

Helena Hämölä

NÄYTTEENVALMISTUKSEN VAIKUTUS KOVUUSMITTAUSTULOKSIIN

Hiiletyskarkaistu teräs

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Huhtikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Helena Hämölä: Näytteenvalmistuksen vaikutus kovuusmittaustuloksiin
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikka
Huhtikuu 2023

Teräksen kovuusmittaus on tärkeä osa monen terästuotteen valmistamista, sillä mittauksen avulla varmistetaan valmiin tuotteen laatu. Tässä työssä tutkitaan hiiletysteräksiä 18CrNiMo7 ja AISI8620 sekä niiden kovuusmittausarvoja. Näytteiden kovuusprofiili vaihtelee 350–700 Vickersin kovuusyksikön (engl. Hardness Vickers, HV) välillä ja näytteet on hiiletyskarkaistu 1,2–2,8 millimetrin syvyydelle. Laboratoriossa 1 näytteitä tutkitaan päivittäin, joten mittaus on hyvin rutiininomainen. Työtä tutkitaan, koska huomattiin eri laboratorioiden välille syntyvän eroja kovuusmittaustuloksissa. Työn tavoitteena on selvittää, mistä johtuvat kovuusmittauskokeen tulosten erot eri laboratorioiden välillä.

Työssä on kaksi isompaa kokonaisuutta. Kirjallisuustutkimusosuudessa käsitellään kovuusmittausta ja näytteenvalmistuksen vaiheita. Jokainen vaihe ja niihin liittyvät muuttujat on käyty läpi ja pohdittu millaisilla tavoilla ne voidaan suorittaa. Lisäksi on käsitelty tarkemmin Vickersin kovuusmittaus sekä siihen liittyvät virhemuuttujat käyttäen apuna standardia ISO 6507-1 *Metallien Vickersin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä*. Kokeellisessa osiossa kerrotaan, miten eri menetelmien testaus on toteutettu ja mitä tuloksia kokeista saatiin.

Tuloksista havaitaan, että lähtötilanteessa kovuusarvoille syntyi jopa 60 HV:n ero eri laboratorioiden välillä. Erot syntyivät hiontavaiheessa, jossa lähtötilanteessa hiontaparametrien välillä oli suuria poikkeavuuksia. Ennen kokeiden suorittamista laboratoriossa 1 näytteitä hiottiin 5 minuuttia hyvin karkeilla laikoilla, kun taas laboratoriossa 2 näytteitä hiottiin vain minuutti ja laikkojen karkeudet eivät olleet niin kovia. Laboratorion 1 tulokset olivat kovuusarvoltaan paljon suurempia kuin laboratoriossa 2. Referenssipalan avulla varmistuttiin siitä, että erot aiheutuivat laboratorion 1 hiontamenetelmästä, joka antoi liian kovia tuloksia. Loppua kohti parametreja muutettiin niin, että laboratorioissa käytettiin lähes saman karkeitä hiomalaikkoja, laikkoja oli enemmän hionnan aikana ja hionta-ajat olivat samat. Tutkimuksessa huomattiin myös, että laboratoriossa 1 koneella hiominen vaikutti tuloksiin, sillä laboratoriossa 2 saatiin pehmeämpiä tuloksia osittain myös käsin hiomisen vaikutuksesta. Kun kokeet suoritettiin uudelleen, oli eroa enää 5 HV:ta. Tulosten perusteella laboratorion 1 menetelmää muutettiin samankaltaiseksi kuin laboratoriossa 2, mikä johti tulosten paranemiseen.

Avainsanat: Kovuusmittaus, näytteenvalmistus, hiiletyskarkaisu, HV, hionta

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty tutkimustyönä osana Tampereen Yliopiston materiaalitekniikan kandidaatin tutkintoa. Työssä perehdytään kovuusmittaukseen ja näytteenvalmistukseen sekä mittaustulosten eroavuuksiin. Työ oli mielenkiintoinen ja hyvin opettavainen, niin materiaaliteknisesti kuin oman kirjoitustaitoni kannalta.

Suuri kiitos työn ohjaamisesta ja tarkastamisesta Juha Nykäselle, jolla oli aina vastauksia, vaikka en tiennyt kysymyksiä. Osasit auttaa eteenpäin, kun meinasin jumittua, apu oli korvaamatonta. Kiitos myös ystäväilleni, erityisesti Miralle ja Patrikille, joiden kanssa sain työn sujuvasti aluille. Karvakamuja unohtamatta, kiitos myös kaikille kiisuille, joita näin prosessin aikana.

Tampereella, 7. huhtikuuta 2023

Helena Hämölä

SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto	1
2.	Kovuusmittaus.	2
2.1	Näytteenvalmistus	2
2.1.1	Leikkaus	3
2.1.2	Aihioon valaminen	4
2.1.3	Hionta	5
2.1.4	Kiillotus	7
2.2	Vickersin kovuusmittaus	8
2.3	Mittauksen tarkkuus.	10
2.4	Virhemuuttujat	11
2.4.1	Mittauslaite	11
2.4.2	Ulkoiset tekijät	11
3.	Kovuuskokeet	13
3.1	Koejärjestelyt	13
3.2	Mittaustulokset.	15
3.2.1	Ensimmäiset mittaukset	15
3.2.2	Leikkausvaiheen vaikutus.	18
3.2.3	Aihioon valamisen vaikutus	18
3.2.4	Hiontavaiheen vaikutus.	19
3.2.5	Referenssipala	22
3.2.6	Viimeiset mittaukset	23
4.	Tulokset	25
5.	Yhteenveto	26
	Lähteet	28

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ASTM	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö
HRC	Rockwellin kovuus
HV	Vickersin kovuus
ISO	Kansainvälinen standardointiorganisaatio
MD-laikka	Timanttihiontalaikka
N	Newton
SFS	Suomen standardisoimisliitto
SiC	Piikarbidipaperi

1. JOHDANTO

Kovuusmittaus on yksi materiaalitekniikan keskeinen tutkimusmenetelmä, jonka avulla saadaan tietoa materiaalin ominaisuuksista. Menetelmiä on erilaisia riippuen siitä, mitä on tarkoitus tutkia. Tässä työssä keskitytään Vickersin kovuusmittausmenetelmään hiiletyskarkaistulle teräkselle ja mittauksen tuloksiin vaikuttaviin tekijöihin.

Tutkimustyö on alkanut tilanteesta, jossa samasta näytepalasta saatiin eri tuloksia eri laboratorioiden välillä. Tulosten eroavuus oli yllätys, jota ei oltu osattu odottaa. Tutkimukseen otettiin mukaan kolmas osapuoli mittaamaan samat näytteet, jotta tuloksista saataisiin parempi otos. Kolmas osapuoli sai samoja tuloksia kuin toinen alkuperäisistä laboratorioista, joten tarkoitus on selvittää, miksi yhden laboratorion tulos eroaa muista ja mikä aiheuttaa erojen syntymisen. Syyn selvittyä laboratorioiden näytteenvalmistustapoja saa parannettua ja mittaustulokset ovat luotettavampia.

Tutkimus on toteutettu pääosin laboratoriossa, jossa tulokset olivat muista poikkeavat. Erojen selvittämiseksi on käytetty sekä alkuperäisiä näytteitä että uusia näytteitä, joiden avulla on suljettu pois mahdollisia muuttujia. Loppuvaiheessa tutkimuksia mittaauksia tehtiin myös toisessa laboratoriossa ja näin todennettiin erojen syy.

Kovuusmittaus on monivaiheinen tutkimus, jossa pienilläkin asioilla voi olla suuri merkitys. Näytteenvalmistuksen eri vaiheet ja niiden vaikutukset lopputulokseen ovat olleet keskeisiä tutkimuksen aikana. Sulkemalla eri vaihtoehtoja pois on saatu tietoon vaihe, jossa erot mitä todennäköisimmin syntyvät. Aihe on mielenkiintoinen, koska lopputulos muuttuu hyvin herkästi eri vaiheiden vaikutuksesta.

Työn tärkeimpiä lähteitä ovat kovuusmittauksiin liittyneet standardit sekä näytteenvalmistukseen liittyvät oppaat. Työssä käytetään Vickersin kovuusmittausmenetelmää, joten standardin SFS-EN ISO 6507 Metallien Vickersin kovuuskoe eri osat ovat olleet apuna työn tekemisessä. Lisäksi tärkeitä aineistoja ovat olleet sekä Struersin että Buehlerin oppaat näytteenvalmistukseen ja myös ASTM:n standardit, kuten Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.

2. KOVUUSMITTAUS

Kovuusmittaus on materiaalitekkinen tutkimusmenetelmä, jossa tutkittavaan materiaaliin painetaan mittauskärjellä jälki, jonka avulla lasketaan materiaalin kovuus. Materiaalista riippuen menetelmiä ja samalla myös kovuusyksiköitä on monta erilaista. Metalleille käytetään yleensä Rockwellin, Brinellin, Vickersin tai Knoopin menetelmää. Näistä Rockwellin menetelmä eroaa muista, sillä siinä kovuus mitataan mittausjäljen syvyyden avulla. Muiden menetelmien kohdalla kovuus määritetään jäljen optisen suuruuden perusteella. [1, s. 1]

Kovuuden mittaaminen on yksi metallografisista tutkimusmenetelmistä, joiden tarkoituksena on selvittää materiaalin ja sen seosten rakenne [2, s. 1]. Kovuusmittauksia tehdään, jotta saadaan tietää materiaalin kovuus. Kovuuden avulla taas saadaan tietoa esimerkiksi siitä, miten materiaali käyttäytyy rasituksessa.

Kovuusmittausten avulla varmistetaan valmistetun tuotteen laatu. Mikäli tulos poikkeaa standardin mukaisista arvoista, voidaan päätellä valmistuksen epäonnistuneen. Jokaiselle kovuusmittausmenetelmälle on oma standardinsa, jonka mukaan mittaus tulee suorittaa. Tässä työssä on käytetty standardia SFS-EN ISO 6507 Metallien Vickersin kovuuskoe, joka keskittyy Vickersin kovuusmittaukseen.

Tässä luvussa käsitellään kovuusmittausta näytteenvalmistuksen alusta mittauksen loppuun asti sekä käydään tarkemmin läpi Vickersin menetelmän periaatteet ja virhemuuttajat.

2.1 Näytteenvalmistus

Kovuusmittauksen yksi tärkeimpiä vaiheita on näytteenvalmistus. Näytteenvalmistuksessa on monta vaihetta, jotka tulee suorittaa mahdollisimman tarkasti hyvän näytteen aikaansaamiseksi. Teollisessa tutkimuksessa näytteenvalmistus tapahtuu pitkälti erilaisten laitteiden avulla, jolloin lopputulos on tasalaatuista eri näytteiden kohdalla. Näytteenvalmistuksessa on yleensä seuraavat vaiheet:

- sopivan kokoisen näytteen leikkaaminen aihioista
- näytteen valaminen aihioon
- hionta

- kiillotus
- puhdistus.

Jokaisessa vaiheessa on oltava tietoinen siitä, millaista näytettä käsittelee, jotta ei tuhoa sen tutkittavia ominaisuuksia. Esimerkiksi valmisteltaessa mitattavaa pintaa on tärkeää, ettei näytepinta vaurioidu tai kuumene. Lämpötilan muuttuessa materiaalin pintakovuus voi muuttua ja aiheuttaa virheellisen mittaustuloksen [3, s. 9].

Standardeissa on määritelty näytteenvalmistuksen vaiheet ja tavat, joilla eri vaiheet tulisi suorittaa. Materiaalista riippuen niin vaiheet kuin itse mittausskin eroavat merkittävästi toisistaan. Samoin myös näytteelle on erilaiset vaatimukset menetelmän mukaan.

2.1.1 Leikkaus

Näyte usein leikataan käyttäen hiomaleikkuria, johon voi asettaa näytteelle sopivan leikkaulaikan. Laikkoja on erilaisia eri tarkoituksiin. Buehlerin oppaan mukaan eroavaisuuksia löytyy abrasiivien määrästä sekä sidosten lujuudesta. [4, s. 9] Oppaassa kerrotaan myös, että materiaalin kovuuden kasvaessa abrasiivit tylsistyvät nopeammin ja tällöin sidoksien tulee katketa ja vapauttaa uusia partikkeleita, jotta leikkauksen tehokkuus säilyy. Kuvassa 2.1 on leikkauskone, johon on kiinnitetty näyte. Näytteen saa kiinnitettyä laitteeseen monella tavalla, joten näyte voi olla hankalankin muotoinen.

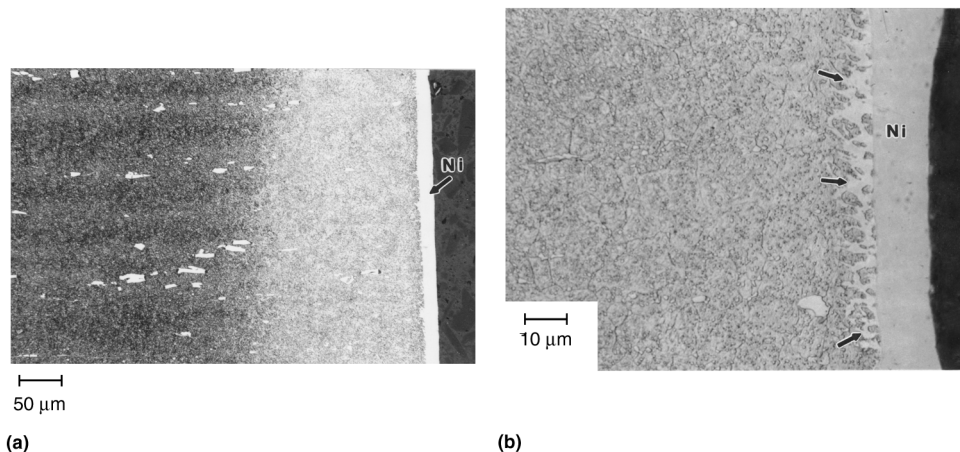


Kuva 2.1. Leikkauskone ja siihen kiinnitetty putkimainen näyte [5].

Laikan paksuudella ja halkaisijalla on myös merkitystä, samoin kuin leikkausnopeudella ja paineella. Näitä arvoja saa useimmiten vaihdettua leikkauskoneen asetuksista. Paksummat laikat aiheuttavat enemmän kuumenemista kuin ohuet laikat. Buehlerin ohjeen mukaan leikkauksen aikana tulee käyttää leikkuunestettä sekä vettä, jotta näyte ei kuumene ja vaurioidu, ja samalla neste myös estää korroosiota. [4, s. 9] Ohjeessa myös sanotaan, että jos leikkauksen aikana tapahtuu liiallista kuumenemista, voi se johtaa näytteen

pehmenemiseen, karkenemiseen, faasimuutoksiin tai pahimmillaan jopa palamiseen tai sulamiseen. Leikkauksen jälkeen optimaalisessa tilanteessa näytteen pinta on tasainen ja se ei ole vaurioitunut leikkauksen aikana.

Jos nestettä ei ole tarpeeksi tai ollenkaan leikkauksen aikana, voi näytteen rakenne muuttua. Kuvassa 2.2 on esimerkki vaurioituneesta näytteestä [6, s. 503]. Näkyvillä on kaksi mikroskooppikuvaa, lähempää sekä kauempaa otetut kuvat. Kuvassa on A2 työkaluterästä, joka on karkaistu ja päästetty, ja sen jälkeen leikattu ilman nesteitä. Kuvat ovat otettu näytteen pinnasta kauempaa ja lähempää. A) kohdassa näkyy noin 0,22 millimetrin syvyyteen ulottuva vaalea kerros, jonka kovuus on noin 62,5 HRC. Alue on austenisoiutunut kuumentumisen seurauksena. Sen jälkeen tulee tummempi alue, jossa kovuus on 53–56 HRC, eli pehmeämpää kuin pinnalla. Vasta tämän jälkeen alkaa alue, joka ei ole vaurioitunut leikkauksen aikana. B) kohdassa taas näkyy palamisen aiheuttama kaistale, joka ulottuu 10 μm :n syvyyteen. Sen jälkeinen vaalea alue sisältää martensiittia, joka on muodostunut kuumentumisen seurauksena. Sen jälkeen tuleva viimeinen kerros on kuumentunut enemmän kuin karkaisun aikana. Pinta on syövytetty nitaalilla ja näytteissä on käytetty nikkeliä estämään reunan pyöristymisen.



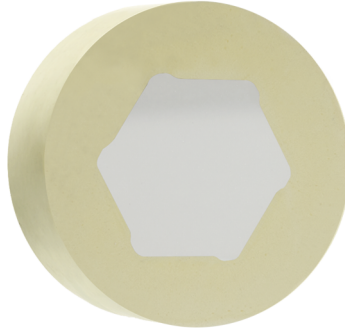
Kuva 2.2. Mikroskooppikuvia karkaistun ja päästetyn työkaluteräksen leikkauspinnasta [6, s. 503].

Jos leikkaus olisi onnistunut oikein, ei pinnassa olisi palanutta kerrosta, eikä pinta olisi näin austeniittinen. Siksi leikkausvaiheen onnistuminen on tärkeä osa koko kokeen onnistumisessa.

2.1.2 Aihioon valaminen

Leikkauksen jälkeen näytepallo usein valetaan aihioon, jotta sen käsittely on helpompaa tulevaisissa vaiheissa. Jos näyte on sopivan kokoinen ja muotoinen, sitä ei välttämättä tarvitse valaa ollenkaan. Usein kuitenkin näytteet ovat pieniä tai erikoisen muotoisia, jolloin valaminen on välttämätön toimenpide [7, s. 71]. Valamiseen voi käyttää montaa eri mate-

riaalia riippuen siitä millaiset ominaisuudet näytteelle vaaditaan. Yleisimmät valumenetelmät ovat paineen ja lämpötilan avulla tehty kuumamuovitus tai esimerkiksi akryylillä tehty kylmävalu. Kuumamuovituksella tehtäessä näyte asetetaan muovituslaitteen sylinteriin ja päälle asetetaan jauhemaista polymeerimateriaalia. Paineen ja kuumuuden avulla polymeeri sulatetaan näytteen ympärille. Kylmävalussa taas sekoitetaan jauheesta ja nesteestä sekoitus, joka kaadetaan näytteen päälle aihioon. Kuvassa 2.3 on akryyliin valettu näyte, joka on tehty kylmävalulla.



Kuva 2.3. Akryyliin kylmävalettu näyte [8].

Tarvittavan ajan kuluttua sekoitus on kovettunut näytteen ympärille ja sitä voidaan alkaa jatkokäsitellä. Valamisen avulla näytteistä saadaan samanmuotoiset, jolloin niitä on helpompi asettaa hiontakoneeseen. Kuvan 2.3 näyte on alun perin ollut kuusikulmion muotoinen, mutta näyte on valettu ympyrän muotoiseen aihioon ja nyt itse näyte onkin kappaleen keskellä. Tällöin näytettä on helpompi käsitellä eikä sen reuna leviä kovuusmittauksen aikana. Ennen akryyliä on voitu käyttää nikkeliä estämään reunan leviäminen, mutta sitä tekniikkaa ei enää nykyisin paljoa käytetä.

Kuumamuovituksen ja kylmävalun eroina on esimerkiksi valmistelu-aika. Kuumassa tehtävä painemuovitus kestää 5–15 minuuttia ja kylmävalun taas tulee antaa kuivua ainakin puoli tuntia. Lisäksi kuumassa lämpötilassa näytteeseen saattaa syntyä vaurioita liian kovan paineen takia [2, s. 4]. Kuumamuovituksessa lämpötilan tulee olla 140–180° C ja voiman 27–30 MPa. Käsitelyn jälkeen lämpötila täytyy laskea 40 asteeseen, jotta muoviaine ehtii jäähmettyä näytteen ympärille ja samalla minimoidaan kuilun muodostuminen näytteen ja muovin välille. [2, s. 4] Tässä tutkimuksessa voisi käyttää kumpaakin tapaa, sillä lämpötila ei nouse niin korkeaksi että se vaikuttaisi näytteeseen.

2.1.3 Hionta

Hiontavaiheessa näytteen pinta hiotaan mittausta varten tasaiseksi ja naarmuttomaksi, jotta mittausjälkeä on helppo tulkita. Kun näyte on hiottu, sitä metallurgiassa usein kutsutaan hieksi. Hiomisessa voi käyttää eri karkeusasteisia hiontalaikkoja, joiden avulla näytteen pinnasta saadaan sitä hienojakoisempi mitä hienompia laikkoja käytetään. Täs-

sä tutkimuksessa käsitellään hiiletyskarkaistua terästä, jonka kovuus on 700 HV:n luokkaa. Standardin [3] mukainen hiontaprosessi alkaa karkeasta hiomapaperista, jonka tarkoituksena on poistaa edellisten vaiheiden vaikutukset eli tässä tapauksessa näytteen leikkaamisesta muodostuneet epätasaisuudet [7, s. 93]. Kun näytteen pinta on tasainen, voi pintaa hioa hienommalla paperilla, jolloin pinnasta saadaan hienojakoisempi. Tavallinen hiomaproseessi suoritetaan käyttäen 120-, 240-, 320-, 400- ja 600-karkeuksisia pape-reita [7, s. 93]. Vaihdettaessa toisesta karkeudesta toiseen näyte tulee pestä ja kuivata välissä, jotta vältetään epäpuhtauksien vaikutus hiomiseen. Hionta-ajat ovat 1–2 minuut-tia per hiontalaikka [9, s. 672].

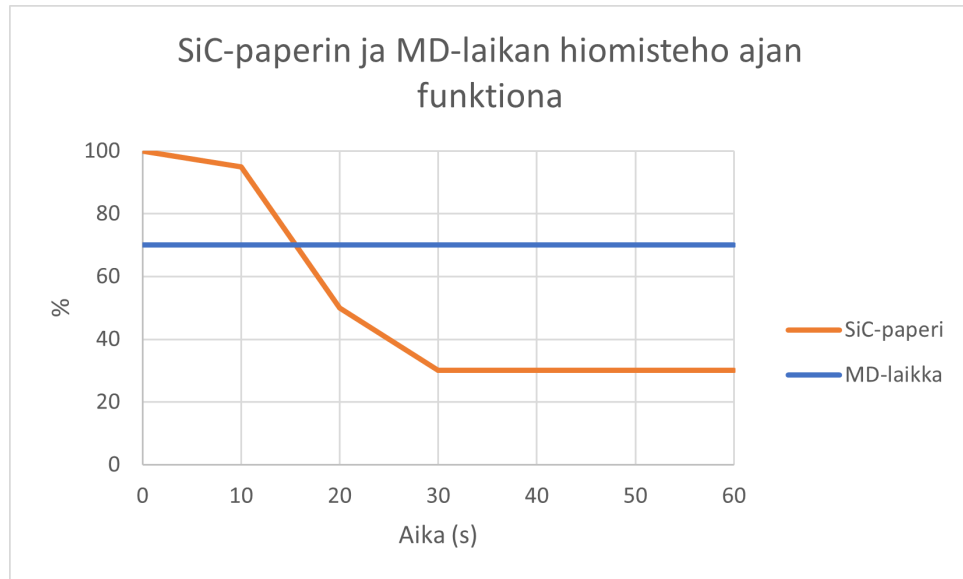
Hiomisen voi tehdä automaattikoneella tai käsin. Käsin hiomalla hiojalla on vaikutusta lopputulokseen. Automaattikoneella taas tulee tasaista jälkeä, mutta näytteenpidin voi olla erilainen riippuen näytteiden määrästä. Kuvassa 2.4 on yksi esimerkki hiontakoneesta. Tässä mallissa on sekä automaattipuoli että käsihiontapuoli.



Kuva 2.4. Hiontakone, jossa sekä automaatti- että käsihionta mahdollisuus [10].

Jos on tarkoitus hioa monta näytettä samaan aikaan, voidaan käyttää keskivoimaista näytteenpidintä, joka kohdistaa joka näytteeseen saman yhteisen voiman. Nykyään käytetään kuitenkin enimmäkseen yksittäisvoimaisia laitteita, jotka kohdistavat joka näytteelle oman voiman.

Hiomalaikkoja on monia erilaisia. Voidaan käyttää kertakäyttöisiä SiC- eli silikonikarbidi-papereita tai monikäyttöisiä timanttihionta laikkoja eli MD-hiomalaikkoja. Kuvassa 2.5 näkyy miten MD-laikka poistaa näytteestä tasaisesti pintaa hionnan aikana, kun taas SiC-paperilla suurin pinnan hioutuminen tapahtuu ensimmäisten 20 sekunnin aikana.



Kuva 2.5. SiC- ja MD laikkojen hiomisteho hionnan aikana. Kuvaaja perustuu lähteeseen [11].

SiC-paperia suositellaan käytettäväksi vain kerran ja MD-laikkoja voi käyttää useita kertoja. Molempien kanssa tulee käyttää liukastetta, usein vettä, mutta etenkin MD-laikkojen kanssa voidaan käyttää myös muuta hiontanestettä.

2.1.4 Kiillotus

Hiomisen jälkeen näyte kiillotetaan, jotta pinnasta saadaan tasainen ja naarmuton. Kovuusmittausmenetelmästä riippuen pinnalla on erilaisia vaatimuksia. Esimerkiksi Rockwellin mittaus ei vaadi niin tasaista pintaa kuin Vickersin mittaus [1], jota käytetään tässä tutkimuksessa. Rutiinitutkimuksiin ei välttämättä tarvita täysin naarmutonta pintaa, mutta mahdollisten naarmujen tulee aina olla pieniä ja eri kohdissa, jotta pinnan todellista rakennetta voidaan tutkia [7, s. 101]. Kiillottamisessa käytetään timanttisuihketta, jolla on myös eri karkeuksia. Timanttisuihkeen karkeus riippuu hiomaprosessin tarkkuudesta. Hienon hiomisen jälkeen käytetään hienompaa timanttisuihkettä kuin karkean hiomisen jälkeen [7, s. 102]. Timanttisuihkeen lisäksi kiillotukseen tarvitaan kiillotuslaikka ja toinen voiteluaine, joka usein on etanoli. Timanttisuihkettä ei tarvitse lisätä kiillotuksen aikana, mutta etanolia tarvitsee, jotta kiillotuslaikka ei kuivu liikaa kiillotuksen aikana.

Kiillotuskankaita sekä suihkeita on erilaisia. ASM:n metallografisen tekniikan vaurioanalyysioppaan [6, s. 506] mukaan kankaiden tulee säilyttää kiillotusaine, olla pitkäikäisiä ja poistaa naarmuja aiheuttavat materiaalit, jotta ne olisivat hyviä kankaita. Kiillotusta varten on olemassa monia kankaita, joilla on erilaisia ominaisuuksia. Kun hiotaan timanttisuihkeen kanssa, oppaan mukaan suositellaan käytettäväksi nukattomia tai vähänukkaisia kankaita.

Hiomasuihkeena voi ASM:n oppaan mukaan yleensä toimia timanttisuihke, alumiinioksidi

tai piioksidi [6, s. 507]. Joillekin erikoisemmille materiaaleille voidaan käyttää serium-, kromi-, magnesium- tai rautaoksidia, mutta oppaassa sanotaan tämän olevan harvinaista. Kovuusmittausten yhteydessä käytetään yleensä eri karkeisia timanttisuihkeita riippuen siitä, mikä on näytteelle vaadittu lopputulos.

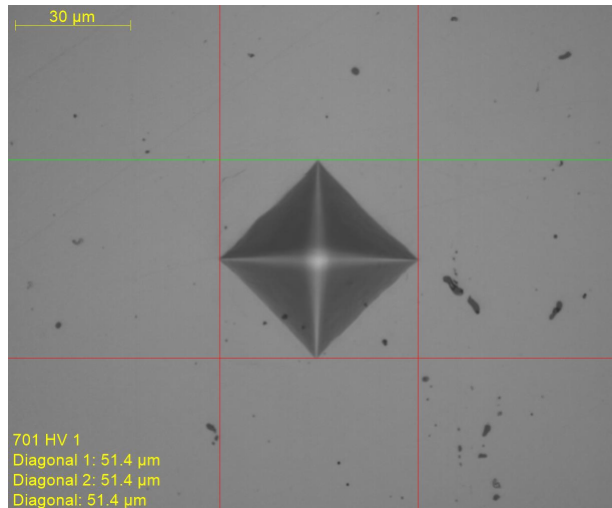
2.2 Vickersin kovuusmittaus

Vickersin kovuusmittaus on monipuolinen kovuusmittausmenetelmä. Vickersin menetelmällä voidaan mitata kovuutta sekä makro- että mikrotasolla, jossa menetelmä onkin parhaimmillaan. Menetelmä sopii monelle eri materiaalille ja kovuudelle, ja onkin soveltuva menetelmä myös hiiletyskarkaistujen näytteiden hiiletysyvyvyyden mittaamiseen, mitä käytetään tämän työn tutkimuksessa.

Hiiletyskarkaisussa tavoitteena on muodostaa kappaleelle kovempi pinta ja parempi väsymiskestävyys [12, s. 314]. Käytännössä tarkoitus on lisätä kappaleen kulutuksenkestoa, mutta samalla säilyttää muut tärkeät ominaisuudet käytön kannalta, kuten sitkeys ja lujuus. Hiiletyskarkaisussa teräskappaletta hehkutetaan austeniittialueella hiiltä luovuttavassa väliaineessa. Hiiletysyvyvyys riippuu siitä miten kauan karkaisuprosessia jatketaan. [13, s. 171] Kovuusmittauksessa mitataan kovuusgradientti, joka mittaa samalla sekä pintakovuuden että karkaisun syvyyden.

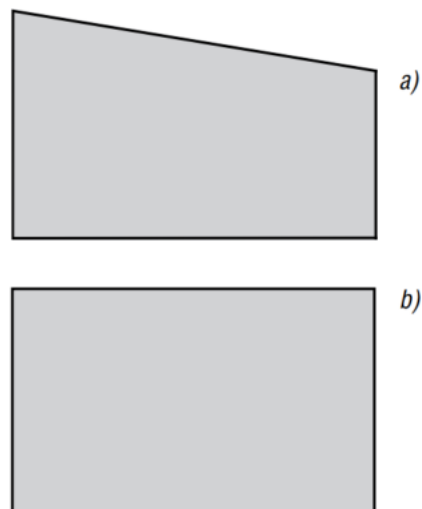
Vickersin menetelmän käyttäminen on helpompaa kuin muiden kovuusmittausmenetelmien, sillä samalla mittauskärjellä voidaan mitata monta eri materiaalia ja monella eri painolla [1, s. 5]. Käytetty paino riippuu lähinnä siitä, mitä on tarkoitus mitata ja millä tarkkuudella. Mittaus alkaa siitä, että mittalaitteeseen asetetaan hyvin valmisteltu näyte kohtisuoraan mittauskärkeä kohti. Mittalaite on usein hyvin automatisoitu, joten sen avulla saadaan näytteen reuna tarkennettua niin että mittaus lähtee oikeasta kohdasta. Laitteen mittausasetuksista asetetaan oikeat mittaparametrit, eli valitaan kuorma sekä määritetään mittapisteyden etäisyydet toisistaan. Tarvittaessa voidaan mitata myös yksittäisiä pisteitä.

Mittauksen jälkeen laite tarkentaa mittausjälkeen, joka näyttää kuvan 2.6 mukaiselta. Kuvan jälki on onnistunut ja siitä on helppo laskea kovuusarvo.



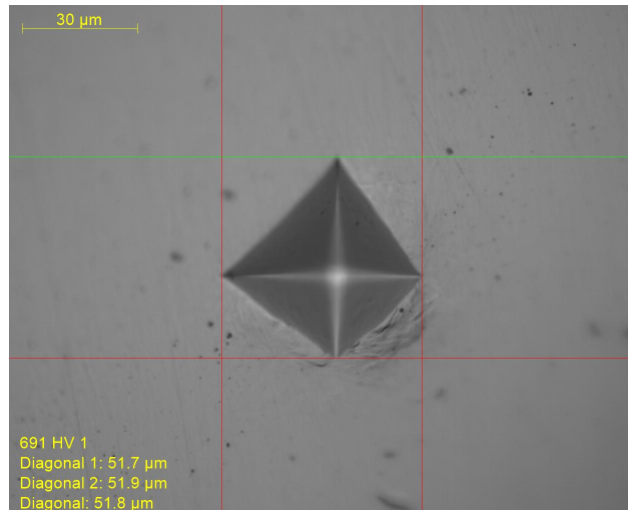
Kuva 2.6. Esimerkki hyvästä kovuusmittausjäljestä.

Menetelmä on tarkka, mutta se myös vaatii hyvin valmistellun näytteen. Tärkeä osa näytteenvalmistuksessa on tasaisen pinnan saaminen. Jos pinta on vino, myös mittausjäljestä tulee epätasainen ja tällöin se aiheuttaa virhettä tulokseen. Kuvassa 2.7 on esimerkki näytteistä, joissa näkyy ero tasaisen ja vinon näytteen välillä. Kuvan a) kohdassa pinta on selkeästi vino, jolloin se aiheuttaa mittaukseen virheen. Sen sijaan kuvan b) kohdassa näyte on tasainen, ja näin ollen virhettä ei synny ainakaan näytteen vinouden vuoksi.



Kuva 2.7. Esimerkki sekä vinosta että suorasta näytteestä.

Kovuusarvo lasketaan jäljen diagonaalien avulla. Kuvassa 2.8 on esitetty huono mittausjälki, josta kovuuden arvon määrittäminen on epätarkempaa. Jälkien diagonaalit saavat erota prosentuaalisesti toisistaan 5 %, jotta tulosta voidaan pitää luotettavana [1, s. 10]. Tietokoneet laskevat kovuuden valmiiksi suoraan mittausjäljen perusteella.



Kuva 2.8. Esimerkki huonosta kovuusmittausjäljestä.

Kuten kuvasta 2.8 nähdään, on kyseisen näytteen pinta ollut vino ja jäljestä on tullut hyvin leijamainen. Diagonaalit eivät prosentuaalisesti eroa toisistaan paljoa, mutta paljaalla silmällä voidaan huomata jäljen heikko laatu. Myös kuvan syväterävyys on huono kuvan ollessa monessa tasossa. Tässä tapauksessa mittaustulosta ei voida pitää täysin luotettavana. Sen sijaan kuvassa 2.6 jälki on onnistunut ja mittaustulosta voidaan pitää sen osalta luotettavana. Diagonaalit ovat kohdillaan, ja jälki näyttää siistimmältä kuin huonon jäljen kuvassa. Nämä jäljet on tehty samaan näytteeseen ja vaikka jälkien laadut ovat hyvin erilaiset, ovat kovuustulokset vain 10 HV:n erotuksella toisistaan. Kuvien avulla voidaan todeta, että vaikka tietokone tekee laskelmat jäljen kovuudesta, tulee mittajaan tarkistaa tulos ennen sen lähettämistä eteenpäin.

Kovuusmittaukset tulee mitata niin, että jälki on vähintään 2,5 kertaa jäljen lävistäjien keskiarvon etäisyydellä näytteen reunasta. Samoin kahden peräkkäisen jäljen keskipisteiden tulee olla 3 kertaa lävistäjien keskiarvon etäisyydellä toisistaan. [3, s. 11-12] Jos jäljet ovat liian lähellä toisiaan, tulee mittaussarjaa muuttaa. Jälkien sijainnin voi määrittää ennen mittauksen alkua niin, että ne menevät ristikkäin tarpeeksi kaukana toisistaan. Tämän voi tehdä liikuttamalla mittapisteitä y-akselin suuntaisesti pelkän x-akselin sijaan.

2.3 Mittauksen tarkkuus

Mittaustulokset ovat tarkkoja ja muuttuvat merkittävän paljon jo pienellä muutoksella. Tämän vuoksi myös virheiden syntyminen on helppoa. Standardin [3, s. 8] mukaan kovuusmittaustulos lasketaan kaavalla

$$HV = \frac{1}{g_n} \times \frac{2 \times F \times \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}, \quad (2.1)$$

jossa HV on Vickersin kovuus, g_n on painovoimasta johtuva kiihtyvyyssvakio, F on koevo-

ma newtoneina (N), α on paininkärjen vastakkaisten sivutahkojen välisen kulman keskiarvo ja d on lävistäjien aritmeettinen keskiarvo. Tällä kaavalla saadaan hyvin tarkka tulos kokeesta. Usein käytetään hieman epätarkempaa kaavaa, jossa sijoitettavat arvot ovat yksinkertaisempia. Kovuuden likiarvo saadaan kaavalla

$$HV \approx 0,1891 \times \frac{F}{d^2}, \quad (2.2)$$

jossa HV on Vickersin kovuus, F on koevoima newtoneina (N) ja d on lävistäjien aritmeettinen keskiarvo [3, s. 8]. Käytännön esimerkkinä mittaustarkkuudesta voidaan ajatella, että henkilö 1 asettaa diagonaalin pituudeksi $50 \mu\text{m}$ ja henkilö 2 taas $52 \mu\text{m}$. Tällöin lopputulos muuttuu merkittävästi, vaikka muutos on määrällisesti hyvin pieni. Kaavan (2.2) perusteella tulos eroaa 2 % $2 \mu\text{m}$:n muutoksella. Jos kovuudeksi mitataan $700 HV$, niin 2 % heitto tarkoittaa $14 HV$:n muutosta. Tällaisen muutoksen saa aikaan siirtämällä tietokoneen näytöllä näkyvän jäljen diagonaaliiviivoja yhden painalluksen verran sivuun. Ihmissilmästä riippuen sama jälki voidaan tulkita monella eri tapaa, vaikka itse jälki ei muutu.

2.4 Virhemuuttujat

2.4.1 Mittauslaite

Mittauslaitteelle on olemassa vaatimuksia, joiden tulee täytyä, jotta tulos on standardien mukainen. Tällaisia vaatimuksia ovat:

- aika, jossa testivoima saavutetaan, saa olla enintään 10 sekuntia
- mittauskärjen on kosketettava näytettä $15\text{--}70 \mu\text{m}/\text{s}$ nopeudella
- testivoima kohdistetaan näytteeseen 10–15 sekunnin ajaksi
- mittauskärjen tulee olla pyramidin mallinen ja tahkojen kulmien pitää olla $136^\circ 0'$. [14, s. 4-5]

Näytteeseen painetun mittausjäljen perusteella lasketaan kovuus. Sitä varten tulee valita sopiva mikroskooppilinssi kuvan mittaamista varten. Oikean linssin ja sopivan valotuksen avulla kuvasta tarkennetaan jäljen jokainen kulma ja asetetaan kulmiin merkit diagonaalien pisteiksi. Jos jälki ei ole tarkennettu oikein, voi se muodostaa epätarkkuutta tulokseen.

2.4.2 Ulkoiset tekijät

Ennen koetta näyte tulee asettaa standardin mukaisesti jäykälle alustalle niin tukevasti, että se pysyy paikoillaan koko kokeen ajan. Tukipintojen tulee olla puhtaat ja kestävä.

Kokeen aikana laitteen ja alustan, jolla laite on, tulisi pysyä paikoillaan eikä altistua esimerkiksi ulkoisille iskuille tai värinäille. [3, s. 11] Myös mittaajan on hyvä pysyä erossa laitteesta mittauksen ajan, jotta ei aiheuta värinää laitteelle. Jäljen mittauksessa on aina mahdollisuus virheelle, vaikka tietokone tekisi laskelmat valmiiksi. Välillä näytteeseen jää likaa tai naarmuja, jotka voivat aiheuttaa virheellisen arvion jäljen koosta. Tästä syystä mittaajan tulisi tarkistaa koneen tekemä mittaustulos ja varmistaa, että jälki on oikein kuvattu ja tarkennettu. Vaikka näin olisi, voi mittaajasta riippuen syntyä lopputulokseen silti vaihtelevuutta, koska ihmissilmä voi nähdä jäljen rajat eri tavalla.

Kovuuskoe tehdään yleensä huoneenlämpötilassa välillä 10...35 °C. Pieni lämpötilan vaihtelu ei tuo muutoksia kovuustuloksiin, mutta jos koe tehdään edellä mainitun lämpötila-alueen ulkopuolella, on siitä tehtävä merkintä mittauspöytäkirjaan. [3, s. 10] Mitattavan näytteen pinnan tulisi olla tasainen ja naarmuton. Naarmut voivat aiheuttaa mittaustuloksen epävarmuutta ja epätasaisuus vääristyneen mittaustuloksen. Pinnan tulee myös olla kiillotettu ja puhdas, jotta jäljen tulkinta on helpompaa mittauksen jälkeen.

3. KOVUUSKOKEET

Kovuuskokeiden tarkoitus oli testata kahden eri laboratorion välisiä eroja mittaustuloksissa. Koska erot olivat huomattavan suuret, lähdettiin tutkimaan mistä ne aiheutuivat. Kokeiden aluksi testattiin samoja näytteitä eri laboratoriossa ja niistä saatiin erisuuruisia kovuusmittaustuloksia. Mittaukset tehtiin Vickersin menetelmällä käyttämällä 1 kg:n painoa. Kilogramman paino on hyvä kuorma tällaiselle näytteelle, josta mitataan hiiletysyvyyttä. Jäljistä tulee tarkat ja ne eivät mittauksen aikana etene liian syvälle näytteeseen. Näytteet oli hiiletyskarkaistu. Näytteille tehtiin kolme kovuusgradienttia, mutta tuloksissa on esitelty vain pintakovuuksien arvoja helpottamaan tulosten tulkintaa.

Erojen tutkiminen aloitettiin testaamalla samoja näytepaloja kummassakin laboratoriossa. Lisäksi näyte lähetettiin vielä kolmanteen laboratorioon, jossa saatiin vahvistus sille, että tulokset olivat oikeita laboratoriossa 2, kun laboratoriossa 1 saatiin eriäviä tuloksia. Näytteenvalmistusmenetelmiä tutkittiin myös kalibroidun referenssipalan kanssa, ja tuloksena selvisi, että laboratorion 1 tavalla saatiin muista eroavia tuloksia. Tutkimuksissa käytiin läpi kaikki näytteenvalmistuksen vaiheet ja tutkittiin missä vaiheessa virhe tapahtuu.

3.1 Koejärjestelyt

Tutkimuksen lähtötilanteessa suurimmat erot eri laboratorioden välillä olivat siinä, miten hiomisvaihe suoritettiin. Eroja oli niin laikkojen karkeuksissa kuin hiomisajoissa. Taulukossa 3.1 on esitetty millaisia menetelmiä eri laboratorioissa käytettiin ennen erojen tutkimista. Kokeissa oli alkuvaiheessa mukana kolme eri laboratoriota, mutta pääosa mittauksista tehtiin laboratoriossa 1. Erot syntyivät laboratorion 1 ja 2 välille, ja laboratorio 3 oli mukana kokeissa tuomassa vahvistusta sille, että laboratoriossa 1 syntyi muista poikkeavia tuloksia.

Taulukko 3.1. Laboratorioiden näytteenvalmistustavat.

Vaihe	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3
Hiomislaikat ja niiden karkeudet [rakeen koko]	80, 500 MD-laikka	80, 120, 320, 500, 1000 SiC-paperi	180, 600, 1000 SiC-paperi
Hiomisaika per laikka [min]	5	1	Tuntematon
Hiomisvoima [N]	30	40	Käsin
Kiillotus-suihkeen karkeus [μm]	1	3	3
Kiillotusaika [min]	5	3	Tuntematon
Kiillotusvoima [N]	30	40	Käsin

Kuten taulukosta 3.1 nähdään, oli näytteiden käsittelyssä huomattavia eroja eri laboratorioiden välillä. Suurin vaikutus oli selkeästi hiomisajalla, joka erosi 4 minuuttia eri tapojen välillä. Ajan vaikutuksen lisäksi huomattiin, että hiontalaikkojen määrä ja karkeudet olivat hyvin erilaiset.

Testien aikana kokeiltiin eri vaiheiden muuttamista yksi parametri kerrallaan. Mittauksia tehtiin laboratorion 1 tavallisille näytepaloille, joita laboratoriossa tutkitaan päivittäin. Ne ovat hiiletyskarkaistuja, mutta karkaisun syvyys vaihtelee 1,2–2,8 millimetrin välillä. Se ei kuitenkaan vaikuta pintakovuuden arvoihin merkittävästi. Näiden näytteiden lisäksi tutkittiin referenssipalaa, jonka tarkka kovuus tiedettiin etukäteen. Taulukossa 3.2 on listattuna kaikki testatut näytepalat sekä testausmenetelmät. Testit on tehty pääsääntöisesti koneella hiomalla, ellei erikseen ole mainittu käsin hiomista. Koneella hiottaessa hiomislaikat ovat MD-laikkoja ja käsin hiottaessa SiC-paperia. Hiomistavat ovat taulukon 3.1 mukaisia.

Taulukko 3.2. Näytepalat ja niille tehdyt testit.

Testin tavoite	Menetelmä	Näytepala(t)
Hiontamenetelmien vaikutus	Hionta lab. 1, Hionta lab. 2, Hionta lab. 3	20665 20670
Aihioon valamisen vaikutus	Hionta lab. 1	20921 20261
Käsin ja koneella hiomisen vaikutus	Hionta lab. 1, Hionta lab. 2	20991
Hiontamenetelmien vaikutus	Hionta lab. 1, Hionta lab. 2	21050 21051
Leikkausnopeuden vaikutus	Hionta lab. 1	21052
Kovempi leikkauslaikka + käsin ja koneella hiominen	Hionta lab. 1, Hionta lab. 2	21117
Timanttilaikan puhtaus	Hionta lab. 1	21153
Hiontamenetelmien vaikutus	Hionta lab. 1, Hionta lab. 2	21140 Referenssipala

Näytteet on nimetty tehtaan koenäytteiden numeroiden mukaisesti. Näytteistä vain numerot 20665, 20670 ja testien lopuksi näyte 21140 ovat käyneet testattavana toisissa laboratorioissa. Ne ovat sekä hiottu että mitattu eri laboratorioissa. Muuten kaikki on testattu laboratoriossa 1, mutta mukaillen toisten laboratorioiden menetelmiä.

Tutkimuksia tehtiin laajasti, aina leikkausvaiheesta kiillotusvaiheeseen muuttamalla parametreja ja välineistöä. Testeissä testattiin leikkausnopeuden vaikutusta, kovemman leikkauslaikan vaikutusta, aihioon valamisen vaikutusta, käsin ja koneella hiomisen eroja, eri hiontamenetelmien eroja ja timanttilaikan puhtauden vaikutusta. Näiden avulla pyrittiin huomioimaan jokainen muuttuja, joka voi tuoda muutosta lopputulokseen. Mittauksia on tehty myös eri henkilöiden toimesta, millä poissuljettiin mittajaan vaikutus kovuusarvoon.

3.2 Mittaustulokset

Tuloksissa käsitellään ensin ensimmäisten mittausten tulokset. Sitten edetään kohta kohdalta näytteenvalmistuksen vaiheet tutkien niistä aiheutuvat mahdolliset muutokset ja lopuksi tutkitaan viimeisten kokeiden tuloksia.

3.2.1 Ensimmäiset mittaukset

Kovuusmittaukset tehtiin sarjana niin, että jokaiseen näytteeseen tehtiin kolme mittaus-sarjaa. Näytteet olivat hiiletyskarkaistuja, joten mittaukset tehtiin 1,5–3,5 mm:n syvyydelle, riippuen siitä miten näytettä oli käsitelty. Mittauksissa lähdetään aina 0,15 mm:n syvyy-

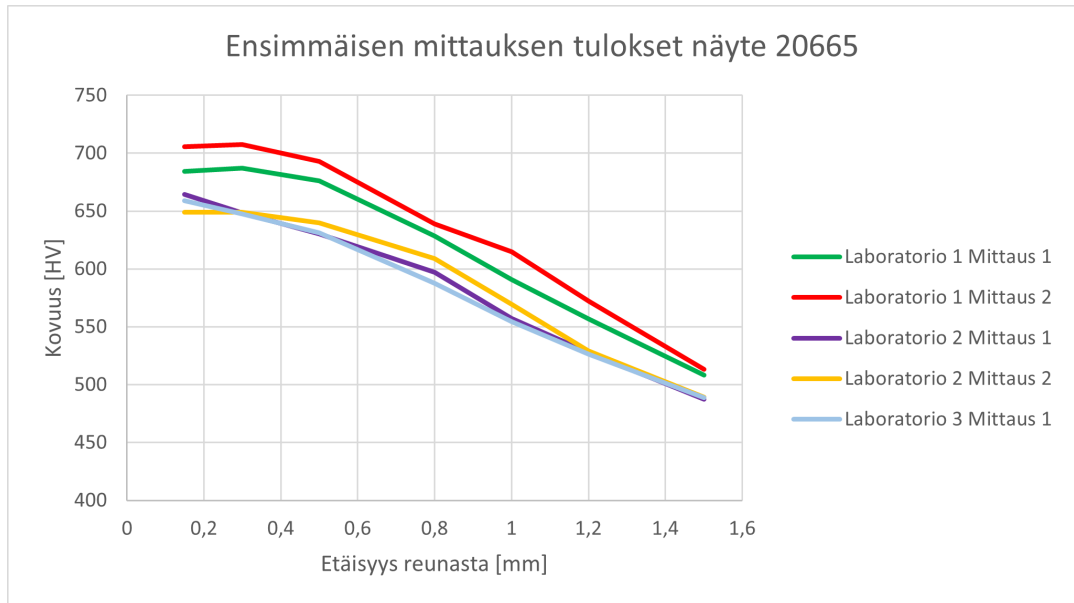
deltä kohti keskustaa standardin [3] mukaisten mittapisteiden välein. Tässä tutkimuksessa keskitytään kuitenkin vain ensimmäisiin pisteisiin, eli pintakovuusarvoihin. Mittauksia tehtiin niin monta, että tuloksia on helpompi käsitellä yhden pisteen kautta.

Taulukossa 3.3 on esitettyä millaisia koetuloksia ensimmäisistä mittauksista saatiin. Mittaukset suoritettiin ensin laboratoriossa 1, jossa mitattiin kolme mittaussarjaa kummallekin näytteelle kahteen kertaan. Sitten ne lähetettiin laboratorioon 2, jossa suoritettiin samanlaiset mittaukset kahteen kertaan. Seuraavaksi näytteet lähetettiin laboratorioon 3, jossa mitattiin kolme mittauksia kummastakin näytteestä.

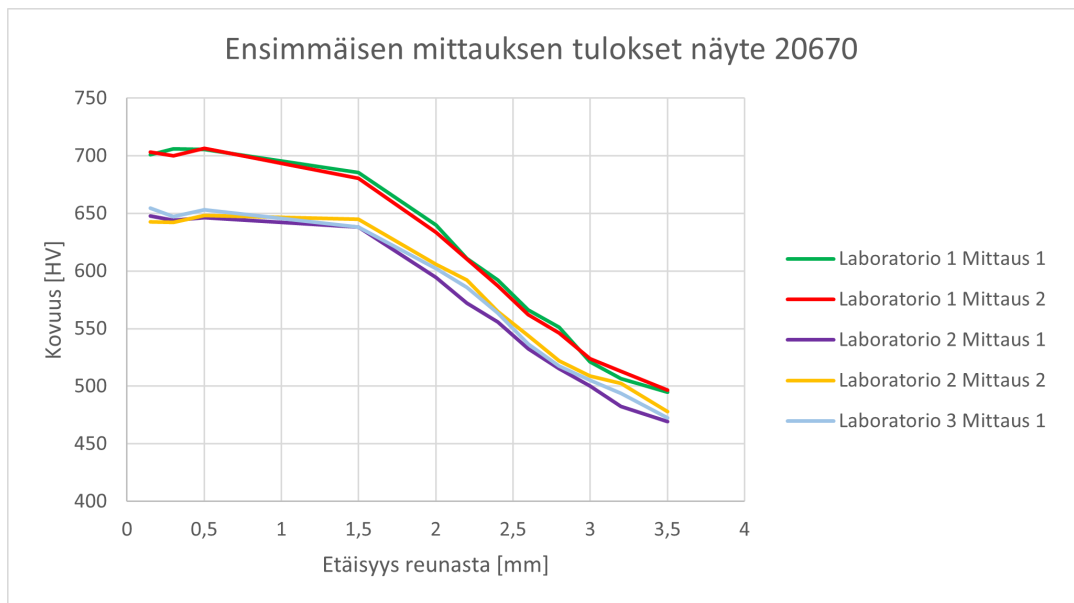
Taulukko 3.3. Ensimmäisten näytteiden kovuusmittaustulokset.

Näyttenumero	Laboratorio 1 Mittaus 1 [HV]	Laboratorio 1 Mittaus 2 [HV]	Laboratorio 2 Mittaus 1 [HV]	Laboratorio 2 Mittaus 2 [HV]	Laboratorio 3 Mittaus 1 [HV]
20665	694	692	656	644	652
	677	708	680	652	655
	682	717	657	651	670
Keskiarvo	684,33	705,67	664,33	649	659
Keskihajonta	8,74	12,66	13,58	4,36	9,64
20670	703	701	654	651	659
	701	705	644	648	651
	699	703	645	629	654
Keskiarvo	701	703	647,67	642,67	654,67
Keskihajonta	2	2	5,51	11,93	4,04

Tuloksista huomataan, että laboratorioissa 2 ja 3 on saatu arvoiltaan pienempiä tuloksia kuin laboratoriossa 1. Mittauksissa on käytetty taulukon 3.1 mukaisia järjestelyjä. Koska kyseessä on pintakovuuden mittaaminen, syntyy vaihtelua yhden näytteen sisällä mittauskohdasta riippuen. Tuloksista huomataan, että laboratorioiden sisällä on eroja saman näytteen pintakovuuksien välillä. Keskihajontojen avulla voidaan kuitenkin todeta, että osa laboratorioiden 2 ja 3 tuloksista ovat kovuusarvoiltaan pienempiä kuin laboratoriossa 1. Kuvissa 3.1 ja 3.2 on vielä esitetty koko tulokset kuvaajamuodossa. Mukana ovat muutkin arvot kuin vain pintakovuuksien arvot. Kuvaajien avulla nähdään paremmin, miten tulokset jakautuivat laboratorioiden välille.



Kuva 3.1. Ensimmäisten mittausten tulokset kuvaajana näyte 20665.



Kuva 3.2. Ensimmäisten mittausten tulokset kuvaajana näyte 20670.

Kuten kuvaajista nähdään, ovat laboratorion 1 tulokset koko mittausjanelalla korkeammat kuin muissa laboratorioissa saadut tulokset. Muiden laboratorioiden tulokset ovat selkeästi pehmeämpiä. Laboratorion 1 tulokset lähenevät mittaussarjan päässä hieman muiden laboratorioiden tuloksia, mutta samaan suuruusluokkaan ei päästä syvemmälläkään.

Lopuksi näytteet palautettiin laboratorioon 1, jossa mittaukset vielä toistettiin uudelleen. Taulukossa 3.4 on tulokset näistä mittauksista. Niille ei tehty uutta hiontaprosessia, vaan mittaukset suoritettiin valmiiksi valmisteltuihin näytteisiin.

Taulukko 3.4. Näytepalojen toiset mittaustulokset laboratoriossa 1.

Näytenumero	Laboratorio 1 Mittaus 3 [HV]	Laboratorio 1 Mittaus 4 [HV]
20665	665	657
	654	657
	659	659
Keskiarvo	659,33	657,67
Keskihajonta	4,49	0,94
20670	656	651
	662	651
	652	657
Keskiarvo	656,67	653
Keskihajonta	5,03	3,46

Tulokset olivat hyvin samansuuruiset verrattuna toisten laboratorioden tuloksiin. Tästä voidaan päätellä, että hiomaprosessilla on jotain vaikutusta tuloksiin, sillä se on ainut muuttuja, johon muut laboratoriot tekivät muutoksia.

3.2.2 Leikkausvaiheen vaikutus

Muiden näytteiden avulla tutkittiin eri vaiheiden vaikutusta. Näytteellä 21052 testattiin, onko leikkausnopeuden muuttamisella vaikutusta kovuusarvoon. Näytteille suoritettiin samanlaiset hiontaprosessit ja eri tavalla tehtiin vain leikkausosuus. Taulukossa 3.5 on testin tulokset.

Taulukko 3.5. Näytteen 21052 mittaustulokset.

Näytenumero	Normaali leikkaus [HV]	Nopea leikkaus [HV]
21052	723	721

Huomattiin, ettei leikkausnopeudella ole vaikutusta näytteen kovuuteen. Huomion arvoista on kuitenkin se, ettei näyte saa leikkauksen aikana vahingoittua, jolloin se vaikuttaisi kovuusarvoon. Testissä leikkausnopeuden muutos ei ollut niin merkittävä, että näyte olisi vaurioitunut sen aikana. Lopputuloksena todettiin, että näytettä voi leikata nopeamminkin ilman että se vaikuttaa lopputulokseen.

3.2.3 Aihioon valamisen vaikutus

Näytteellä 20921 testattiin vaikuttaako näytteen valaminen akryyliin kovuustuloksiin. Näyte valmisteltiin muuten samalla tavalla kuin laboratoriossa 1 yleensäkin, mutta testaten

sekä ilman akryylivalua että sen kanssa. Akryylivalu tehtiin Struersin DuroCit 3:lla. Taulukossa 3.6 on mittaustulokset.

Taulukko 3.6. Näytteen 20921 mittaustulokset.

Näytenumero	Tavallisesti valmistettu näyte [HV]	Akryyliin valettu näyte [HV]
20921	727	748
	725	727
	751	742
Keskiarvo	734,33	739
Keskihajonta	14,47	10,82

Tulokset ovat keskenään hyvin samanlaisia, joten merkittävää eroa ei aihioon valamisen avulla syntynyt.

3.2.4 Hiontavaiheen vaikutus

Seuraavaksi testattiin käsin hiomisen ja koneella hiomisen eroja sekä samalla eri hiontamenetelmien eroja. Testissä oli käsin hiomalla SiC-paperilla hiominen laboratorion 1 ja 2 tavoilla ja koneella hiottaessa käytettiin MD-laikkoja. Taulukkoon 3.7 on koottu tulokset näistä testeistä. Näissä testeissä käytettiin näytepalaa numerolla 20991.

Taulukko 3.7. Näytteen 20991 mittaustulokset.

Näyttenumero 20991	Hionta lab. 1 tavalla [HV]	Hionta lab. 2 tavalla [HV]
1. mittaus hionta käsin	708	679
	708	685
	691	691
Keskiarvo	702,33	685
Keskihajonta	9,81	6
2. mittaus hionta käsin	687	685
	680	691
	687	675
Keskiarvo	684,67	683,67
Keskihajonta	4,04	8,08
3. mittaus hionta käsin	687	682
	694	680
	689	691
Keskiarvo	690	684,33
Keskihajonta	3,61	5,86
4. mittaus hionta koneella	705	689
	701	687
	701	685
Keskiarvo	702,33	687
Keskihajonta	2,31	2

Tulosten mukaan käsin hiomalla saadaan hieman pehmeämpiä tuloksia, kuin koneella hiomalla. Lisäksi laboratorion 2 menetelmällä tulokset ovat hieman pehmeämpiä. Koska hiontavaihe oli suurin epäilyt erojen syntymiseen, testattiin vielä uudelleen, syntykö eroja tavallisten näytteiden välillä eri hiontamenetelmillä. Näytteille 21050 ja 21051 tehtiin kummallekin yhden mittauksen eri hiontojen jälkeen. Taulukossa 3.8 on näiden mittausten tulokset.

Taulukko 3.8. Näytteiden 21050 ja 21051 mittaustulokset.

Näyttenumero	Hiomistapa lab. 1 [HV]	Hiomistapa lab. 2 [HV]
21050	717	694
21051	712	698

Kuten aiemminkin, testien tulosten mukaan laboratorion 2 hiomistavalla saatiin pehmeämmät kovuudet kuin laboratorion 1 tavalla hiottaessa.

Hiomistapojen muutoksia testattiin vielä kertaalleen, mutta muuttamalla parametreja asteittain ja kokeillen lopuksi käsin hiomalla. Näytteelle 21117 tehtiin laboratorion 1 mukainen käsittely, mutta kiillotus kesti vain 2,5 minuuttia. Sitten kokeiltiin hiomisajankin vähentämistä ja lopuksi käsin hiomista eri karkeisilla papereilla. Tulokset ovat taulukossa 3.9.

Taulukko 3.9. Näytteen 21117 mittaustulokset.

Näyttenumero 21117	[HV]
Kone, laikat 80, 500/5 min, kiillotus 2,5 min	712
	703
	710
Keskiarvo	708,33
Keskihajonta	4,73
Kone, laikat 80, 500/3 min, kiillotus 3 min	699
	694
	719
Keskiarvo	704
Keskihajonta	13,23
Käsin, laikat 120, 320, 800/1 min, kiillotus 1 min	672
	687
	684
Keskiarvo	681
Keskihajonta	7,94

Tulosten mukaan hionta-ajan vähennys vaikuttaa kovuuteen alentavasti. Tästä jatkumona hionta- sekä kiillotusajan laskeminen minuuttiin sekä laikkojen karkeuksien nostaminen hienommiksi aiheuttaa kovuuden putoamisen pehmeämmäksi. Asteittain parametrien pehmentäminen ja ajan vähentäminen pehmentävät kovuutta. Samalla myös käsin hiomisen pehmentävä vaikutus näkyy viimeisissä mittaustuloksissa.

Samalle testinäytteelle tehtiin vielä lisää mittauksia vaihtamalla leikkausvaiheen leikkauslaikkaa kovemaksi ja leikkaustyyliä hakkaavaksi tasaisen sijaan. Myös hionta oli erilainen, se tehtiin koneella laikkojen karkeuksien ollessa 220, 500 ja 1200. Kukin vaihe kesti 5 minuuttia, kuten myös kiillotus. Nämä testitulokset ovat taulukossa 3.10.

Taulukko 3.10. Näytteen 21117 mittaustulokset leikkaustyyliä vaihtamalla.

Näyttenumero 21117	[HV]
Kovempi leikkaus + Perushionta lab. 1	698
	699
	696
Keskiarvo	697,67
Keskihajonta	1,53
Kovempi leikkaus + hennompi hionta	687
	672
	694
Keskiarvo	684,33
Keskihajonta	11,24

Vaikka leikkaustyyli oli erilainen, ei se vielä synnyttänyt suurta eroa tuloksiin. Kun tähän yhdistettiin myös hennompi hionta, laskivat kovuusarvot pehmeämmiksi.

Viimeisimpänä näytteenvalmistusmenetelmän muunnoksena kokeiltiin, vaikuttaako laikkojen kunnolla puhdistaminen ennen hiontaa lopputuloksiin. Ensimmäinen mittaus tehtiin hiomalla käytössä olleilla laikoilla ilman suurempia välipuhdistuksia. Ennen toista mittausta laikat puhdistettiin kunnolla alumiinioksidista valmistetun hiomakiven avulla ja pestiin huolellisesti vedellä. Mittausten tulokset ovat taulukossa 3.11.

Taulukko 3.11. Näytteen 21153 mittaustulokset.

Näyttenumero	Normaali hionta [HV]	Hionta puhtaila laikoilla [HV]
21153	717	706
	725	699
	723	701
Keskiarvo	722	702
Keskihajonta	4,16	3,61

Laikkojen puhdistaminen toi yllättävän paljon eroa lopputulokseen. Yleensä laikkoja ei puhdisteta jokaisen käyttökerran jälkeen, mutta selkeästi puhdistamisen jälkeen tulos oli pehmeämpi.

3.2.5 Referenssipala

Mittauksissa testattiin myös referenssipalaa, jonka kovuus tiedettiin tarkasti ja se oli todennettu kovuusmittarilla etukäteen ennen käsittelyä. Referenssipalalle kokeiltiin laboratorioden 1 ja 2 hiomistapoja. Taulukossa 3.12 on esitetty mittaustulokset.

Taulukko 3.12. Referenssipalalle tehdyt mittaustulokset.

Referenssipala	Hiomistapa lab. 1 [HV]	Hiomistapa lab. 2 [HV]
	784	751
	778	750
Keskiarvo	781	750,5

Referenssipalan oikea kovuus oli 749 HV. Kokeen perusteella laboratorion 2 hiomistavalla saatiin lähes oikea kovuus, kun taas laboratorion 1 hiomistavalla tulos oli noin 30 Vickersiä korkeampi.

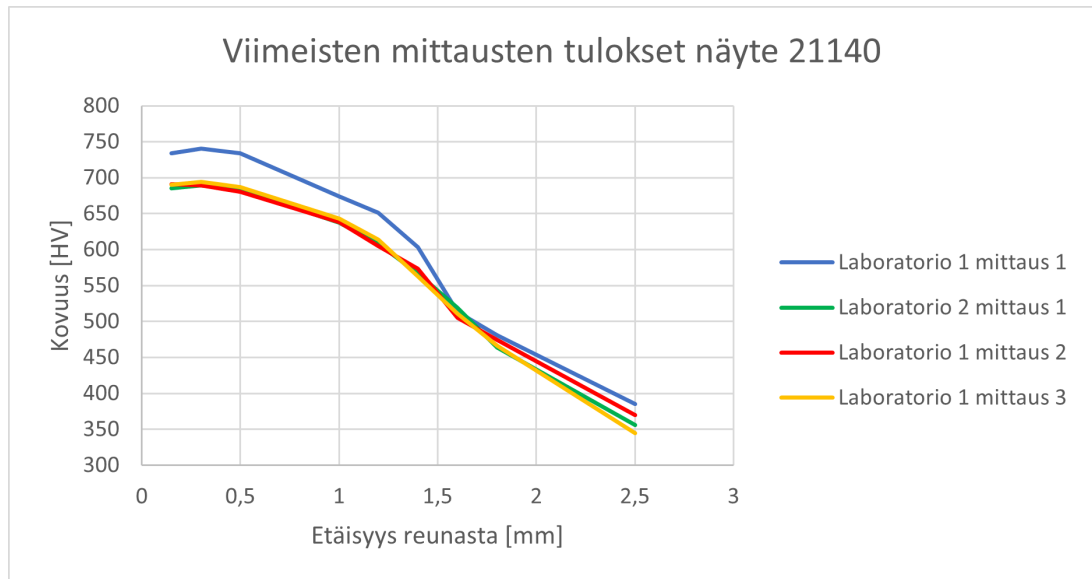
3.2.6 Viimeiset mittaukset

Viimeiset mittaukset tehtiin vielä yhdelle testinäytteelle numerolla 21140, jota käsiteltiin laboratorioissa 1 ja 2. Ensin suoritettiin tavallinen valmistelu ja mittaus laboratoriossa 1, sitten näyte hiottiin ja mitattiin laboratoriossa 2. Tämän jälkeen näyte vietiin takaisin laboratorioon 1 ja mitattiin uudelleen koskematta sen pintaan. Viimeisenä näyte vielä hiottiin uudelleen uudella tavalla laboratoriossa 1 ja mitattiin viimeisen kerran. Hionta tehtiin MD-laikoilla karkeuksilla 80, 220, 500 ja 1200. Näytettä hiottiin 1 minuutti per laikka ja kiillotus kesti 3 minuuttia käyttäen 1 mikron timanttisuihketta ja timanttilaikkaa. Ensimmäiset mittaukset tehtiin taulukon 3.2 mukaan. Mittaukset tehtiin kummankin eri hiomisen jälkeen laboratorion 1 mittarilla. Tulokset ovat taulukossa 3.13.

Taulukko 3.13. Näytteen 21140 mittaustulokset.

Näytenumero	Lab. 1 Mittaus 1 [HV]	Lab. 2 Mittaus 1 [HV]	Lab 1. mittaus 2 [HV]	Lab 1. mittaus 3 [HV]
21140	734	689	689	696
		692	694	691
		675	689	684
Keskiarvo	734	685,33	690,67	690,33
Keskihajonta		9,07	2,89	6,02

Tulokset on koottu myös kuvaajaan, jotta hahmotetaan paremmin miten arvot osuvat yhteen. Kuvaaja on nähtävillä kuvassa 3.3.



Kuva 3.3. Viimeisten mittausten tulokset kuvaajana näyte 21140.

Kuten kuvaajastakin nähdään, ovat tulokset nyt hyvin samansuuruiset, kun hiontamenetelmät ovat suhteellisen samanlaiset. Hiontamenetelmän muuttaminen muuttaa lopputulosta, joten hiontavaihe aiheuttaa kovuustulokseen muutosta.

4. TULOKSET

Mittausten aikana tutkittiin monen eri tekijän vaikutus kovuusmittauksen lopputulokseen. Alun perin eroja oli sekä hiontatavoissa että aihioon valamisessa. Tutkimukset kuitenkin osoittivat, että hiontaparametrien muuttaminen muuttaa lopputulosta.

Tutkimuksen kohteena olivat hiiletysteräkset 18CrNiMo7 ja AISI8260. Niistä valmistettuihin näytteisiin tehtiin karkaisusyvydestä riippuvia kovuusprofiilin mittauksia. Tutkimuksen aikana suljettiin pois muuttujia, jotka eivät vaikuta merkittävästi kovuustuloksiin ja keskityttiin vahvistamaan hypoteesia hiontavaiheen muuttamisen vaikutuksesta. Tutkimusten tuloksena todettiin, että leikkausvaiheen parametrien muuttaminen ja aihioon valaminen eivät aiheuta merkittävää muutosta lopputulokseen. Sen sijaan hiontavaiheella oli yllättävän suuri merkitys sekä hiomistavan että hiontaparametrien kannalta. Myös kiillotusvaiheeseen tulee kiinnittää huomiota ja tehdä siitä soveltuva kyseiselle materiaalille.

Kokeiden suurin epävarmuustekijä oli koko tutkimuksen ajan hiomistapa, jolla on suuri vaikutus näin tarkan mittauksen lopputuloksessa. Mikäli kyseessä olisi ollut esimerkiksi isommalla painolla tehty koe, eivät tulokset olisi heittäneet niin paljoa mittaajasta riippumatta. Kilogramman painolla tehtynä Vickersin kovuuskokeessa pienelläkin muutoksella on lopputulokseen suuri vaikutus. Koska kyseessä oli hiiletyskarkaistu teräs ja siitä tehdyt hieet, oli tämä mittausmenetelmä kaikista soveltuvin tähän tutkimukseen. Menetelmän avulla saatiin mitattua hiiletysyvyys ja mittausta ei tarvinnut jatkaa kovin syvälle hieeseen. Yhdistelmänä tarkka mittausmenetelmä sekä helposti muuttuva mittaustulos aiheuttavat vaihtelua kovuustuloksiin.

Testien jälkeen laboratoriossa 1 muutettiin hiontatapaa lähemmäs toisen laboratorion menetelmää. Hionta-aikaa lyhennettiin ja hiontavaiheita lisättiin prosessiin. Uusi hionta-aika on 1 minuutti ja uudet laikkojen karkeudet ovat 80, 220, 500, 1200. Laikkojen puhdistus on myös tehty säännölliseksi rutiinitoimenpiteeksi ja kiillotusaikaa on pienennetty entisestään. Nyt mitattavat tulokset ovat suuruudeltaan pienempiä kuin ennen, ja linjassa muiden laboratorioden kanssa.

Tutkimuksen jatkotoimenpiteenä huomiota voisi kiinnittää jäännösausteniittiin ja sen syntymiseen sekä hajaantumiseen prosessin aikana. Tarkastelua pitää myös tehdä vanhoille tuloksille ja pohtia mihin ne ovat saattaneet vaikuttaa virheellisyydellään.

5. YHTEENVETO

Tutkimus alkoi tilanteesta, jossa hiiletyskarkaistujen teräsnäytteiden kovuusmittaustuloksissa havaittiin suuria eroja eri laboratorioden välillä. Kahden laboratorion välille tehtiin vertailutesti, ja tulosten erot olivat yllättävän suuret. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää mistä erot johtuivat. Mittausten aikana tutkittiin näytteenvalmistuksen kaikki vaiheet ja testattiin mitä muutoksia kukin vaihe aiheuttaa.

Tutkimuksen kohteena oli hiiletysteräkset 18CrNiMo7 ja AISI8620, joita laboratoriossa 1 tutkitaan päivittäin. Karkaisusyvydestä riippuen mitattiin kovuusprofiilit ja tuloksissa keskityttiin tutkimaan, miksi pintakovuuksien arvot erosivat toisistaan eri laboratorioden välillä. Referenssinäytteen avulla todettiin virheen syntyvän laboratorion 1 mittauksessa, joten tutkimuksen tavoitteena oli parantaa tämän laboratorion menetelmää.

Kokeet suoritettiin muuttamalla jokaisen näytteenvalmistusvaiheen parametreja ja tutkimaan aiheuttavatko ne eroa lopputulokseen. Leikkausvaihe ja aihioon valaminen eivät aiheuttaneet lopputulokseen merkittävää eroa, kun taas hiontavaiheesta syntyi suuriakin eroja eri tapojen välillä. Laboratorioden menetelmät erosivat aluksi paljon toisistaan, ja tarkoitus olikin selvittää millä tavalla saa oikeimman tuloksen.

Tutkimuksen lopputuloksena selvisi, että alkuperäinen hiontamenetelmä oli liian karkea laboratorion 1 näytteille. Hiomisaika oli tarpeettoman pitkä, mikä kulutti paljon materiaalia pois näytteen pinnasta. Lyhyemmällä hiomisajalla sekä hienommilla hiontalaikoilla tilanne parani huomattavasti ja tulokset alkoivat olla odotetun suuruisia ja erot muihin laboratorioihin hävisivät. Ensimmäisten testien jälkeen eri laboratorioden välillä oli jopa 60 HV:n erot mittaustuloksissa, kun taas viimeisten mittausten jälkeen oli eroa enää maksimissaan 5 HV:ta.

Tutkimuksen tulosta voidaan pitää luotettavana, sillä kokeita tekivät kokeneet mittaajat ja laitteet oli asianmukaisesti huollettu ja kalibroitu. Lisäksi muutosta aiheuttaneet vaiheet testattiin useaan kertaan, jotta voitiin varmistua tulosten oikeudesta. Referenssipala toi varman tiedon siitä, että ongelma oli juuri laboratorion 1 hiontamenetelmässä.

Tutkimus oli pitkäaikainen ja eri vaiheiden toteuttaminen kesti, sillä laboratorioden välimatkat olivat suuria. Kokeiden myötä saatiin kuitenkin selville käytännön syy, joka johti erojen syntymiseen. Kun tutkimus oli saatu loppuun, laboratoriossa tehtiin investointi uuden hiontakoneen hankkimiseksi. Uuden koneen lisäksi hankittiin uusia hiomalaikkoja

ja niiden puhtaudesta tullaan jatkossa pitämään paremmin huolta. Vaihtoehtoisesti pohditaan myös siirtymistä käyttämään enemmän SiC-papereita, kuin MD-laikkoja. Lisäksi muuttuneita hiontaparametreja tullaan käyttämään tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- [1] Lindegren, M. Hardness Testing and Specimen Preparation. Struers. 2017. URL: <https://www.struers.com/en/Knowledge/Hardness-testing/Vickers#findoutmore>.
- [2] Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM International, ASTM E3-11, USA, 2017, s. 1–4.
- [3] Metallien Vickersin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. Suomen Standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 6507-1:2018, Helsinki, 2018.
- [4] The Science Behind Materials Preparation. Buehler sum-met. USA, 2004, s. 9.
- [5] Discotom-100 Cutting equipment. Struers. Saatavissa (viitattu 27.2.2023): URL: <https://www.struers.com/en/Products/Cutting/Cutting-equipment/Discotom#>.
- [6] Vander Voort, G. F. Metallographic techniques in failure analysis. ASM International. 2002, s. 503–507.
- [7] Vander Voort, G. F. Metallography, principles and practice. USA, 1999, s. 71, 93, 101–102.
- [8] Cold mounting systems for all materialographic applications. Struers. Saatavissa (viitattu 4.2.2023): URL: <https://webshop.struers.com/en/product/40200081>.
- [9] Vander Voort, G. F., Lucas, G. M. ja Manilova, E. P. Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels. ASM Handbooks. USA, 2004, s. 672.
- [10] LaboSystem grinding and polishing equipment. Struers. Saatavissa (viitattu 28.2.2023): URL: <https://www.struers.com/en/Products/Grinding-and-Polishing/Grinding-and-polishing-equipment/LaboSystem#>.
- [11] MD-system. The unique consumables for materialographic grinding and polishing. Struers. 2018. URL: <https://www.struers.com/en/Products/Grinding-and-Polishing/Grinding-and-polishing-consumables/MD-grinding#>.
- [12] Callister, W. D. ja Rethwisch, D. G. Materials science and engineering. John Wiley & Sons, 2011, s. 312–314.
- [13] William, B. Heat treatment. Hanser Publishers, 2015, s. 171.
- [14] Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. ASTM International, ASTM E384-22, 2022, s. 4–5.