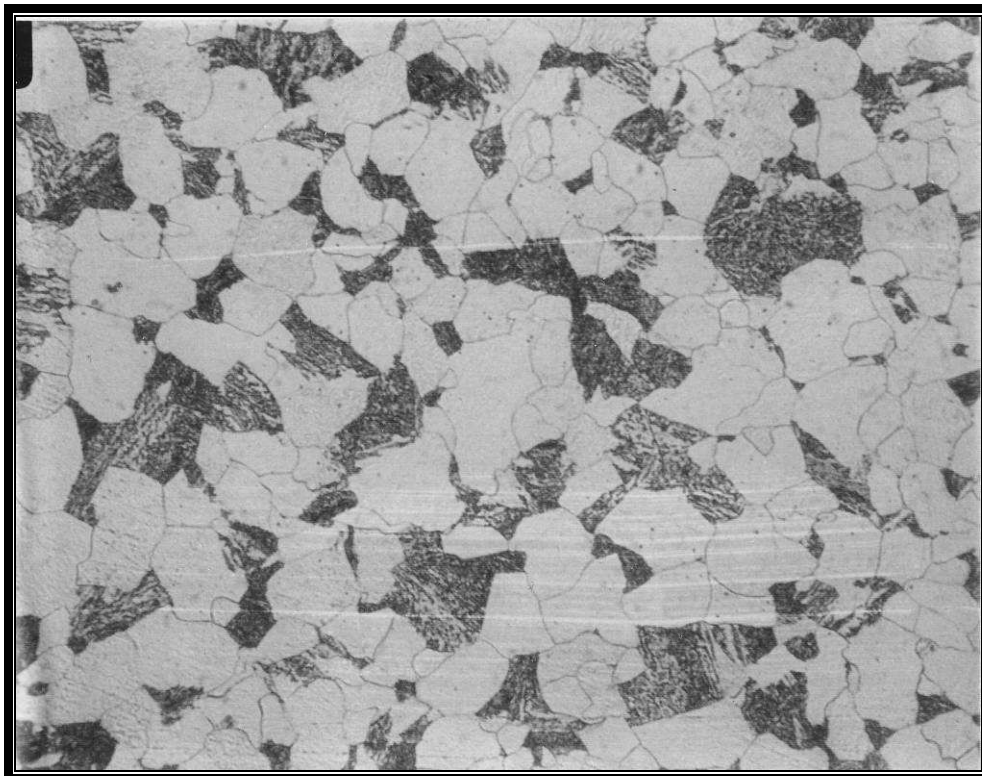
Sisältää noin 1% kromia ja noin 0,5% molybdeenia.

Käyttökelpoinen 550 °C lämpötilaan asti.

Murtolujuus välillä 440- 590 Rm/N/mm.

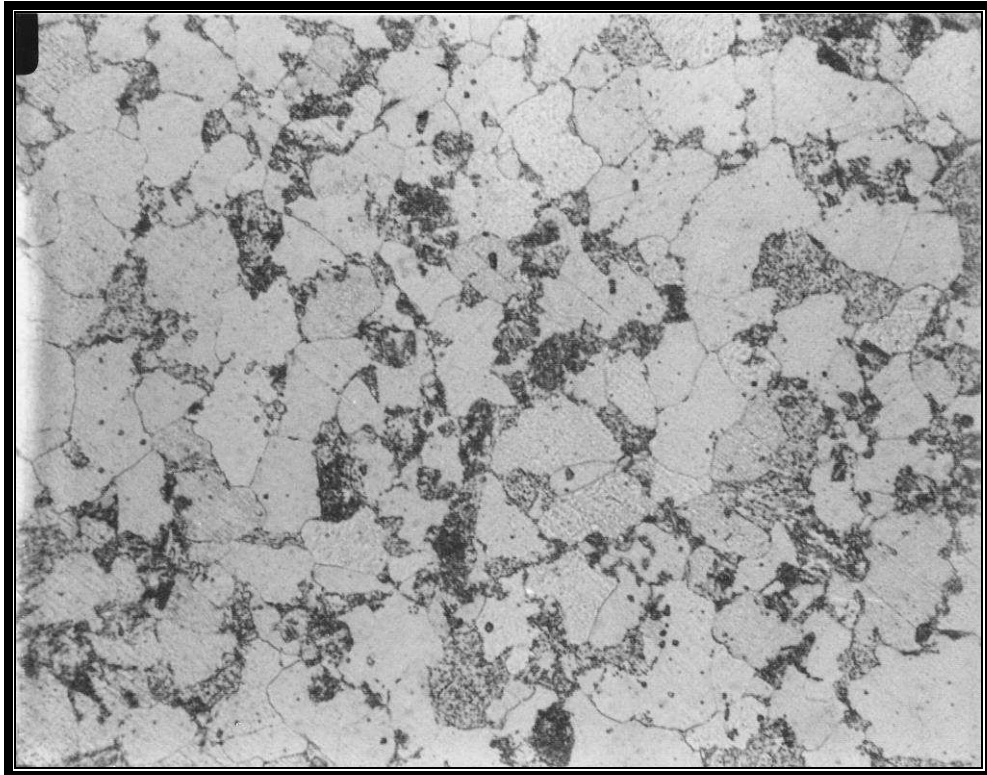
Kovuus välillä 138- 184 HV/ 131- 175 HB.

### Mikrorakennekuvat:

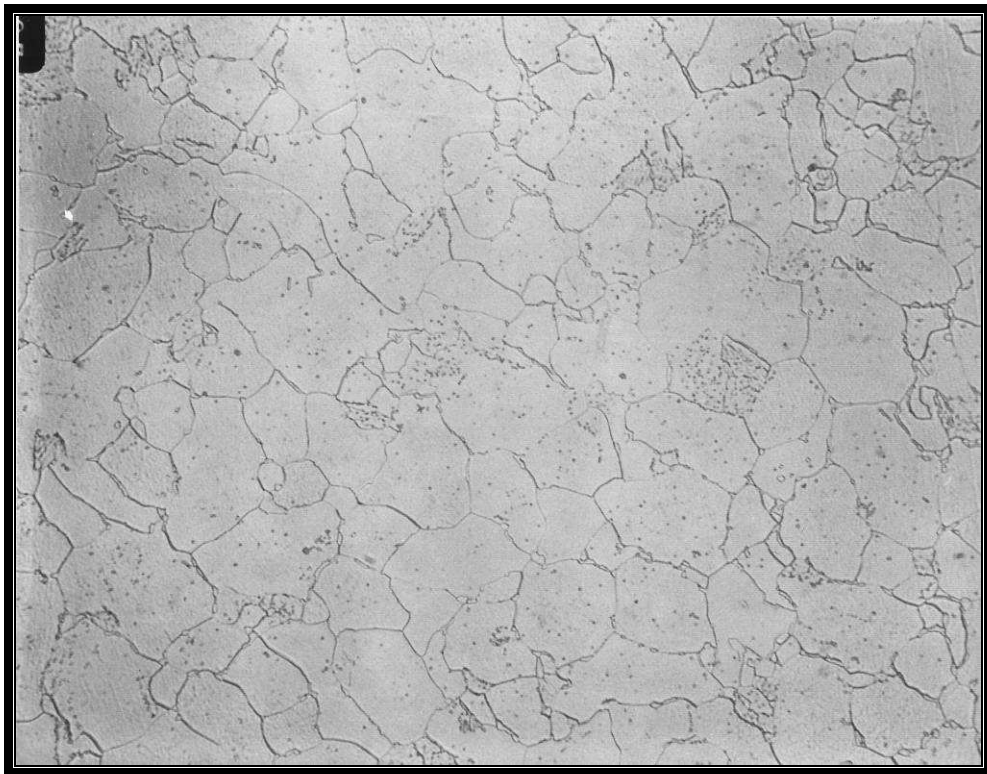


Kuvio 24. Perusmateriaali teräs 13CrMo44. Normaali ferriittis- perliittis- bainiittinen rakenne. Suurennos noin 500X. (Inspecta Oy).





Kuvio 25. Perusrakenne teräs 13CrMo44. Osittain hajaantunut ferriittis- perliittis- bainiittinen rakenne. Suurennos noin 500X. (Inspecta Oy).



Kuvio 26. Perusrakenne teräs 13CrMo44. Hajaantunut ferriittis- perliittis- bainiittinen rakenne. Suurennos noin 500X. (Inspecta Oy).

## Teräs X20CrMoVNb9-1

Runsasseosteinen CrMo-teräs.

Rakenteeltaan martensiittinen.

Sisältää noin 9-12 % kromia, sekä muina seosaineina molybdeenia, vanadiinia, niobia ja volframia.

Käyttökelpoinen 560- 570 °C lämpötilaan asti.

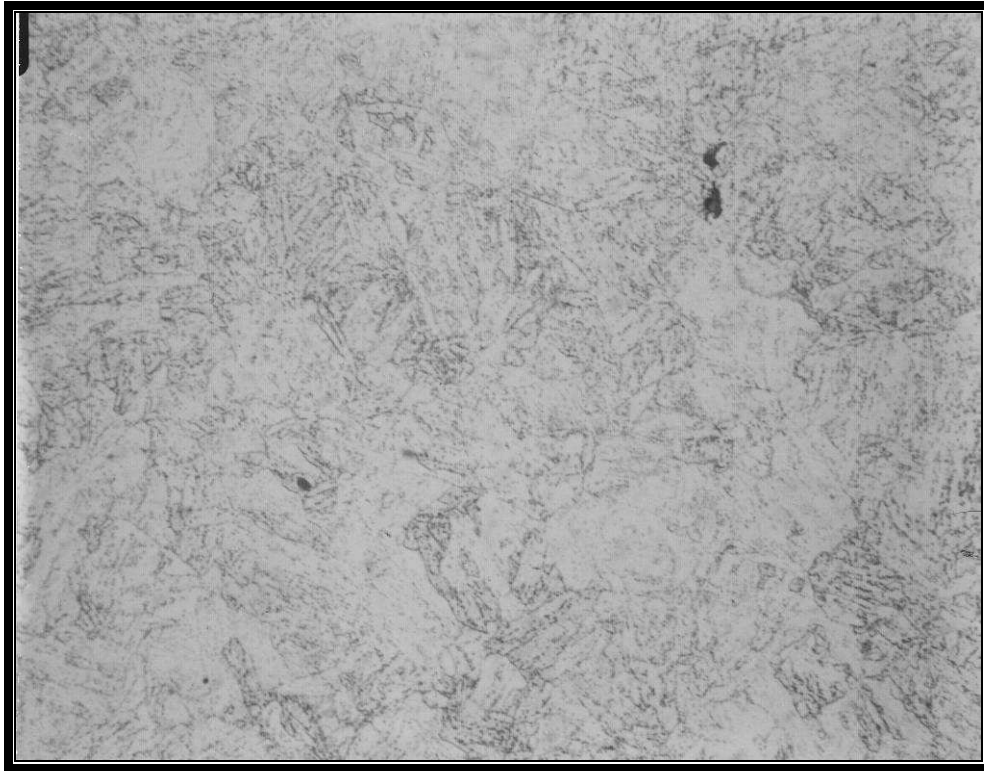
Murtolujuus välillä 690- 840 Rm/N/mm.

Kovuus välillä 215- 262 HV/ 204- 249 HB.

### Mikrorakennekuvat:



Kuvio 27. Perusmateriaali teräs X20CrMoVNb9-1. Normaali martensiittinen rakenne. Suurennois noin 500X. (Inspecta Oy).



Kuvio 28. Perusmateriaali teräs X20CrMoVNb9-1. Hajaantunut martensiittinen rakenne. Suurennos noin 500X. (Inspecta Oy).

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekeminen oli haastava, mutta samalla hyvin mielenkiintoinen ja antoisa prosessi. Materiaalin rajaaminen työn kannalta tuotti varsinkin työn alkuvaiheessa hieman hankaluutta, mutta meni mielestäni lopulta hyvin. Sain ammattitaitoista apua Inspectan elinikäryhmän muilta työntekijöiltä opinnäytetyön tekemisessä.

Tietokantaa ei ollut tarkoitus luoda tämän työn puitteissa, vaan tarkoituksena oli luoda määrittely kyseiselle tietokannalle. Vastaavanlaista tietokantaa, josta löytyy myös vikaantuneita mikrorakenteita ei ole olemassa. Tietokannan luominen ja kehittäminen jatkuu tulevaisuudessakin. Uskon, että tietokannalla säästetään työtunteja työmaalla sekä konttorilla. Työskennellessäni itsekin jatkuvasti erilaisten terästen kanssa, uskon tietokannan helpottavan myös omaa työtäni jatkossa. Tietokanta antaa oivan apuvälineen myös uusien asiantuntijoiden koulutukseen.

Parasta tietokannassa on, että sitä voi käyttää kaikkialta internetyhteyden kautta, ja kaikki tiedot ovat kaikkien käyttäjien saatavilla.

Lähdekirjallisuutta luettaessa sain paljon uutta tietoa eri teräsmateriaaleista ja materiaali-tekniikasta yleensä, josta on varmasti minulle hyötyä tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

Koivisto K, Laitinen E, Niinimäki M, Tiainen T, Tiilikka P, Tuomikoski J. 2004. Konetekniikan materiaalioppi. 10. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Nevalainen, Harri. 1983. Teräskirja. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Valorinta, Veikko. 1982. Koneenrakentajan metallioppi. Tampere: Kustannusyhtymä.

Lindroos V, Sulonen M, Veistinen M. 1986. Uudistettu Miekk- Ojan metallioppi. Helsinki: Otava.

Lukkari, Juha. Hitsaustekniikka- lehti. 2009. n:o 1. 39- 44. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.

Lukkari, Juha. Hitsaustekniikka- lehti. 2004. n:o 4. 10- 33. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.

### Sähköinen julkaisu

Inspecta Oy:n internetsivut.

Saatavissa: [www.inspecta.com /fi/Tietoa-Inspectasta/#.UZDql0rTKiM](http://www.inspecta.com/fi/Tietoa-Inspectasta/#.UZDql0rTKiM). Luettu 13.5.2013.

### Julkaisemattomat lähteet

Nikkarila, Reino. Rikkomaton aineenkoetus. 2002. Inspecta Oy.

Salonen, Jorma. Kattilateräkset. 2011. VTT. Espoo.

MOVIPOL- kiillotuskoneen käyttöohje. Struers.