

PINNANKARHEUDEN VAIKUTUS BRINELL-KOVUUSMITTAUKSESSA

Mikko Honkala
Opinnäytetyö
Syksy 2011
Kone- ja tuotantotekniikka
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Insinööri työ on tehty Ruukki Metals Oy:lle, Tutkimus ja Kehitys-divisioonan alaiseen test houseen vuoden 2011 aikana. Insinööri työn valvojana toimi Esa Törmälä ja ohjaajana Ilari Alamattila. Suurena apuna insinööri työssä olivat Ruukilta Sakari Alariikola ja Arto Viirret sekä Tornion Outokummun terästehtaan tutkimuskeskuksesta Eero Luoma.

Kiitokset Ilarille työni ohjaamisesta ja arvokkaista neuvoista työn tekemisen aikana.

Lisäksi kiitokset tuotekehityksen väelle testikappaleiden valmistuksesta.

Raahessa 30.9.2011

Mikko Honkala

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Raahen tekniikan ja talouden kampus
Kone- ja tuotantotekniikka, Tuotanto- ja metallitekniikka

Tekijä: Honkala Mikko Johannes

Opinnäytetyön nimi: Pinnankarheuden vaikutus Brinell-kovuusmittauksessa

Työn ohjaajat: Törmälä Esa, Alamattila Ilari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syyskuu 2011

Sivumäärä: 50

TIIVISTELMÄ

Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää, vaikuttaako mitattavan kappaleen pinnankarheus Brinell-kovuusmittauksen tulokseen. Toimeksianto insinööriyölle tuli Ruukki Metals Oy:n tuotannon testauslaboratoriosta. Työn tavoitteena oli selvittää, syntykö kovuusmittauksissa poikkeavia tuloksia, kun pinta on työstetty erilaisille pinnankarheuksille.

Työn teoriavaihe muodostuu perehtymisestä kovuusmittaukseen menetelmänä sekä kovuusmittaukseen standardien näkökulmasta. Työssä tutustutaan pinnankarheuteen ilmiönä ja siihen, kuinka tuotannon testauslaboratorion automaattinen kovuusmittausasema käyttäytyy kovuusmittauksessa eri pinnankarheuksilla.

Työssä selvitetään vallitsevat mittausolosuhteet, tutkitaan automaattisen kovuusmittausaseman suorittaman koneistuksen muodostama pinnanlaatu mitattavaan kappaleeseen sekä selvitetään mahdollisuutta tutkia, kuinka erilainen pinnankarheus vaikuttaa kovuustulokseen käyttäen vertailutestausta.

Työn aikana tehdyissä kalibrintikappaleiden vertailutesteissä havaittiin mitattavan kappaleen pinnankarheuden vaikuttavan Brinell- kovuustuloksiin selvästi. Tuotantokappaleiden testeissä ilmiö ei toistunut samassa mittakaavassa. Tutkimustulosten analysoinnin perusteella voidaan todeta, että tuotantokappaleita testattaessa pinnankarheuden vaikutus on hyvin vähäinen Brinell-kovuusmittauksen tulokseen. Insinööriyössä havaittujen tutkimustulosten perusteella ei syntynyt tarvetta kehittää korjainasetuksia koneistusjäljen pinnankarheuden vaikutuksen minimoimiseksi.

Asiasanat:

Aineenkoetus, kovuuskokeet, Brinell-kovuus, pinnankarheus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Honkala Mikko Johannes

Title of thesis: Effects of Surface Roughness on the Brinell-hardness Measurement

Supervisors: Törmälä Esa, Alamattila Ilari

Term and year when the thesis was submitted: September 2011

Number of pages: 50

ABSTRACT

The aim of this thesis was to investigate the effect of the measured surface roughness on the Brinell-hardness measurement results. The assignment for this final thesis came from the test laboratory of Ruukki Metals Oy. The instructions were to investigate whether the results of hardness measurements are different if the surface has been machined to a different surface roughness.

The theoretical phase consists of learning about the hardness measurement methods and what the standards of hardness testing are, exploring the phenomenon of surface roughness and how the results from the automated tests are affected by materials with a different surface roughness.

The work will determine the prevailing measurement conditions, the roughness of the surface that automated hardness testing machines create to test an object and the possibility to examine how a different surface roughness affects the result of the hardness measurement when compared with a reference test.

During the comparison test phase of calibration objects it was observed that the roughness of a surface has an effect on the results of Brinell hardness testing. The production test phase did not indicate any difference in the same scale. After analyzing the hardness measurement results it can be concluded that the effect of the roughness of a surface is minor on the results of Brinell hardness testing. The test results observed in this work did not indicate the need to develop a correction method to minimize the effect of the surface roughness.

Keywords:

Hardness testing, Brinell-hardness, Surface roughness

SISÄLLYS

ALKULAUSE.....	2
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO.....	7
2 MÄÄRITELMÄ.....	8
3 TYÖN TARPEEN KUVAUS.....	9
4 TYÖN YMPÄRISTÖN KUVAUS	10
4.1 Tuotannon testauslaboratorio	10
4.2 Akkreditointi.....	11
4.3 Tuotannon testauslaboratorion toiminta	12
4.3.1 Esikäsittely	12
4.3.2 Koneistamo.....	13
4.3.3 Testaus.....	15
4.3.4 Lämpökäsittely	15
4.3.5 Testien hyväksyminen	16
5 KOVUUSMITTAUS TAPAHTUMANA	17
5.1 Kovuus	17
5.1.1 Kovuusmittaus	18
5.1.2 Kovuusmittauksen ongelmat	20
5.2 Brinell-menetelmä	21
5.3 Kovuusmittausstandardit SFS-EN ISO 6506:2006 mukaan.....	22
5.3.1 Menetelmä.....	22
5.3.2 Mittauslaitteisto	24
5.3.3 Koekappale	24
5.3.4 Koemenettely.....	25
5.3.5 Brinellin kovuusluvut.....	26
6 MUUTTUJIEN MÄÄRITTELY	27
6.1 Muuttujat	27
6.2 Valaistus.....	27
6.3 Koneistusvaihe	27
6.4 Kamera	28
6.5 Kuvan säätö	28
7 PINNANKARHEUS ILMIÖNÄ	29

7.1 Pinnanlaadun mittarit.....	29
7.2 Pinnankarheuden mittaaminen	29
7.2.1 Mekaaninen mittaus	29
7.2.2 Optinen mittaus	30
7.2.3 Interferenssimittaus	30
8 KOKEELLINEN OSUUS.....	31
8.1 Heijastuksen mittaaminen	31
8.1.1 Heijastusmittaus.....	33
8.2 Pinnankarheuden mittaaminen	33
9 KOVUUSMITTAUS.....	35
9.1 Kovuusmittausaseman testit kalibrointipalalla.....	35
9.1.1 Testikappaleiden valmistus kalibrointikappaleesta	35
9.1.2 Testaus kalibrointikappaleella	36
9.1.3 Testitulokset kalibrointikappaleella.....	36
9.1.4 Kalibrointikappaleiden vertailutestien tulos	38
9.2 Kovuusmittauslaitteen testit tuotantokappaleelle	39
9.2.1 Testikappaleiden valmistus tuotantokappaleesta	39
9.2.2 Testaus tuotantokappaleesta	40
9.2.3 Testitulokset tuotantokappaleesta	41
10 POHDINTA	45
11 YHTEENVETO.....	47
12 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET	48
LÄHDELUETTELO.....	49

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä tullaan tutkimaan, vaikuttaako tutkittavan kappaleen pinnankarheus automaattisen Brinell-kovuusmittauksen mittaamaan kovuustulokseen. Tuotannon testauslaboratoriossa on käytössä automaattinen Emco-Test V5HRC-B -kovuusmittausasema, jonka mittauksilla mahdollista pinnankarheuden aiheuttamaa kovuustuloksen muuttumista tutkitaan ja minkä ympärille koko insinööriyö rakentuu.

Pinnankarheuden vaikutusta tutkittaessa perehdytään erilaisiin pinnankarheuden mittaamismenetelmiin, tutkitaan niiden soveltuvuutta teolliseen kovuusmittaukseen sekä vertaillaan eri menetelmien toimintaperiaatteita. Kovuusmittausta tarkastellaan menetelmänä sekä käytännön tapahtumana että standardien perusteella ja tutkitaan, voiko kovuusmittausaseman automaattinen tuloksen tulkinta toimia eri tavalla, kun tutkittavan kappaleen pinnankarheus on selkeästi erilainen.

Työn tekemistä tuki merkittävästi työskentelyni tuotannon testauslaboratoriossa ennen insinööriyön tekemistä sekä sen aikana. Testausmenetelmien, henkilökunnan sekä tuotannon testauslaboratorion testauskäytännön tunteminen jo entuudestaan toimi tukena ja arvokkaana taustatietona useissa työvaiheissa.

2 MÄÄRITELMÄ

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia pinnankarheutta ja sitä, onko pinnankarheudella vaikutusta automaattisen kovuusmittaukseen. Jos tutkimuksella voidaan osoittaa pinnankarheuden vaikuttavan kovuusmittaukseen, jatkotoimenpiteenä voidaan tutkia mahdollisuutta muodostaa eriasteisille pinnankarheuksille korjauskertoimia. Korjauskertoimen tarkoitus on tarkentaa kovuusmittausaseman asetuksia tietyille testipalaryhmälle. Tällä hetkellä kovuusmittauskoneessa on olemassa kolme kovuuden mukaan säädettävää korjainasetusta, jotka ovat jaoteltu karkeasti luokkiin 200, 400 ja 500, Brinellin kovuusyksikön (HBW) mukaan.

Työssä perehdyttiin kovuusmittaukseen menetelmänä ja tapahtumana. Lisäksi perehdyttiin pinnankarheuteen, tutkittiin mitattavan kappaleen pinnankarheuden merkitystä mittaustilanteessa ja kuinka mittaukseen vaikuttavia epävarmuustekijöitä olisi mahdollista tunnistaa paremmin.

Alkuperäinen insinööriyön tarkoitus oli selvittää, kuinka teräksen heijastavuus vaikuttaa automaattiseen kovuusmittaustulokseen. Työn alkuvaiheessa tuli tutkia heijastusta ilmiönä ja selvittää, voidaanko testeissä osoittaa heijastuksen vaikuttavan kovuusmittaukseen. Tuotannon testauslaboratoriossa oli muodostunut perusolettamus, että testikappaleen heijastus aiheuttaa vaihtelua mittaustuloksissa ja insinööriyön tarkoitus oli selvittää, kuinka paljon heijastus vaikuttaa kovuusmittaustulokseen. Tutkimusten analysoinnin jälkeen oli tarkoituksena suunnitella heijastuksenkorjauskertoimien kehitys- ja testausmenettelyt ja tuottaa korjaimet, jotka soveltuisivat heijastusarvoltaan erilaisille materiaaleille. Insinööriyön aiheen vaihtumisen syinä olivat Torniossa Outokummun terästehtaan tutkimuslaboratoriossa tehtyjen heijastuvuustutkimusten tulokset. Heijastusmittauksissa saatujen tulosten perusteella oli syytä muuttaa työtä pinnankarheuden vaikutuksen tutkimiseen.

3 TYÖN TARPEEN KUVAUS

Tuotannon testauslaboratoriossa on havaittu tarpeelliseksi tutkia automaattisen Emco-Test V5HRC-B -kovuusmittausaseman mahdollista testimateriaalin pinnanlaadun aiheuttamaa hajontaa mittaustuloksissa. Testauslaboratoriossa käytettävä Brinell-kovuusmittaus perustuu automaattiseen kuvantulkintaan. Kamera kuvaa kovametallikuulan aiheuttaman painumakalotin, määrittää siitä painauman dimensiot ja laskee määrittämisen perusteella HBW-arvon.

Automaattisen kovuusmittausaseman säätämiseen ja kalibrointiin käytetään erillisiä, VTT:n hyväksymiä kalibrointikappaleita, jotka poikkeavat pinnanlaadultaan huomattavasti tuotantokappaleista. Osaltaan kalibrointikappaleen ja tuotantokappaleiden pinnanlaatuominaisuuksien eroavaisuuksien vuoksi kalibroinnin jälkeen laitetta tulee hienosäätää asettamalla materiaalikohtaisia korjauskertoimia, jotta laite antaisi yhteneväisiä tuloksia tuotantokappaleiden kovuuksiksi verrattaessa. Tällä hetkellä laitteen säätäminen tapahtuu laatuteknikon vuosikymmenten kokemukseen perustuvaan arviointiin.

4 TYÖN YMPÄRISTÖN KUVAUS

Rautaruukki Oyj (Rautaruukki Corporation) on rakentamisen ja konepajateollisuuden asiantuntija, jolla on vahva erikoisteräsosaaminen. Rautaruukki toimittaa metalliin perustuvia komponentteja, järjestelmiä ja kokonaistoimituksia rakentamiseen ja konepajateollisuudelle. Metallituotteissa yhtiöllä on laaja tuote- ja palveluvalikoima. Yhtiöllä on toimintaa 27 maassa ja henkilöstöä noin 11 700. Ruukin liiketoiminta on jaettu kolmeen liiketoiminta-alueeseen. (Ruukki Oyj, 2011. Hakupäivä 15.5.2011)

Ruukki Construction Oy toimittaa tehokkaita ja aikaa säästäviä teräsrakennusratkaisuja rakentamiseen, erityisesti kaupan, teollisuuden ja logistiikan tarpeisiin sekä infrastruktuurirakentamiseen. (Ruukki Oyj, 2011. Hakupäivä 15.5.2011)

Ruukki Engineering Oy toimittaa asennusvalmiita, teräkseen pohjautuvia järjestelmiä ja komponentteja konepajateollisuudelle. Keskeisenä tuotealueena ovat ohjaamot sekä erilliset erikoisteräs- ja muut komponentit. (Ruukki Oyj, 2011. Hakupäivä 15.5.2011)

Ruukki Metals Oy valmistaa erikoistuotteita muun muassa erikoisluja, kulutusta kestäviä ja erikoispinnoitettuja tuotteita. Divisioonan toimintaan kuuluu myös terästuotteiden valmistus ja myynti sekä niihin liittyvät esikäsitteily-, logistiikka- ja varastointipalvelut. (Ruukki Oyj, 2011. Hakupäivä 15.5.2011)

4.1 Tuotannon testauslaboratorio

Tuotannon testauslaboratorio sijaitsee Raahen terästehtaan valssaamorakennuksessa, jossa testaustoimintaa tehdään keskeytymättömänä vuorotyönä. Tuotannon testauslaboratoriossa työskentelee noin 55 henkilöä eri vuorojärjestelmissä.

Tuotannon testauslaboratorion toiminta-ajatus on selkeä. Testaamalla ja tarkastamalla tuotteet valmistuksen sekä toimituksen aikana voidaan varmistaa tuotteiden täyttävän niille asetetut vaatimukset, sillä ainoastaan hyväksytyt tuotteet saavat lähetys- ja lastausluvan.

Testauslaboratorion toiminta täyttää ISO 9001- ja SFS-EN ISO/IEC 17025 -standardien sekä viranomaisten ja luokitusseurojen vaatimukset.

4.2 Akkreditointi

FINAS:n (Finnish Accreditation Service) tehtävänä on tarjota kansainvälisten kriteerien mukaista akkreditointipalvelua ja sen tehtävät on määritelty lainsäädännössä (921/2005). FINAS-akkreditointipalvelun toiminta-ajatus on toimia Suomessa kansallisena akkreditointielimenä. Työ- ja elinkeinoministeriö asettavat tavoitteet FINAS:n toiminnalle. Ministeriön nimittämä Akkreditointiasiain valtuuskunta sekä FINAS:n johtaja johtavat sekä seuraavat sen toimintaa. Toiminnallisesti ja taloudellisesti FINAS toimii itsenäisenä osana Mittatekniikan keskusta (MIKES). (MIKES, 2011. Hakupäivä 07.8.2011)

FINAS akkreditoi eli toteaa päteviksi laboratorioita, tarkastuslaitoksia, sertifiointielimiä ja erityisalojen edustajia, esimerkiksi ympäristötodentajia sekä arvioi toimielinten toiminnan pätevyyttä säädösten tai erityisvaatimusten mukaan. Toiminta perustuu kansainvälisiin standardeihin ja sopimuksiin. (MIKES, 2011. Hakupäivä 07.8.2011)

Ruukki Metals Oy:n, Raahen tehtaan tuotannon testauslaboratorio on FINAS-akkreditoitu rikkovan aineenkoetuksen laboratorio T002. Akkreditointi on ollut yhtäjaksoisesti voimassa vuodesta 1993 alkaen ja uudelleenakkreditointi, SFS-EN ISO/IEC 17025 vaatimusten mukaisesti, toteutettiin vuonna 2002. (MIKES, 2011. Hakupäivä 07.8.2011)

Akkreditoinnin tavoitteena on varmistaa puolueeton ja luotettava testaustoiminta, jossa riippumaton osapuoli on arvioinut testauksen luotettavuuden. Akkreditointi tehdään laboratorion omasta halusta ja sen on aina menetelmäkohtainen. Arviointi vaatii kuvattua menettelyä, johon toimintaa verrataan. (MIKES, 2011. Hakupäivä 07.8.2011)

Tuotannon testauslaboratorio on akkreditoitu testauslaboratoriossa käytettäville testimenetelmille, jotka esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Akkreditoituidut testimenetelmät. (MIKES, 2011. Hakupäivä 07.8.2011)

PÄTEVYYSALUE

Materiaali- ja tuotetestaus, metallisten materiaalien rikkova aineenkoetus

Vetokoe	SFS-EN 10002-1:2002, ISO 6892:1998
Vetokoe korotetussa lämpötilassa	ISO 783-99, SFS-EN 10002-5:1992
Iskukoe Charpy U ja V	SFS-EN 10045-1:1990, ISO 148:1983, ISO 83:1976
Kovuuskoe Vickers	SFS-EN ISO 6507-1:2006
Kovuuskoe Rockwell	SFS-EN ISO 6508-1:2006
Brinellin kovuuskoe	SFS- EN ISO 6506-1:2006
CTOD-koe	BS 7448: Part 1:1991
DWTT	ASTM E 436:2003
Pellini	ASTM E 208:1995a, STAHL-EISEN-PRÜFBLATT 1325:1982
Taivutuskoe	ISO 7438:2005, SFS-EN ISO 5173
Hitsin mikro- ja makrorakennetutkimus	SFS-EN 1321:1997

Materiaali- ja tuotetestaus, NDT

Ultraäänitestaus	EN 10160:1999, BS 5996:1993, SEL 072-77, Euronorm 160-85
Tunkeumanestetarkastus (PT)	SFS-EN 571-1, SFS-EN ISO 23277
Magneettijauh tarkastus (MT)	SFS-EN ISO 17638, SFS-EN ISO 23278

4.3 Tuotannon testauslaboratorion toiminta

Testauslaboratorion tärkeimmät tuotteet ovat testaus- ja tarkastuspalvelut sekä tuotteille laaditut ainestodistukset. Tuotannon testauslaboratoriossa testataan valssaamon nauha- ja kvarttotuotteita sekä Ruukki Metals Oy:n putkitehtaiden tuotantokappaleita ja tutkimusnäytteitä sekä alihankintana leikattuja Ruukin valmistamia nauha- ja levytuotteita. Testauslaboratorio tuottaa testauspalveluita myös tuotekehitykselle sekä ulkopuolisille asiakkaille.

4.3.1 Esikäsittely

Valssaamon eri prosessipaikoilla irrotetut näytelevyt esikäsitellään tuotannon testauslaboratorion oman esikäsitteilyn toimesta. Joko esikäsitelijä noutaa trukilla valssaamon prosessipaikoille kerätyt 4 – 160 millimetriä paksut näytelevyt tai 4 - 40 millimetriä paksu näytelevy siirretään levyvalssaamon päätyleikkurilta kuljettimella automaattiselle esikäsitteilylinjalle. Näytelevyistä irrotetaan näytteet automaattisella polttoleikkauslinjalla tai manuaalisella polttokoneella, plasmaleikkauksella automaattisella näyteplasmalla ja poikkeustapauksissa mekaanisella levyleikkurilla.

Esikäsitelijä varmistaa, että näytelevyihin stanssaamalla, maalimerkkauksella, mustesuihkukirjoittimella tai liidulla merkitty tunnistenumero kopioituu merkkauksetapahtuman jälkeen kaikkiin testisauva-aihioihin sekä varapalavarastoihin varastoitaviin varapaloihin. Tunnistenumero koostuu näytelevyssä ja varapalassa kolmiosaisesta numerosarjasta. Numerosarja on yhdistelmä sulatusnumerosta, levynumerosta sekä näytekohdan numerosta, esimerkiksi 123456-011-515. Tässä kuusi ensimmäistä numeroa on sulatusnumero, kolme seuraavaa numeroa kertovat levynumeron ja viimeiset kolme numeroa sisältävät levyn tai kelan näytteenottokohdan (1 = keulasta, 3 = keskeltä ja 5 = hännästä), näytekappaleen paksuuden ilmoittavan koodin (1 - 5) sekä materiaalin kovuusluokan (1 - 6). Testikappaleissa tunnistenumeron viimeinen osio sisältää näytteenottokohdan sekä testitunnuksen, esimerkiksi 501A, josta ilmenee, että kyseessä on erikoiskoe, näytekohtana keulanäyte ja kovuusmittauksessa minimikovuusvaatimus. Esikäsitellyt testisauva-aihiot toimitetaan koneistussoluun jatkotoimenpiteitä varten.

4.3.2 Koneistamo

Koneistussolussa valmistetaan testisauvoja kolmella robottiohjattua Mori Seiki -työstökeskuksella, joista kaksi työstää iskusauvoja ja yksi valmistaa vetosauvoja. Solussa koneistetaan ja testataan laitekantaan soveltuvat vetokokeet. Vetosolussa toimii automaattinen dimension mittausasema joka mittaa vetosauvasta vetokokeen vaatimat dimensiot ennen vetokoetta. Testaus koneistussolussa tapahtuu automaattisella, hydraulitoimisella ja hienovenymälaitteistolla varustetulla, 1200 kN:n Dartec -vetokoneella.

Koneistussolussa koneistamattomat näyteaihiot ohjataan solusta apukoneistamoon. Apukoneistamossa valmistetaan paksuussuuntaiset vetosauvat ja pyörövetosauvat sekä

vetosauvat, jotka paksuutensa tai valmistettavuutensa puolesta ovat soveltumattomia koneistussoluun, esimerkiksi kuumavetosauvat tai ASTM -vetosauvat.

4.3.3 Testaus

Koneistussolussa sekä apukoneistamossa valmistetut testisauvat toimitetaan testisaliin testattavaksi tai vaihtoehtoisesti lämpökäsiteltäväksi ja testattavaksi. Testisaliissa on kaksi vetokonetta, taivutuskone, iskuvasara jäähdytysaltainen sekä kolme lämpökäsittelyuunia ja karkaisuallas.

Hydraulisella, 250 kN:n Roell & Korhaus -vetokoneella on mahdollista suorittaa 100 kN kuumavetokoe +650 °C saakka. Ruuvitoiminen 1200 kN vetokone Galdabini Quasar sopii erityisesti lujien materiaalien testaukseen. Amsler MFL PSW 750 -iskuvasaralla isketään standardin mukaisesti keskeltä lovetettuja Charpy-V-iskusauvoja. Tuotannon iskutitkeys-kokeissa koelämpötilat ovat +23 °C - -80 °C. Muut testisauvat ja -kappaleet testataan tuotannon testauslaboratorion ulkopuolella tutkimuskeskuksella.

Kovuusmittauskokeita suoritetaan kahdella Emco-Test -kovuusmittausasemalla. Automaattisella Emco-Test V5HRC-B -kovuusmittausasemalla testataan kaikki paksuutensa puolesta menetelmään sopivat kovuusnäytepalat. Automaattinen kovuuskoee suoritetaan Brinell-10/3000-menetelmällä. Kovuusmittausasema koneistaa kappaleen ja suorittaa painintapahtuman. Tämän jälkeen kone kuvaa painumakalotin sekä mittaa sen dimensiot ja laskee sen mukaan kovuuden automaattisesti. Manuaalisella Emco-Test M5C 030G3 -kovuusmittausasemalla suoritetaan joko Brinell-10/3000-, Brinell-5/750- tai Vickers-kovuusmittauksia apukoneistamossa koneistettuun ja hiottuun kovuuskoepalaan.

4.3.4 Lämpökäsittely

Testaamossa suoritetaan näytteille lämpökäsittelyjä testiohjelman mukaan. Karkaistavat näytteet lämmitetään vakiokarkaisulämpötilaan +890 °C Nabetherm -karkaisu-uunissa ja karkaistaan +40 °C sammutusnesteeseen. Normalisointi-ohjelma tehdään vakio-ohjelman mukaan +920 °C lämpötilassa, paksuuden mukaan määräytyvän ajan mukaan, kuitenkin vähintään 15 min. Myöstö tai päästö suoritetaan Sarlin -kiertoilmuunissa asiakaslaadusta riippuen n. 570 - 590 °C. Riippuen lämpökäsittelystä näyte lämpökäsitellään joko valmiina testisauvana tai koneistetaan testisauvaksi lämpökäsittelyn jälkeen.

4.3.5 Testien hyväksyminen

Testit hyväksytään asiakaslaadun mukaisten tai asiakkaan vaatimien testivaatimusten täytyessä. Testaussuunnitelmassa tuotesuunnittelun määrittelemä testitulosikkuna toimii automaattisten testitulosten hyväksymisrajana. Tietyillä asiakaslaaduilla testituloksen osuessa tulosikkunaan ilman, että tulos on tuotesuunnittelun määrittämällä ylä- tai alarajalla, järjestelmä hyväksyy testin automaattisesti. Tuloksen osuessa tulosikkunan rajoille mutta kuitenkin tulosikkunan sisäpuolelle, testierä menee automaattisesti pidätykseen. Pidätetyt testierät tarkastellaan testauksen ohjaajan toimesta, joka joko hyväksyy vaatimukset täyttävät testit tai tilaa uusintakokeet. Jos testitulokset eivät täytä vaatimuksia, testierä menee automaattisesti pidätykseen ja testauksen ohjaaja tilaa uusintakokeet, jonka perusteella testitulokset käsitellään uudestaan. Uusintakokeiden jälkeen tilannetta tarkastellaan uudelleen ja uusintakoemenettelyn mukaan tuote joko hyväksytään vaadittuun asiakaslaatuun, hylätään vaaditusta laadusta ja hyväksytään uudelleenlaadutukseen tai romutetaan.

Pidätyskäytäntöä käytetään myös tiettyjen laatuojen osalta tuotteen valmistukseen liittyvien lämpökäsittelyjen valvontaan. Esimerkiksi venymävaatimus voi olla määritelty niin suureksi, ettei vaatimus voi täytyä vetokokeessa. Tämä nostaa testin automaattisesti pidätykseen ja testin hyväksymiseksi testauksen ohjaaja tarkastaa, täyttääkö venymä todellisen venymävaatimuksen ja todentaa tietokannasta, että lämpökäsittely on tapahtunut myös tuotteen valmistusprosessissa.

5 KOVUUSMITTAUS TAPAHTUMANA

Kovuutta testataan pääasiassa kahdesta syystä: laadun varmistamiseksi sekä tuotannon ja tuotteiden kehittämiseksi.

5.1 Kovuus

Terminä kovuus, ilman tarkentavaa määritystä, on yleinen käsite tietynlaiselle ominaisuudelle. Mutta lisätynä siihen tarkentava määritys, esimerkiksi ”Brinell-”, siitä muodostuu tietyllä, erikseen määritellyllä menetelmällä, mitattu kovuusarvo, Brinell-kovuus. (Petik 1983, 24)

Kovuus on luontainen materiaaliominaisuus ja tieto kovuudesta on hankittu useilla tieteellisillä menetelmillä. Testit kovuuden varmistamiseksi voidaan jakaa kahteen ryhmään, menetelmäryhmään jossa painauman tarkastelu ei ole tarpeen, ja toiseen ryhmään, jossa painauman tarkastelua tarvitaan. Ensimmäiseen ryhmään kuuluu Rockwell- menetelmä, jossa edellytetään näytteen esivalmistelua hyvän pinnanlaadun varmistamiseksi. Jälkimmäiseen menetelmäryhmään kuuluu Brinell-, Vickers- ja Knoop-menetelmä, joissa kaikissa on yleistä, että painauman dimensioita tarkastellaan mikroskoopilla, jossa on mitta-asteikko. (Tuk 2007, 775)

Metallurgiassa kovuus on kestävyyttä silloin, kun pienellä painimella yritetään saada testattavan metallin pinta lävistettyä. Painimen tunkeutuma kovuusnäytteeseen aiheuttaa paikallisia muodonmuutoksia, jotka ovat sekä kimmoisia että plastisia. (Sonar Oy, 2011. Hakupäivä 17.4.2011)

On yleistä, että arvioinnin tarkkuus vaikeutuu huonon kuvanlaadun seurauksena. Yleisimmin käytössä oleva ratkaisu tähän on kuvan digitalisointi ja kuvan suurentaminen, ennen mittauksen suorittamista. Kyseinen menetelmä vaatii kalliiden laitteiden sisällyttämistä mittaustalteen ja aiheuttaa mittaustapahtuman hidastumista. (Tuk 2007, 775)

Kovuustuloksia määritellään useilla eri asteikoilla, jotka sisältävät muuttuvia ominaisuuksia kuten hionnan tai naarmuuntumisen kestäminen, plastisen muodonmuutoksen kesto ja muodon palautuminen, suuri elastisuus, korkea myötöraja, materiaalin hauraus tai muovautumisen virhe.

Metallurgisesti kovuus määritellään kykynä vastustaa siihen tunkeutuvaa esinettä. Tavallisimmissa kovuusmittausmenetelmissä painokärki painetaan kappaleen pintaan. Ennalta määritelty paininvoima pidetään kappaleessa tietyn ajan, jonka jälkeen kappaleesta mitataan painauman syvyys tai dimensiot. (Kaufmann 2003, 316)

Kovuusmittaus on toistettavuuden kannalta erinomainen mittausmenetelmä. Yleisesti kovuusarvo on mielivaltainen ja ei ole olemassa absoluuttista kovuusstandardia. Kovuudelle ei ole tiettyä esimerkiksi SI-järjestelmästä tunnettua kovuusarvoa mutta käyttämällä ennalta sovittua voimaa, toistettavaa tapaa ja sovittua kaavaa, saadaan luotua kovuudelle tietty numeroarvo. Staattinen painumatesti missä pallo, kartio tai pyramidi tunkeutuu testattavan kappaleen pintaan, on käytössä laajalti. Voiman, pinta-alan tai painumasyvyyden välinen riippuvuus muodostaa tuloksen yleisimmille kovuusmittauksille. Yleisimmät kovuusmittausmenetelmät ovat Brinell-, Rockwell-, Vickers- ja Knoop-menetelmät. (Kaufmann 2003, 316)

Koska eri menetelmissä kuten Brinell ja Rockwell, käytetyt painimet eroavat muodoltaan toisistaan suuresti, ei kokeissa saatuja kovuusarvoja voi luotettavasti verrata keskenään. Mahdolliset vastaavuustaulukot HRC- ja HBW-kovuusarvojen välillä ovat enemmänkin likimääräisiä. (Gordon England, 2011. Hakupäivä 12.4.2011)

5.1.1 Kovuusmittaus

Testausmenetelmänä voidaan käyttää joko staattista tai dynaamista testausta. Sekä kimmoiset että plastiset muodonmuutokset huomioidaan arvioidessa kovuutta ja ne ilmaistaan sitoutuneena energiana. Dynaamisiin menetelmiin sisältyvät iskukovuustestaus ja Shore-kovuustestaus. Näiden menetelmien etuna on muun muassa mahdollisuus saada tulos nopeasti riippumatta mittauskohdan sijainnista. Verrattuna staattisen kovuuden testausmenetelmään on dynaaminen kovuuden mittausmenetelmä epätarkempi. (Teräsrakenneyhdistys, 2011. Hakupäivä 13.2.2011)

Perinteiset staattiset painantamenetelmät eroavat toisistaan pääperiaatteiltaan ainoastaan painanteen muodon puolesta. Brinell-menetelmässä (EN 3) painimena käytetään karkaistua teräskuulaa, Vickers-menetelmässä (EN 5) käytetään neliöpohjaista timanttipyramidia (kaltevuuskulma = 136°) ja Rockwell-menetelmässä (EN 10004) painetaan timanttikartiota (kaltevuuskulma = 120°). (Teräsrakenneyhdistys, 2011. Hakupäivä 13.2.2011)

Kovuuskokeessa paininta painetaan hitaasti (melkein staattisesti) testattavaan materiaaliin. Painetun kuorman poistamisen jälkeen mitataan painanteen materiaaliin aiheuttaman jäljen dimensiot. Dynaamiseen kokeeseen verrattuna staattisissa menetelmissä mitataan ainoastaan plastinen muodonmuutos. Staattiset menetelmät ovat yleisesti käytössä teollisuuden parissa ja erinäisissä tutkimuslaitoksissa pienen mittausepävarmuuden vuoksi. (Teräsrakenneyhdistys, 2011. Hakupäivä 13.2.2011)

Eri kovuusmenetelmien tuottamat arvot ovat hyvin läheisesti toisiinsa liittyviä, varsinkin pienillä kovuusalueilla. Kovuusarvojen suora verrattavuus kestävyysarvoihin, verrattuna esimerkiksi veto-ominaisuuksiin on huomattavasti monimutkaisempi, mutta nyrkkisääntönä voidaan pitää, että teräksen murtolujuus (MPa) on likimain kolme kertaa Vickers-kovuus. (Teräsrakenneyhdistys, 2011. Hakupäivä 13.2.2011)

5.1.2 Kovuusmittauksen ongelmat

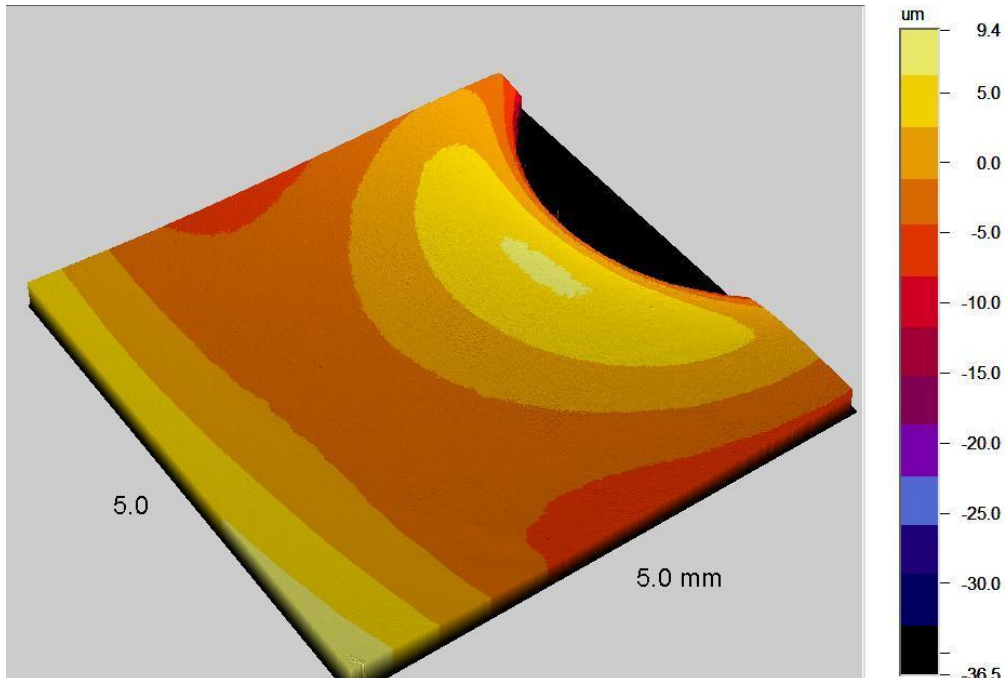
Kovuusmittauksen ongelmat ovat varmuudella havaittavissa päivittäisellä varmentamismenettelyllä. Käyttämällä varmennettuja kalibroitikkappaleita mittausepävarmuus selvitetään ja mittalaite säädetään standardin määrittämälle tasolle. (Kaufmann 2003, 322)

Kovuusmittauksen ongelmat voidaan jakaa kolmeen ryhmään: mittalaite-, mittaus- ja materiaaliongelmiin. Mittalaiteongelmat ovat yleisimmin seurausta painauman dimensioiden poikkeavuudesta, testivoiman poikkeavuudesta, painimen epätasaisesta nopeudesta, värinöistä koneistuksessa, painintapahtumassa ja mittauksessa, painaumakulmasta ja painauma-ajasta. Mittausongelmat johtuvat yleensä ennen mittausta valituista esiasetuksista, mittalaitteen mittausominaisuuksien rajallisuudesta tai pienen painaumakalotin pinnan tason määrittämisen haasteellisuudesta. Materiaaliongelmat vaikuttavat pääasiassa materiaalin kiillottuvuuteen, huonoon pinnanlaatuun ja alhaiseen heijastustaipumukseen, jotka asettavat haasteensa painauman automaattisen tulkin käytettävyyteen. (Kaufmann 2003, 322)

Yleisenä yksittäisenä ongelmana automaattisessa kovuusmittauksessa on pinnan tason määrittävän valokehän säätäminen siten, että valokehä peittää painumakalotin harjanteen tasaisesti eikä mittaus tapahdu harjanteen päältä tai harjanteen viereisestä laaksosta. Valokehä syntyy kameran objektiivin välittömässä läheisyydessä tai sisällä olevasta valaisimesta. Objektiivin muoto ja rakenne rajoittavat valokuvion tasaisen heijastumisen ja näin valokuvio muodostuu kehämäiseksi renkaaksi. Muodostunut valokehä kohdistetaan mitattavaan pintaan siten, että se ympäröi painumakalotin tasaisesti ja samalla mitattavan kappaleen pinnan taso määrittyy. Tämä kyseinen valokehän paikka määrittää mitattavan alueen ja vaikuttaa täten suuresti automaattisen kuvantulkinnan onnistumiseen.

Kuvasta on nähtävissä paininkuulan aiheuttama painumakalotti Brinell- mittauksessa. Paininkuula aiheuttaa mitattavan kappaleen pintaan laajoja muodonmuutoksia, eivätkä nämä muutokset ole havaittavissa tavanomaisilla tutkimusvälineillä. Kyseisen ilmiön vuoksi valokehän asettuminen tasaiselle pinnalle on haastavaa, sillä jo 2,5 millimetrin päässä painumakalotista, on kuvan tapauksessa syntynyt 10 mikrometrin syvyinen painauma materiaalin tyssäntymisen vuoksi. Jos valokehä asetetaan automaattisessa mittauksessa juuri tähän painaumaan, on pinta asetettu 10

tasoa mikrometriä alemmaksi, mittaustapahtuman määrittämän painumakalotin koko kasvaa ja näin ollen mittaustulos vääristyy.



KUVA 1. Koemateriaalin pinnan korkeuserot painumakalotissa (Outokumpu 02/2011)

5.2 Brinell-menetelmä

Brinell-kovuusmittausta on käytetty laajalti teollisuudessa, Ruotsalaisen insinöörin, Johan August Brinellin, esiteltyä kovuusmittausmenetelmä Pariisissa vuonna 1900. Brinellin laskemiseksi painumakalotin halkaisijan tarkka määrittäminen on välttämätöntä. Käytännössä Brinell-menetelmässä mitataan automaattiin kytketyn optiikan luomaa kuvaa painumasta, jota järjestelmä suurentaa mittauksen suorittamiseksi. Näin ollen kuvasta saadut dimensiot riippuvat optisen järjestelmän kyvystä käyttää valon heijastumista oikean painuman selvittämiseksi. (Germak, Origlia 2007, 76)

Menetelmässä mitataan kovametallipallon aiheuttamaa painauma tutkittavaan materiaalin staattisen kuormituksen alaisena mittausajan ollessa vakio. Toisin kuin Vickers-kovuusmittausmenetelmässä, Brinell-kovuus sisältää ajan, voiman, nopeuden ja kovametallikuulan painauman dimensiot. Voima ja kuulan halkaisija ovat helposti mitattavissa,

painauksen todellisten dimensioiden mittaaminen on laboratorio-olosuhteissakin vaikeaa ja automatisoituina haastavaa. (Germak ym. 2007, 76)

Kuvassa 2. on mikroskoopilla kuvattu Brinell-painumakalotti, josta kovuus määritetään. Kuten Vickers-menetelmässäkin, materiaaliin jäänyt fyysisen muutoksen (pinauksen) mittaaminen tapahtuu optiikan muodostamasta kuvasta, jota järjestelmä suurentaa mittausten suorittamiseksi.



KUVA 2. Brinell 10/3000 -painumakalotti (Outokumpu 02/2011)

5.3 Kovuusmittausstandardit SFS-EN ISO 6506:2006 mukaan

Eurooppalainen standardi EN ISO 6506-1:2005 (metallien Brinellin kovuuskoe) on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi SFS-EN ISO 6506:2006. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)

5.3.1 Menetelmä

Brinell-kovuuskokeessa (SFS-EN ISO 6056:2006) kovametallinen paininkärki painetaan tutkittavan kappaleen pintaan, menetelmän mukaisella kuormalla F . Brinell-kovuus HBW on kuormituksen ja painumakalotin pinta-alojen lukuarvojen suhde:

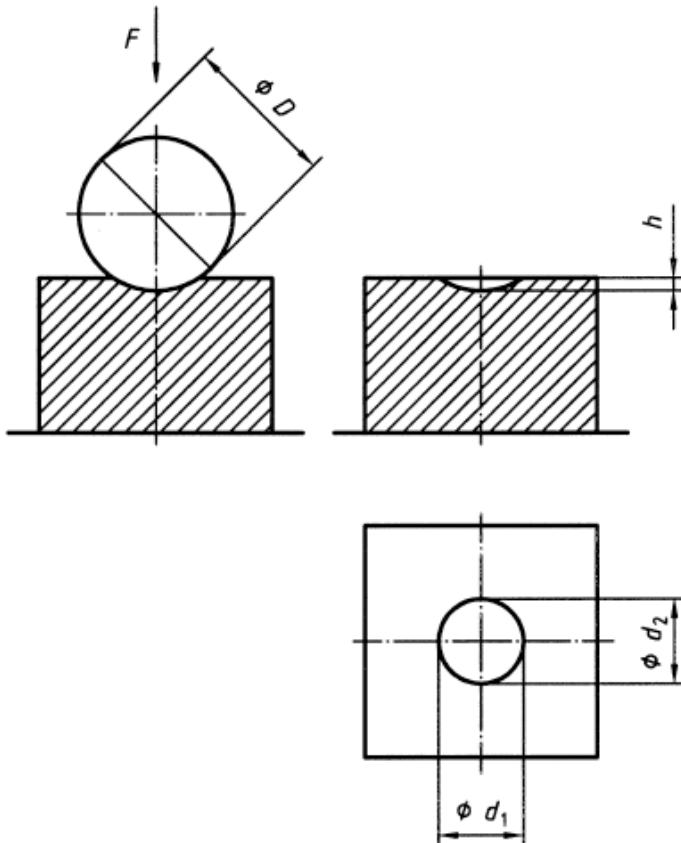
KAAVA 1. Brinell-kovuuden laskentakaava

$$HBW = 0,102 \cdot \frac{2F}{\pi \cdot D^2 (1 - \sqrt{1 - d^2 / D^2})}$$

missä

HBW	= kovuus Brinellin yksikköinä, (wolframikarbidikuula)	[HBW]
$0,102$	= $9,80665^{-1}$	
$9,80665$	= muuntokerroin kilopondista newtoniksi	
F	= voima newtoneina	[N]
D	= paininkärjen halkaisija millimetreinä	[mm]
d	= painuman ristimittojen keskiarvo millimetreinä	[mm]

Kun kokeessa käytetään wolframikarbidikuulaa, menetelmätunnukseksi käytetään lyhennettä HBW. Yleisimmin Brinell- kovuuskoetta käytetään pehmeän teräksen ja valuraudan kovuuden mittauksessa, jolloin yleisin pallon halkaisija on 10 mm ja kuormitus 29420 N (= 3000 kp). Alla olevassa kuvassa standardin SFS-EN ISO6506-1 mukainen kovuuskokeen suoritusperiaate. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)



KUVA 3. Kovuuskokeen suoritusperiaate standardin SFS-EN ISO6506-1 mukaisesti. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)

5.3.2 Mittauslaitteisto

Kovuusmittauslaitteisto määräytyy standardin ISO 6506-2 mukaan: Kovuusmittarin tulee pystyä kuormittamaan koekappaleita voima-alueella 9,807 – 29,42 kN. Kovuusmittarin sekä paininkärjen tulee olla standardin vaatimusten mukainen, ja painimena tulee käyttää kiillotettua kovametallikuulaa. Mittalaite tulee olla standardin mukainen ja sen käytössä huomioida myös standardin liitteessä A suositeltu menetelmä kovuusmittarin määräaikaistarkastuksen toteuttamiseksi. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)

5.3.3 Koekappale

Koekappale määritellään standardissa ISO 6506-2 seuraavasti. Kovuuskoe tehdään pinnalle, joka on sileä ja tasainen, puhdas oksidihilseestä ja vieraista aineista sekä erityisesti puhdas voiteluaineista. Koekappaleen pinnanlaadun tulee olla riittävän hyvä, jotta painuman halkaisija voidaan mitata tarkasti. Pinta valmistellaan siten, että pintakovuus muuttuu mahdollisimman

vähän esimerkiksi liiallisen kuumenemisen tai kylmämuokkauksen vaikutuksesta. Koekappaleen paksuuden on oltava vähintään kahdeksan kertaa painuman syvyys. Jos koekappaleen toisella puolella on näkyvää muodonmuutosta, on mahdollista, että koekappale on ollut liian ohut. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)

5.3.4 Koemenettely

Koemenettely on määritetty standardissa ISO 6506-2. Yleisesti kovuuskoe tehdään ympäristön lämpötilan ollessa 10 °C - 35 °C. Lämpötilavalvottuna koe tehdään lämpötilassa 23 °C ± 5 °C. Brinellin kovuuskokeessa käytetään taulukossa (2.) esitettyjä koevoimia. Muita koevoimia ja koevoima-halkaisijasuhteita voidaan käyttää erikseen sovittaessa. Koevoiman valinta suoritetaan siten, että painuman halkaisija d on välillä 0,24 - 0,6 D . Taulukossa 3, esitetään suositeltuja koevoima-halkaisijasuhteita 0,102 kertaa F/D^2 , jotka soveltuvat tietyille materiaaleille ja tietyille kovuustasoille. Kokeessa tulee valita mahdollisimman suuri kuulan halkaisija, jotta koekappaleen testattava pinta-ala on mahdollisimman edustava ja, mikäli koekappale on riittävän paksu, suositellaan standardissa kuulan halkaisijaksi 10 mm. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)

Koekappale tulee asettaa jäykälle alustalle ja kosketuspintojen on oltava puhtaat, eikä niillä saa olla vieraita aineita kuten oksidihilsettä, öljyä tai likaa. On tärkeää, että koekappale asettuu niin tukevasti, ettei se pääse liikkumaan kokeen aikana. Paininkärki asetetaan mitattavalle pinnalle ja sitä painetaan tasaisella voimalla ilman sykäyksiä kohtisuoraan pintaa vastaan, kunnes vaadittu koevoima saavutetaan. Vaadittu koevoima tulee saavuttaa 2 - 8 sekunnin aikana painamisen aloittamisesta. Koevoiman tulee vaikuttaa 10 - 15 sekuntia. Tietyille materiaaleille edellytetään pidempää voiman vaikutusaikaa, jonka toleranssi on ± 2 sekuntia. Laitteen tulee olla suojattuna koetulokseen vaikuttavilta iskuilta ja värinäältä kokeen ajan. Painuman keskipisteen etäisyys koekappaleen reunasta tulee olla vähintään 2,5 kertaa painuman halkaisijoiden keskiarvo. Kahden vierekkäisen painuman keskipisteiden etäisyyden tulee olla vähintään kolme kertaa painuman halkaisijoiden keskiarvo. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)

Jokaisen painuman halkaisija mitataan kahdessa toisiaan kohtisuorassa olevassa suunnassa. Brinellin kovuus lasketaan näiden kahden lukeman keskiarvosta. Automaattisilla kovuusmittareilla voidaan myös hyödyntää samasta painumasta mitattavien useiden tasavälein sijaitsevien

halkaisijoiden keskiarvo sekä määrittää painuman projektiopintala-ala. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.3.2011)

5.3.5 Brinellin kovuusluvut

Standardissa ISO 6506-4 esitetään tasopinnoille tehtävien kovuuskokeiden lasketut Brinellin kovuusluvut. Kovuusluvut ovat taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Kovuusluvut standardin ISO 6506-4 mukaan. (SFS-EN ISO 6506. Hakupäivä 30.03.2011)

Kovuuden tunnus	Kuulan halkaisija D (mm)	Koevoima - halkaisijasuhde $0,102*[F/D^2 *(N/mm^2)]$	Nimellinen koevoima F	
HBW 10/3000	10	30	29,42	kN
HBW 10/1500	10	15	14,71	kN
HBW 10/1000	10	10	9,807	kN
HBW 10/500	10	5	4,903	kN
HBW 10/250	10	2,5	2,452	kN
HBW 10/100	10	1	980,7	N

6 MUUTTUJIEN MÄÄRITTELY

Koesarjoja tehtäessä pyritään vakioimaan kaikki muuttujat vertailukelpoisen tutkimustuloksen aikaansaamiseksi. Kovuusmittauslaitteessa käytetään hienosäätönä erilaisia korjauskertoimia ja toimenpiteitä, joilla muutetaan muun muassa valaistuksen voimakkuutta, kameran kuvan kirkkautta ja kontrastia. Koneen kalibrointi on mittauslaitteen epävarmuuden määrittämistä ja konetta säädetään siten, että se täyttää standardin SFS-EN ISO 6506-2 vaatimukset. Koneen kalibroinnissa varmistetaan, että verrattaessa saatuja mittaustuloksia tunnettuun referenssipalaa arvoon koneen antama tulos on sallitun hajonnan sisällä.

6.1 Muuttujat

Testausvaiheessa muuttujat vakioidaan sisäisen ja toistettavan testausmenetelmän luomiseksi. Vakioidut muuttujat ja yksittäisten muuttujien asetukset merkitään tarkasti testauspöytäkirjaan, jotta myöhemmin tapahtuvat uudelleentestaukset voidaan tehdä täsmälleen samoilla asetuksilla ja näin ollen testauksen tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään, vaikka yksittäisten testausten suorittaja ja ajankohta vaihtuisivatkin.

6.2 Valaistus

Kovuusmittauskoneen kuvauskohdan valaistus tapahtuu säädettävällä LED-valaisimella, joka sijaitsee kameran objektiivin sisässä. LED-valaisimen sijainti mahdollistaa tasaisen valaisun testattavalle alueelle ja muodostaa mittaushetkellä pinnan kohdistamisen tarvittavan, valorenkain painumakalotin ympärille. Koneen vierelle on asennettu tukivalaisimeksi halogeenivalaisimet, jotka ovat suunnattu osoittamaan mittauspaiikkaan molemmilta sivuilta. Tukivalaisimien tarkoituksena on minimoida mittaushuoneen valoisuuden muuttumisen vaikutusta mittauksen tulokseen.

6.3 Koneistusvaihe

Kovuusmittausasema suorittaa koneistuksen käyttämällä vakioarvoja ja vakioteriä. Koneistus suoritetaan Chasemill-tappijyrsimellä ja tappijyrsimessä käytetään ainoastaan Taegutec

P05611143 -teräpaloja. Koneistuksen vakioarvot ovat kovuusmittausaseman valmistajan määrittämät. Vakioarvoja on mahdollista muuttaa käyttöpaneelista, jolloin ennen testejä tulee varmistaa, että arvot ovat seuraavat: kierrosnopeus 1700 kierrosta minuutissa, työstönopeus 570 millimetriä minuutissa, lastunvahvuuden maksimi 1,0 millimetriä, askelsyvyyden maksimi 0,5 millimetriä. Riippuen kappaleen paksuudesta testipalasta koneistetaan 0,3 - 2,0 millimetriä hiilenkatoalueen poistamiseksi. Kovuusmittausaseman järjestelmä laskee kunkin teräpalasarjan työajan (20 minuuttia), jonka täytyttyä kone ajaa jyrsimen automaattisesti teränvaihtopaikkaan. Kovuusmittausaseman vierellä on jyrsinteline, jossa säilytetään huolletut ja huoltoa vaativat teräpalat. Tällä menettelyllä varmistetaan, että kun kovuusmittauskoneen käyttöaste on korkeimmillaan, testaus ei pysähdy kuin tappijyrsimen vaihdon ajaksi. Tappijyrsimen ja teräpalojen vaihdon suorittaa koneistussolun koneistaja.

6.4 Kamera

Kovuusmittauslaitteessa on valmistajan asentama uEye® UI-1540-M digitaalikamera. Kuvaresoluutioltaan (1280 x 1024) 1,3 megapikselin SXGA -kamerassa on valoherkkä, halkaisijaltaan ½ tuuman kokoinen CMOS-kenno, joka mahdollistaa hyvälaatuisen kuvatallenteen ottamisen kirkaissakin olosuhteissa. Kamera on kytketty kovuusmittausaseman järjestelmään USB 2.0 -liittimellä (Emcotest GmbH, 2007. Hakupäivä 28.2.2011)

6.5 Kuvan säätö

Kontrastin, kirkkaussäädön ja zoomauksen avulla pyritään samaan testikappaleen pinnasta mahdollisimman selkeä ja tarkka kuva siten, että kuvassa on terävästi erottuva koneistusjälki. Kuvan tarkennusta ja valaistuksen säätöä käytetään testikappaleen pinnan määrittävän valorenkaan kohdistukseen, joka määrittää järjestelmälle kovametallikuulan painumakalotin alueen ja täten mahdollistaa automaattisen kuvantulkinnan onnistumisen

Kalibroituvaiheessa säädettävät korjaimet toimivat laitteen käytön aikana materiaaliakohtaisena automaattitarkennuksena. Jokaisella kovuusluokalla on samanlaisen koneistuksen jälkeen toisistaan eroava kovuusluokakohtainen pinta ja näin ollen järjestelmän tieto testattavan materiaalin kovuusluokasta asettaa oikean ennalta määrätyn korjaimen ja kuva tarkentuu sen mukaan kullekin pinnalle soveltuvaksi.

7 PINNANKARHEUS ILMIÖNÄ

Pinnanlaatua on mahdollista tutkia pinnan aaltomaisuuden, muodon, pinnankarheuden ja tutkittavan materiaalin pinnan mittatarkkuuden suhteen. Pinnankarheuden erot ja mittaustulokset perustuvat pinnan muotoon, huippujen ja laaksojen välisiin korkeuksiin tai niiden etäisyyksiin toisiinsa nähden. (Tähtinen 2009, 14)

Pinta muodostuu pinnan taajuuden muodoista ja pinnan taajuuden muodot ovat karkeasti luokiteltu kolmeen ryhmään. Pinnankarheus muodostuu suuritaajuuksista pinnanmuodoista. Keskisuuren taajuuden muutokset muodostavat pinnan aaltomaisuuden. Pienet taajuudet muodostavat pinnan sylinterimäisyyden. (Tähtinen 2009, 14)

7.1 Pinnanlaadun mittarit

Nykyaikaisilla pinnankarheuden mittalaitteilla on mahdollista mitata kertamittauksella useita eri pinnanlaadun suureita. (Tähtinen 2009, 3)

R_a	Pinnankarheuden aritmeettinen keskiarvo
R_t	Pinnankarheuden arvo, perustuu mitta-alueella olevien huippujen ja laaksojen maksimietäisyyksiin (μm)
R_z	Pinnankarheuden arvo, matalimman laakson etäisyys korkeimmasta huipusta
R_v	Pinnankarheuden arvo, matalimman laakson etäisyys keskilinjasta (μm)
R_p	Pinnankarheuden arvo, korkeimman huipun etäisyys keskilinjasta (μm)

7.2 Pinnankarheuden mittaaminen

Pinnankarheuden mittaamista tehdään kahdella toisistaan fysikaalisesti eroavalla mittaustavalla. (Vanhanen 2010, 11)

7.2.1 Mekaaninen mittaus

Mekaanisessa tuntokärkimenetelmässä (Stylus-menetelmä) mitattavan kappaleen pinnassa liikkuu neulan tapainen ohut kärki ja neulan pystysuora liike tallentuu mittausjärjestelmään mistä

lasketaan pinnankarheus. Kärkimateriaalina käytetään yleisesti timanttia, jonka huipun säde on tyypillisesti muutamia mikrometrejä. Menetelmän ongelmaksi on tutkimuksissa havaittu pehmeiden ja helposti naarmuuntuvien materiaalien mittaaminen, sillä mittaustapahtuman aikana neula aiheuttaa pintaan jälkiä ja mahdollisesti naarmuja. Kyseinen menetelmä on tärinäherkkä ja kappaleen nopeuden tai tärinän aiheuttamat mittausrvirheet ovat menetelmän käytössä yleisiä joten mittausta ei voi suorittaa luotettavasti kuin laboratorio-olosuhteissa. (Vanhanen 2010, 11)

7.2.2 Optinen mittaus

Optisessa mittauksessa lasketaan pinnankarheus kappaleen pinnassa hajonneesta valosta. Menetelmässä on huomioitava, että valon aallonpituuden tulee olla soveltuva tutkittavan kappaleen pinnankarheuteen ja ennen mittauksen aloittamista tulee aallonpituuden olla noin kymmenkertainen, jotta tuloksesta saadaan luotettava. Koska optinen mittaus tehdään valon avulla, tutkittavan materiaalin pinta säilyy ehyenä toisin kuin mekaanisella menetelmällä mitattuna. (Vanhanen 2010, 12)

7.2.3 Interferenssimittaus

Pinnakarheutta mitataan myös optiseen interferenssin perustuvilla mittausjärjestelmillä. Interferenssiin perustuvia laitteita käytetään sileiden pintojen mittauksissa sekä optisten komponenttien kuten linssien tutkimiseen. Tuntokärkimenetelmä kuten myös interferenssimittarit ovat tärinäherkkiä ja soveltuvat vain käytettäväksi laboratorio-olosuhteissa. (Vanhanen 2010, 12)

8 KOKEELLINEN OSUUS

Pinnankarheuden vaikutusta kovuusmittauksen tulokseen tutkittiin vertailevilla kovuusmittauksilla. Tutkimus tapahtui tekemällä kovuusmittauksia eri pinnankarheuksilla oleviin kalibrointipaloihin ja tuotantokappaleisiin. Testien ensimmäisessä vaiheessa ilmiötä tutkittiin pelkästään kalibrointikappaleilla.

Kokeellinen osuus aloitettiin valmistamalla testikappaleet VTT:n suosittelemasta kalibrointipalasta. Kovuusmittaukseen sopiviksi testikappaleiksi sahattuun kalibrointipalaan hiottiin pinnankarheudeltaan tuotantokappaleen pinnankarheutta vastaava pinta ja näihin pinnanlaadultaan toisistaan poikkeaviin testikappaleisiin tehtiin vertailevia kovuusmittauksia. Kalibrointipalojen käyttöä vertailualustana voidaan perustella kalibrointipalan normaalilla käyttötarkoituksella, kovuusmittauksen mittausepävarmuuden selvittämisellä. Kalibrointipalan valmistaja on todistuksella vakuuttanut kalibrointipalan kokonaisvaltaisen kovuuden. Kovuus ilmoitetaan HBW yksikkönä, jonka vuoksi vertailu suoraan testituloksen ja kalibrointikappaleen välillä on mahdollista. Koska testikappaleena olevan kalibrointipalan kovuuslukema on tiedossa, voidaan toisistaan poikkeavilla pinnankarheuksilla olevilla testikappaleilla saatuja kovuuslukemia vertailla suoraan kovuustulokseen ja näin pinnankarheuden vaikutus automaattiseen kovuusmittaukseen on luotettavasti tutkittavissa.

Insinööriyön alkuvaiheessa määriteltiin tarvittavat testausmenetelmät heijastusilmiön selvittämiseksi. Aluksi selvitettiin mahdollisuutta suorittaa heijastusmittaukset Ruukin tutkimuskeskuksessa, mutta jo alkuvaiheessa selvisi, ettei tutkimuskeskuksella ole tarvittavaa laitteistoa. Seuraavana vaihtoehtona selvitettiin mittausten suorittaminen Torniossa Outokummun terästehtaalla.

8.1 Heijastuksen mittaaminen

Alkuperäiseen insinööriyön aiheeseen liittyen heijastavuustestejä tehtiin Torniossa Outokummun terästehtaan tutkimuslaboratoriossa. Soveltuvuutta testattiin Ruukki Oyj:n valitsemaan, tuotannon testauslaboratorion V5HRC-B –kovuusmittausasemalla koneistettuun tuotantokappaleeseen sekä kahteen toisistaan pinnaltaan ja kovuudeltaan eroavaan MPA NRW- ja EURO -kalibrointipalaan,

jotta menetelmän soveltuvuutta automaattisen kovuusmittausprosessin tukemiseksi olisi mahdollista arvioida luotettavasti.

Heijastavuutta tutkittiin Erichsen Picogloss 503 -kiiltomittarilla, jolla ennen varsinaisia vertailutestejä suoritettiin tutkimusmenetelmän soveltuvuuden varmistamiseksi viiden mittauksen keskiarvoon perustuva testisarja 60° kulmassa Ruukki Oyj:n toimittamalle tuotantokappaleelle. Soveltuvuutta testattaessa havaittiin testisarjan sisäisien heijastusarvojen vaihteluiden olevan niin suuria, että menetelmä todettiin olevan soveltumaton koneistetun tuotantokappaleen heijastuksen mittaukseen.

Heijastusmittaussarja toistettiin tuotantokappaleesta asian varmistamiseksi ja myös jälkimmäisessä viiden mittauksen sarjassa hajonta oli liian suuri. Soveltumattomuuteen vaikuttavia päätekijöitä olivat koneistuksen muodostamasta topografiasta (pinnan muodosta) aiheutuva valon hallitsematon taittuminen ja tyypillinen koneistetun teräksen pinnan topografian vaikutus luoda varjoja ja heijastumia.

Taulukosta 3. on nähtävissä heijastusmittausten suuri hajonta, kun mitattavana kappaleena on tavallinen tuotantokappale. Kyseisessä tuotantokappaleessa hiilenkatoalue on poistettu kovuusmittausohjelmaan kuuluvassa koneistusvaiheessa, joka on osana normaalia kovuusmittausprosessia. Mittaus on tehty koneistetusta osasta kappaletta, koska kovuusmittaus tapahtuu kyseiseltä alueelta.

TAULUKKO 3. Gloss-arvot (GU) tuotantokappaleesta

Mittausjärjestys	Mittaus 1.	Mittaus 2.
1.	177	233
2.	292	308
3.	301	306
4.	259	296
5.	239	283
keskiarvo	253,60	285,20

8.1.1 Heijastusmittaus

Heijastusta mitataan 20°, 60° tai 85° kulmassa ja mittauskulma määräytyy kappaleen heijastuksen mukaan. 20° kulmassa on mahdollista mitata 0 - 2000 GU (Gloss-arvo SFS-EN ISO 7668 standardissa), 60° kulmassa mittausalue 0 - 1000 GU ja 85° kulmassa tarkastellaan aluetta 0 - 160 GU. GU määritellään standardin mukaan kuuden mittauksen sarjana, jossa mittarin suuntaa ja mittauspaikkaa vaihdellaan satunnaisesti. GU ilmoitetaan mittauksen keskiarvona tai prosentuaalisesti. (Erichsen, 2009. Hakupäivä 28.2.2011)

Mittaukset tehdään käsivaraisesti ja onnistuneen mittauksen varmistamiseksi testaustapahtuman tulee täyttää oikeaoppisen heijastusmittauksen peruskriteerit. Mitattavan pinnan on oltava suora, mittauspinta-alan on oltava yli kaksi neliösentiä ja mitattavan alueen on oltava tasainen, jotta kiiltomittari voidaan kohdistaa mittauspaikkaan tasaisesti. (Luoma 1.2.2011, haastattelu)

Heijastuksen mittausmenetelmä on Outokummulla laajasti käytössä ruostumattoman teräksen tuotannon laadunvalvonta- ja kehitystyössä, mutta heijastuksen mittaukseen koneistetuissa kovuusmittaustestipaloissa menetelmä ei ole soveltuva. (Luoma 1.2.2011, haastattelu)

8.2 Pinnankarheuden mittaaminen

Pinnankarheutta tutkittiin Surfcom 2000SD3 -pinnankarheusmittausasemalla Torniossa Outokummun terästehtaan tutkimuslaboratoriossa. Heijastusmittausten tulosten perusteella laboratorion heijastusmittauksen asiantuntija ehdotti tarkastelua pinnankarheuden näkökulmasta. Heijastuksen mittauksessa esiintyvät mittaushajontaan suuresti vaikuttavat topografiset ominaisuudet ovat luotettavasti mitattavissa laboratorio-olosuhteissa pinnankarheuden mittausvälineillä.

Pinnankarheusmittaukset perustuvat alkuperäiseen testaussuunnitelmaan mitata heijastusta ja siitä syystä mittausjärjestys sekä mitattavat kappaleet ovat samoja. Pinnankarheusmittauksissa (Taulukko 4.) tuli ilmi tuotantokappaleen kuin kalibrintipalojenkin pinnankarheuden suuret. Mittausten perusteella suunniteltiin ja toteutettiin vertailutestit kovuusmittauslaitteelle R_a -arvon ollessa määrittävä suure vertailukappaleen valmistuksessa.

TAULUKKO 4. Pinnankarheusmittaukset Outokummulla

Tuotantokappale	MPA NRW	EURO
R _a	0,24	0,0056
R _z	1,75	0,0473
R _p	1,09	0,0235
R _v	0,66	0,0238
R _t	2,12	0,2176

9 KOVUUSMITTAUS

Testisuunnitelman mukaan kovuustestejä tehdään viisi onnistunutta, kolmen mittauksen testisarjaa jokaiseen testikappaleeseen. Jos sarjan yksittäinen kovuusmittaus epäonnistuu, joko automatiikan häiriön tai käyttäjän toiminnan vuoksi, koko sarja hylätään ja korvataan uudella sarjalla. Kovuusmittaus voidaan joutua hylkäämään esimerkiksi automaattisen kuvantulkinnan virheen vuoksi. Käyttäjän toiminnan vuoksi hylätty mittaus on esimerkiksi sarjan ensimmäisen mittauskohdan asettaminen liian lähelle kappaleen reunaa, jolloin kovuusmittauksessa tulos on huomattavan alhainen, kappaleen reunan antaessa periksi kuulan voimalle.

9.1 Kovuusmittausaseman testit kalibrointipalalla

Testaussuunnitelmaa tehdessä päädyttiin suorittamaan vertailutestausta. Vertailtavina kappaleina oli MPA NRW -kalibrointipalasta valmistetut kappaleet. Valinta tähän kalibrointipalaan tehtiin pinnankarheusmittausten tulosten perusteella, MPA NRW -kalibrointipalan pinnankarheus oli lähempänä tuotantokappaletta ja näin vertailutestikappaleen valmistus olisi helpompaa. Kalibrointipalan valitseminen testikappaleeksi johtui todistuksesta, jolla kalibrointikappaleen valmistaja takaa kyseisen kappaleen kovuuden. Kalibrointipalaa testattiin sekä vakiopinnalla että tuotantokappaleen pinnankarheuteen hiotulla pinnalla. Kyseisten kappaleiden testauksella saadaan nopeasti selvitettyä, vaikuttaako pinnankarheus Brinell- kovuusmittaukseen.

9.1.1 Testikappaleiden valmistus kalibrointikappaleesta

Testikappaleiden valmistamiseksi tuli tehdä työtilaus Raahen terästehtaan tutkimuskeskukseen, jossa MPA NRW –kalibrointipala sahataan kahteen samankokoiseen osaan. Toinen puolikas säästetään vakiopinnalle ja toisesta puolikkaasta irrotetaan kaksi samansuuruisia testipalaa. Testipalat hiotaan laboratoriossa Grit 400 -hiomapaperilla tavoitepinnankarheuteen R_a 0,25. Toinen testipala lähetetään Outokummulle pinnankarheustesteihin hiontamenetelmän tuloksen varmistamiseksi ja toinen testataan tuotannon testauslaboratorion automaattisella kovuusmittausasemalla.

Aiemmissa, Torniossa suoritetuissa pinnankarheustesteissä todettiin tuotantokappaleen pinnankarheuden olevan R_a 0,24, joten tavoitepinnankarheuteen R_a 0,25 tähtäävä Grit 400

-hiomalaikka oli näillä perustiedoilla soveltuvin käytössä oleva vaihtoehto.

9.1.2 Testaus kalibrointikappaleella

Kovuustestejä tehtiin viisi onnistunutta kolmen mittauksen sarjaa. Vertailutestejä tehtiin kokonaisuudessaan 15 mittausta testikappaleeseen sekä 18 mittausta käsittelemättömään kalibrointipalaan, joista yksi kolmen mittauksen sarja hylättiin yhden epäonnistuneen mittauksen vuoksi.

Kalibrointikappaleiden kovuustestit tehtiin laatuteknikko Sakari Alariikolan ohjauksessa. Ennen testauksia kovuusmittauslaitteeseen valittiin mittaasetukset kovuusluokkaan 500. Tällä menettelyllä säädettiin kovuusmittausaseman asetukset kyseisen kovuusluokan mukaiseksi, jolloin kuvansäätö, kontrasti ja korjaimet ovat kovuusluokan ja näin ollen testattavan kappaleen mukaiset. Näiden lisäksi vakioitiin mittaustilan valaistus ja kovuusmittauslaitteeseen vaihdettiin tappijyrsin johon oli vaihdettu uudet, ajamattomat teräpalat. Näillä menetelmillä testaustapahtuma vakioitiin siten, että mahdolliset uusintatellit voidaan tehdä samoin, vertailukelpoisin menetelmin.

9.1.3 Testitulokset kalibrointikappaleella

Ensimmäinen testisarja tehtiin kalibrointipalan käsittelemättömään pintaan. Valmistajan ilmoittama kalibrointipalan kovuus on 392.8 HBW ja testauksissa 15 testin keskiarvoksi muodostui 393.70 HBW. Taulukko 5 ja kuva 4, käsittelemätön kalibrointipala (testisarja 1).

TAULUKKO 5. Testisarja 1.

Sarja 1.	Sarja 2.	Sarja 3.	Sarja 4.	Sarja 5.
391.38	392.22	394.20	394.20	395.15
392.32	392.32	395.15	392.32	395.15
393.26	394.20	394.20	395.15	394.20

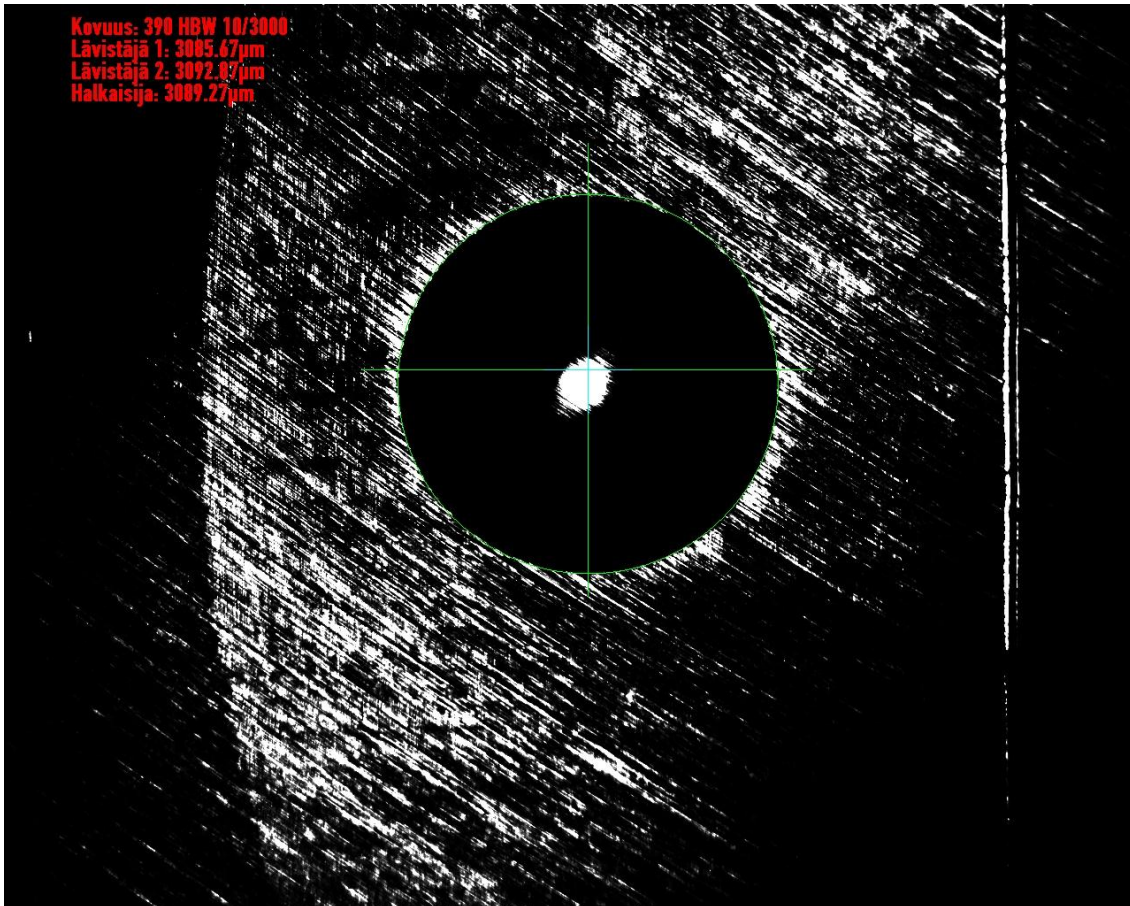


KUVA 4. Käsittelemätön kalibrintipala. (Ruukki Oyj 4/2011)

Toinen testisarja tehtiin hiottuun kalibrintipalaan, jonka tavoitteellinen pinnankarheus oli hiontamenetelmän mukaan R_a 0.25. Testisarjan keskiarvoksi muodostui 383.55 HBW. Taulukko 6 ja kuva 5, hiottu kalibrintipala (testisarja 2.).

TAULUKKO 6. Testisarja 2.

Sarja 6.	Sarja 7.	Sarja 8.	Sarja 9.	Sarja 11.
384.01	387.47	380.40	383.10	376.80
385.84	390.45	382.20	384.01	385.83
384.92	384.01	383.10	384.01	376.83



KUVA 5. Hiottu kalibrintipala. (Ruukki Oyj 4/2011)

9.1.4 Kalibrintikappaleiden vertailutestien tulos

Kovuustuloksia vertailemalla oli todettavissa tuotantokappaleen pinnanlaatua simuloivan kalibrintikappaleen kovuustuloksen tulkintatapahtuman käyttäytyvän testausprosessissa eri tavalla kuin käsittelemättömän, peilipintaisen kalibrintikappaleen. Tuotantokappaletta simuloivan hiotun kalibrintipalan kovuusmittausten keskiarvo oli 10.15 HBW matalampi kuin hiomattoman.

Tässä vaiheessa tutkimusta on syytä epäillä ilmiön toistuvan myös normaalissa tuotannon testauksessa. Suoraan kalibrintipalojen testitulosten on perusteltua olettaa, että myös normaalissa tuotannon kovuusmittauksesta saadaan noin 10 HBW alempia kovuusarvoja. Jos kovuusmittausasema antaa systemaattisesti 10 HBW matalampia kovuusarvoja myös tuotantokappaleille, on seurauksena mahdollisuus, etteivät testitulokset osoita todellista tuotteen kovuutta. Jos ilmiö on luotettavasti todennettavissa vertailutestein, voidaan ajatella tuotannon testausprosessissa hylättävän alhaisten kovuustulosten vuoksi todellisuudessa hyväksyttävissä olevia tuotteita, sekä hyväksyttävän tuotteita, jossa määritelty yläraja todellisesti ylittyi. Näiden

seikkojen perusteella on aiheellista laajentaa testausta kalibrointikappaleesta tuotantokappaleeseen ja selvittää toistuuko ilmiö tuotantokappaleilla.

9.2 Kovuusmittauslaitteen testit tuotantokappaleelle

Kalibrointikappaleelle tapahtuvan pinnankarheuden aiheuttaman kovuustuloksen vaikutuksen selvittämisen jälkeen oli perusteltua laajentaa vertailutestejä myös tuotantokappaleisiin. Tuotantokappaleeksi valittiin 20 millimetriä paksu Ruukin RAEX 450 -levy, joka tilattiin palvelutestauksen levyvarastosta. Metallurgian laboratoriosta selvitettiin valmistettavan hieen maksimikoko ja pinnanlaadun parantamiseksi hiottavat testikappaleet teetettiin sen mukaiseksi.

9.2.1 Testikappaleiden valmistus tuotantokappaleesta

Testikappaleita valmistettiin kokonaisuudessaan kolme kappaletta. Kaksi testikappaletta valmistettiin niin suureksi kuin metallurgian laboratoriossa on mahdollista valmistaa. Tästä määräytyi hiottavien testikappaleiden koko 20 kertaa 80 kertaa 100 millimetriä. Vertailutestipalan koon määritti kovuusmittausaseman koneistusalue. Käsittelemätön vertailutestipala valmistettiin siten, että siihen voidaan tehdä viisi kovuusmittausarjaa koneistuksineen. Tämä vuoksi vertailutestipalan kooksi päätettiin 20 kertaa 160 kertaa 100 millimetriä.

Kaikki testikappaleet irrotettiin näytelevystä polttoleikkaamalla 1,5 kertaa levypaksuutta suurempi näyteaihio, josta testikappale irrotettiin sahaamalla. Aihion polttoleikkaus suuremmaksi ja siitä sahaaminen testikappaleen todellisiin mittoihin on perusteltua polttoleikkauksen aiheuttaman, kovuusmittaukselle epäedullisen, lämpövaikutuksen ehkäisemiseksi. Hiottavat testikappaleet koneistettiin ala- ja yläpuolelta suoraksi sekä koneistettiin ja hiottiin yläpinnasta siten, että yläpinnasta poistettiin perusainetta yhteensä 2.0 millimetriä. Perusainetta poistettiin 2.0 millimetriä hiilenkatoalueen poistamiseksi, kuten tapahtuu myös automaattisessa kovuusmittausprosessissa. Hionta tehtiin Ruukin tutkimuskeskuksella, jossa tuotantokappale hiottiin Grit 400 -hiomapaperilla tavoitepinnankarheuteen R_a 0.25. Hionnan jälkeen toinen testikappale hiottiin Grit 1000 -hiomapaperilla ja kiillotettiin timanttitahnalla peilipinnalle.

Vertailutestipala koneistettiin ja hiottiin vain alapinnasta suoraksi jättäen yläpinta koskemattomaksi. Kovuusmittauksissa kovuusmittausasema koneistaa hiilenkatoalueen

poistamiseksi 2.0 millimetriä, osana normaalia kovuusmittausprosessia. Näin molemmat testipalatyypit olivat saman paksuisia kovuusmittausvaiheessa. Kuvassa 6 valmiit tuotantokappaleet. Pinnanlaadun erot ovat selvästi havaittavissa.



KUVA 6. Valmiit tuotantokappaleet ennen testausta. (Ruukki Oyj 8/2011)

Vertailupalan testaussuunnitelmassa tehdään 5 kappaletta normaalin testausprosessin mukaista kovuusmittaussarjaa. Mittaukset tehdään kovuusmittausaseman koneistamaan pintaan. Hiotut kappaleet testataan kovuusmittausaseman kalibrointiohjelmalla kalibrointitelineessä. Kalibrointiohjelma suorittaa automaattisen kovuusmittauksen ilman koneistusta.

Kalibrointitelineen käyttöä voidaan perustella sillä, että kalibrointiasetuksilla suoritettuna mittausprosessin aikana, kovuusmittausaseman painin kiinnittyy testikappaleen sijasta telineen takaosaan ja mahdollistaa kovuusmittaukset normaalia testikappaletta pienemmästä kappaleesta, kuten näissä vertailumittauksissa oli tarpeen tehdä. Lisäksi painimella kovuusmittauslaitteeseen lukittu kalibrointiteline antaa testin suorittajalle mahdollisuuden siirtää testikappaletta testisarjojen välillä, jolloin mittaukset saadaan kohdistettua haluttuun osaan testikappaletta.

9.2.2 Testaus tuotantokappaleesta

Kovuustestejä tehtiin kokonaisuudessaan kahdeksan sarjaa, 24 mittausta. Tehdyistä testisarjoista viisi oli onnistuneita kolmen mittauksen sarjoja. Kolme testisarjaa hylättiin. Kaikissa hylkäyssyynä oli käyttäjän asettama, mittauksen aloituspaikan väärä sijainti. Väärän aloituspaikan sijainnin vuoksi testisarjan aloituspiste osui liian lähelle kappaleen reunaa ja sen seurauksena painintapahtuman aikana reuna antoi painimen voimalle periksi ja kovuustulos oli sen seurauksena selvästi epänormaali.

9.2.3 Testitulokset tuotantokappaleesta

Ennen testisarjan aloitusta koneen asetukset vakioitiin kalibroitukappaleiden mittausten mukaisiksi erillisten testien vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi. Koneistukseen käytettävään tappijyrtimeen vaihdettiin uudet teräpalat testaussuunnitelman mukaisesti.

Kolmas testisarja, sarjat 12 - 16, tehtiin käsittelemättömän levyn pintaan jonka kovuusmittausten keskiarvoksi saatiin 15- mittauksen perusteella 454 HBW. Taulukko 7 ja kuva 7, koneistettu tuotantokappale (testisarja 3).

TAULUKKO 7. Testisarja 3.

Sarja 12.	Sarja 13.	Sarja 14.	Sarja 15.	Sarja 16.
443	459	458	449	449
453	461	460	448	451
451	456	453	459	460

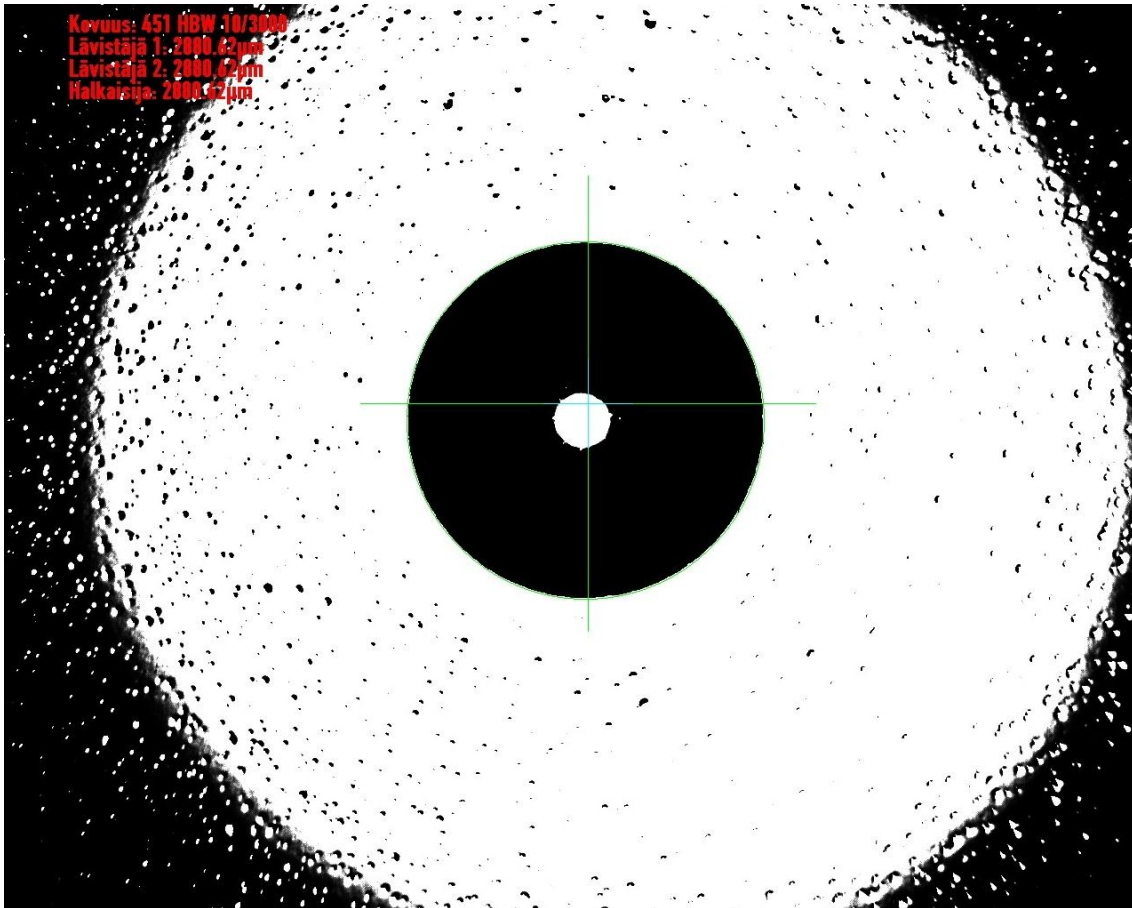


KUVA 7. Koneistettu tuotantokappale. (Ruukki Oyj 8/2011)

Neljäs testisarja, sarjat 17 - 22, tehtiin hiottuun ja kiillotettuun, peilipintaiseen tuotantokappaleeseen. Kovuusmittausten keskiarvoksi saatiin 450 HBW. Taulukko 8 ja kuva 8, tuotantokappale peilipinnalla (testisarja 4).

TAULUKKO 8. Testisarja 4.

Sarja 17.	Sarja 18.	Sarja 19.	Sarja 20.	Sarja 22.
443	453	443	453	445
440	451	446	456	446
458	452	461	451	453



KUVA 8. Tuotantokappale peilipinnalla. (Ruukki Oyj 8/2011)

Viides testisarja, sarjat 23 - 29, tehtiin Grit 400 -hiomapaperilla hiottuun tuotantokappaleeseen. Kovuusmittausten keskiarvoksi saatiin 449 HBW. Taulukko 9 ja kuva 9, tuotantokappale hiotulla pinnalla (testisarja 5).

TAULUKKO 9. Testisarja 5.

Sarja 23.	Sarja 25.	Sarja 27.	Sarja 28.	Sarja 29.
446	445	450	451	445
443	454	458	455	459
443	445	452	446	449



KUVA 9. Tuotantokappale hiotulla pinnalla. (Ruukki Oyj 8/2011)

Verraten kovuusmittaustuloksia tuotantokappaleiden peilipintaisen ja hiotun testikappaleen kesken, tulosten samankaltaisuus tuli yllätyksenä. Näiden pintojen kovuusmittausten tulosten ero oli ainoastaan 1 HBW. Myös käsittelemättömän testikappaleen ja peilipinnalle hiotun testikappaleen välinen ero kovuusmittausten keskiarvossa oli ainoastaan 4 HBW. Mittauksen pyöritys oli perusteltua laatuteknikko Sakari Alariikolan mukaan normaalista tuotantokappaleiden kovuusmittauskäytännöstä.

10 VERTAILUTESTIEN YHTEENVETO

Kovuustulosten eroavaisuus testisarjojen kesken oli merkittävä. Ensimmäisten testien jälkeen oli oletettavissa, että ilmiö tulee toistumaan tuotantokappaleita testattaessa. Kalibrintikappaleiden tulosten perusteella oli syytä olettaa, että pinnankarheuden vaikutus kovuusmittaustuloksiin myös tuotantokappaleilla olisi huomattavan suuri. Tämän ensiarvion perusteella insinööriyön tilaajan ja ohjaajan kanssa sovittiin, että insinööriyön tekemistä jatketaan testaamalla tuotantokappaleita.

Kalibrintipalojen testeissä havaittu ilmiö, yli 10 HBW:n eroavaisuus kovuusmittauksissa erilaisten pintojen välillä, ei kuitenkaan toistunut tuotantokappaleiden testauksessa. Vaikka ensimmäisten testien jälkeen oli syytä olettaa, että ilmiö on laaja-alainen ja koskettaa kaikkia kovuusmittauksia, tuotantokappaleiden kovuusmittauksissa ei samankaltaista eroavaisuutta havaittu. Tämän perusteella kalibrintipalojen testauksen jälkeen syntynyt epäily kovuusmittauksen suuresta mittausepävarmuudesta oli virheellinen.

Syy, miksi ilmiö korostui kalibrintikappaleiden kovuusmittauksissa näin voimakkaasti, on epäselvä ja jää tässä työssä varmuudella selvittämättä. Todennäköisesti kovuusmittaustulosten eroavaisuus kalibrintikappaleen erilaisten pinnankarheuksien kesken, johtuu testikappaleiden vaihtelevasta heijastusominaisuudesta kuvaushetkellä.

Kovuusmittausaseman mittaushetkellä ottamista kuvista on selvästi havaittavissa pinnankarheuden vaikutus kuvien laatuun. Mitä karheampi on pinta, sitä tummempia ovat kuvat ja sen seurauksena kuvasta tapahtuvan painumakalotin määrittäminen vaikeutuu. Tumma kuvasta painumakalotin reunojen määrittäminen on haastavaa joten kameran modernisoinnilla voisi olla merkittävä parannus kuvan laatuun.

Verratessa peilipinnalle hiottua tuotantokappaletta ja vakiona peilipintaista kalibrintikappaletta, ero heijastavuudessa on hiontamennettelyn jälkeenkin silminnähden suuri. Kalibrintikappale heijastaa huomattavasti enemmän kuin tuotantokappale, ja juuri tämä seikka on vaikuttanut merkittävästi insinööriyön alkuperäisen idean syntyyn.

Heijastavuuden vaikutus kovuusmittauksen tulokseen oli alkuperäinen insinööriöni aihe. Tämän aiheen vuoksi heijastavuusmittauksia suoritettiin Outokummun terästehtaan tutkimuslaboratoriossa Torniossa ja aihe muuttui sieltä saatujen tutkimustulosten ja lausuntojen perusteella käsittelemään pinnankarheuden vaikutusta kovuusmittaukseen. Insinööriössä saatujen pinnankarheusmittausten ja erilaisiin pintoihin tehtyjen vertailutestien perusteella on syytä epäillä, ettei heijastuksen vaikutusta kovuusmittauksen tuloksen tulkintaan voida täysin poissulkea.

11 YHTEENVETO

Insinööriyössä tuli tutkia pinnankarheuden vaikutusta Brinell–kovuusmittaukseen. Työn tekemisen haasteeksi muodostui insinööriyön alkuvaiheessa havaittu, lähdemateriaalin vaikea saatavuus. Kovuusmittauksen ongelmia on tutkittu maailmalla laajalti mutta työssäni käsiteltyä ilmiötä, pinnankarheuden vaikutusta Brinell–kovuusmittaukseen, ei ole joko tutkittu lainkaan tai vaihtoehtoisesti tutkimuksia ei ole julkaistu. Objektiiivisesti ajateltuna jälkimmäinen vaihtoehto vaikuttaa realistiselta.

Työn vaiheet on jaoteltavissa selkeästi kahteen vaiheeseen: teoriaosuuteen sekä kokeelliseen osuuteen. Teoriaosuudessa käsiteltiin työn ympäristöä, kovuusmittausta tapahtumana sekä standardien osalta, mittaustapahtuman muuttujia ja pinnankarheutta ilmiönä ja sen mittausten menetelmiä. Kokeellisessa osuudessa mitattiin testikappaleiden heijastusta, pinnankarheutta ja tehtiin vertailutestejä kalibroitikappaleilla sekä tuotantokappaleilla eri pinnankarheuksiin hiottuihin pintoihin.

Työ valmistui alkuperäistä suunnitelmaa myöhemmin, merkittävä tekijä aikataulun muutokseen oli kalibroitikappaleiden vertailutesteissä havaittu ilmiö jonka seurauksena työtä päätettiin jatkaa tuotantokappaleiden vertailutestauksella.

Insinööriyössä tehtyjen vertailutestien tulosten mukaan, pinnankarheuden vaikutus Brinell–kovuusmittaukseen on olemassa mutta ilmiö korostuu merkittävästi ainoastaan kalibroitikappaleiden vertailutesteissä. Tutkimuksissa havaittiin pinnankarheuden vaikuttavan kovuusmittausaseman ottamaan kuvaan joka muuttui sävyltään tummemmaksi pinnankarheuden R_a -arvon kasvaessa. Tämän huomion perusteella on todettavissa pinnankarheuden vaikuttavan suoranaisesti kuvantulkintaan.

Suurimmaksi tekijäksi vertailutestien mittaustulosten eroavaisuuksissa kalibroitikappaleilla epäilen kameran ja kuvankäsittelyohjelmiston kykyä käsitellä tummia kuvia. Tämän oletuksen perusteella tärkeimmäksi jatkokehitysmahdollisuudeksi muodostui kameran ja kuvankäsittelyohjelmiston modernisointi.

12 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Insinööriötä tehdessäni ilmeni muutamia mahdollisia jatkokehitysmahdollisuuksia. Näistä mielestäni tärkein on kovuusmittausaseman kameran modernisointi siten, että tummasta kuvasta otettu kuva on tarkka. Kameran modernisointia tukee automaattitarkennuksen kehittyminen, tästä sain kokemusta perehtyessäni tutkimuskeskuksen uuden kovuusmittausaseman toimintaan. Uuden kovuusmittausaseman automaattitarkennus on kehittyneempi ja kuvan laatu on sekä erottelukyvyltään että tarkkuudeltaan suuresti työssäni tarkasteltuja kuvia selkeämpi.

Myös kovuusmittausaseman mittauskohdan valaisu eri valon aaltopituuksilla voisi vaikuttaa kuvan laatuun ja sen seurauksena parantaa tummien kuvien tarkastelua. Lisäksi kovametallikuulan aiheuttaman painumakalotin mittaaminen konenäkösovelluksella ja sen perusteella tapahtuva automaattinen kovuuden määrittäminen voisi olla tulevaisuudessa vaihtoehto nykyiseen kuvantulkintaan.

LÄHDELUETTELO

Emcotest GmbH, 2007. VR5C Instruction manual 2007. Hakupäivä 28.2.2011.
www.emcotest.com

Erichsen GmbH, 2009. Technical description, PICOGLOSS 503. Hakupäivä 28.2.2011.
www.erichsen.de

Germak, A. Origlia, C. 2007. Analysis and estimation of possible large systematic error in Brinell hardness measurements. HARDMEKO 2007, 76-80

Gordon England, 2011. Measurement of hardness. Hakupäivä 12.4.2011.
www.gordonengland.co.uk/hardness/

Kaufmann, E. 2003. Characterization on materials volume 1. New Jersey: John Wiley & Sons.

Luoma, E., tutkimusassistentti, Outokumpu Oyj, Tornio Works 2011. Haastattelu 1.2.2011.
Tekijän hallussa. Tornio Works tutkimuskeskus.

Ma, L., Low, S., Song, J. 2007. Investigation of Brinell indentation diameter from confocal microscope measurement and fea modeling. HARDMEKO 2007, 65-70

Mendes, V., Leta, F. 2003. Automatic measurement on Brinell and Vickers hardness using computer vision techniques. IMEKO 2003, 992-995

Mikes, 2011. FINAS Finnish Accreditation Service. Hakupäivä. 7.8.2011. www.mikes.fi/

Petik, F. 1983. Problems of hardness measurement. Measurement 1 (1), 24-30.

Ruukki Oyj, 2011. Konzernirakenne. Hakupäivä 15.5.2011. www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konzernirakenne

SFS-EN ISO 6506. Metallien Brinellin kovuuskoe. 2006. Suomen Standardoimisliitto SFS. Helsinki. Hakupäivä 30.3.2011. www.sfs.fi

Sonar Oy, 2011. Sovellusohje. Hakupäivä 17.4.2011.

www.sonar.fi/media/pdf/Kovuus_Sovellusohje.pdf

Tähtinen, S. 2009. Pinnanlaadun määrittystekniikat ja mittauslaitteet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö.

Teräsrakenneyhdistys ry, 2011. Teräksen mekaanisten ominaisuuksien perusteet. Hakupäivä 3.2.2011. www.terasinfo.fi/Esdep/Wq2l31fr.htm

Tuk, W. 2007. Hardness evaluation with an optical ring light. Optic letters 32 (7), 775-777 .

Vanhanen, J. 2010. Pinnankarheuden mittaaminen kolmiaaltolaserilla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.