



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TYÖKALUPITIMEN MERKITYS KONEISTUSPROSESSISSA

TEKIJÄ: Jari Tuhkanen EKM14SK

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Jari Tuhkanen	
Työn nimi Työkalupitimen merkitys koneistusprosessiin	
Päiväys	31.10.2018
Sivumäärä/Liitteet	65/3
Ohjaajat Tuntiopettaja Sami Ipatti, Lehtori Ari Vuoti	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppanit Camcut Oy, Savon ammattiopisto	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus puolueettomasti tutkia, miten erilaiset työkalupitimet vaikuttavat jrsinnässä itse koneistusprosessiin, jrsityn pinnan yleiseen laatuun ja mittatarkkuuteen.</p> <p>Eroja tutkittiin tekemällä testi neljällä erilaisella työkalupitimellä, ja jokaisella näistä koneistettiin sama työstö-rata samalla työkalulla. Koneistuksen aikana tehtiin erilaisia mittauksia, ja lopuksi eri pitimillä koneistetut muodot mitattiin testikappaleesta. Näitä mittaustuloksia analysoimalla saatiin työkalupidinten erot näkyviin, ja niitä voitiin verrata keskenään.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena ei ole asettaa erilaisia työkalupitimiä paremmuusjärjestykseen. Eri konepajoissa on lukematon määrä erilaisia työstökoneita, työkappaleita, työstömenetelmiä sekä koneistajia, ja sopivan työkalupitimen valinta on kaikkien näiden tekijöiden summa. Tarkoituksena on siis lähinnä tuoda eri työkalupidinten ominaisuudet esiin ja vertailla niitä keskenään, ja sitä kautta pohtia millaiseen koneistustyöhön nämä voisivat soveltua konepajoissa.</p>	
Avainsanat Koneistus, jrsintä, valmistustekniikka, tuotantotekniikka, tutkimus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author Jari Tuhkanen			
Title of Thesis The importance of a tool holder in a machining process			
Date	31.10.2018	Pages/Appendices	65/3
Supervisors Teacher Sami Ipatti, Lecturer Ari Vuoti			
Client Organisation /Partners Camcut Oy, Savo vocational collage			
<p>Abstract</p> <p>This thesis aimed to study impartially how different tool holders affect the machining process, the overall quality and dimensional accuracy of the milled surface.</p> <p>Differences were studied by performing a test with four different tool holders, and each of them was machined with the same milling tool and with the same toolpath. Different measurements were made during machining, and finally the machined forms with different holders were measured from the test piece. By analyzing these measurement results, the tool holders could be compared to each other.</p> <p>The purpose of the thesis was not to put different tools into the order of rank. It was therefore mainly intended to bring out the features of different tool holders and compare them with each other, and thus consider for what kind of machining work these could be used in the machining workshops.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Machining, milling, manufacturing, tool holder, research</p>			

ESIPUHE

Haluan kiittää opinnäytetyön aiheesta Camcut Oy:n Mikko Vepsäläistä, joka asian otti puheeksi joskus vuonna 2017. Kiitän myös koko Camcut Oy:tä, joka toimitti tähän työhön tarvittavat työkalut, sekä oli aktiivisesti mukana työn toteuttamisessa.

Haluan myös kiittää Savon Ammattiopistoa. Tämä opinnäytetyö on tehty pitkälti heidän kalustollaan ja laitteillaan. Erityisesti Jukka Marttinen antoi omaa työpanostaan tämän opinnäytetyön käytännön toteuttamiseen.

Kiitän myös perhettä, kaikkia läheisiä ja mahtavia luokkatovereita, joiden avulla työn ohessa käydyt insinööriopinnot on saatu vietyä hyvin päätökseen hyvällä yhteishengellä. Ilman hyviä luokkakavereita ja ryhmähenkeä opiskelu olisi ollut varmasti vaativampaa ja vaatinut enemmän ponnisteluja.

Kiitos myös kaikille meitä insinööriopintojen matkan varrella opettaneille opettajille, sekä muullekin Savonian opistotien yksikön henkilökunnalle. Opiskelu on ollut mukavaa ja kehittänyt itseä monellakin osa-alueella. Erityiskiitos monimuoto-opetuksen järjestämisestä, ilman tätä omalla kohdallani ainakin olisi opiskelu ollut huomattavasti hankalampaa ja tuskin koko tutkintoa olisi tullut edes mietittyä.

Kuopiossa 31.10.2018

Jari Tuhkanen

SISÄLTÖ

1	OPINNÄYTETYÖHÖN LIITTYVÄÄ TIETOA.....	7
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	7
1.2	Savon ammattiopisto, koneistamo, Sahakatu 1, Kuopio	8
1.3	Savon ammattiopisto, koordinaattimittauslu, Katekuja 9, Kuopio.	8
1.4	Camcut Oy, Iisalmi.....	8
1.5	Opinnäytetyössä syntyneet aineistot	8
1.6	Teemahaastattelut opinnäytetyöhön liittyen.....	9
2	KONEISTUS YLEISESTI	11
2.1	Lastuavan työstön teoriaa	11
2.2	Lastuamissuureet.....	11
2.3	Jyrsintä yleisesti.....	12
2.4	Dynaaminen jyrsintä	13
3	JYRSINNÄSSÄ KÄYTETTÄVÄT TYÖKALUPITIMET	15
3.1	Yleistä pitimistä	15
3.2	Er kiristysholkki-istukka	16
3.3	Weldon pidin	18
3.4	Hydraulinen tarkkuusvoimaistukka	20
3.5	Lämpökutiste-istukka	22
3.6	Erialaisten pitimien hintavertailu	25
4	TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT MITTAUSMENETELMÄT	26
4.1	Empiirinen tutkimus	26
4.2	Värähtelymittaus.....	26
4.3	Äänenvoimakkuuden mittaus	27
4.4	Jyrsinnässä syntyvän lämmön mittaaminen	28
4.5	Pinnankarheus.....	28
4.6	Koordinaattimittaus.....	30
5	TUTKIMUKSEN KUVAUS	33
5.1	Yleistä tutkimuksesta ja tutkimuksen kulku	33
5.2	Työkalupidinten soveltuvuus dynaamiseen jyrsintään	33
5.3	Tutkimuksessa käytetyt koneet ja laitteet.....	34
5.4	Testikappale ja materiaali.....	37

5.5	Kiinnitys	38
5.6	Tutkimuksessa käytetyt työkalut	39
5.7	Työstöarvot	40
5.8	Kappaleen mallintaminen ja työstöradat	41
6	TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT MITTAUSLAITTEET JA MITTAUSTULOKSET	42
6.1	Värähtelymittaus.....	42
6.2	Äänenvoimakkuuden mittaus	44
6.3	Jyrsinnässä syntyvän lämmön mittaaminen	46
6.4	Pinnankarheus.....	47
6.5	Koordinaattimittauskoneella mitattavat asiat.....	50
6.6	Tutkimuksen mittaustulokset koottuna taulukkoon	53
7	LOPPUTULOKSET TYÖKALUPIDINTEN EROISTA.....	54
7.1	Pitimien vertailu umpiuran jyrsinnässä.....	54
7.2	Mihin erilaiset pitimet soveltuvat	59
8	LOPPUPOHDINNAT	60
9	LÄHTEET	61

1 OPINNÄYTETYÖHÖN LIITTYVÄÄ TIETOA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, miten erilaiset työkalupitimet vaikuttavat koneistusprosessiin, sekä koneistetun pinnan tarkkuuteen ja laatuun. Eroja tutkitaan jysimällä samoilla työkaluilla ja työstöarvoilla samat työstöradat kappaleeseen, vaihtamalla ainoastaan työkalupidin testien välillä. Näin ollen saamme erilaisten pidinten erot näkyviin.

Työssä pyritään selvittämään erot suurimmaksi osaksi puolueettomasti mittaamalla. Myös aistinvaraista tarkastelua koneistuksen suhteen käytetään, ja myös sen perusteella tehdään havaintoja. Työssä mitataan monia eri asioita, ja jokainen mittaustulos pyrkii antamaan erilaista näkökulmaa lopputuloksesta.

Opinnäytetyön tarkoituksena ei ole asettaa erilaisia työkalupitimiä paremmuusjärjestykseen. Eri konepajoissa on lukematon määrä erilaisia työstökoneita, työkappaleita, työstömenetelmiä sekä koneistajia, ja sopivan työkalupitimen valinta on kaikkien näiden tekijöiden summa. Tarkoituksena on siis lähinnä tuoda eri työkalupidinten ominaisuudet esiin ja vertailla niitä keskenään, ja sitä kautta pohtia millaiseen koneistustyöhön nämä voisivat soveltua konepajoissa.

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Savonia ammattikorkeakoulun, Savon ammattiopiston sekä Camcut Oy:n kanssa.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

Tässä opinnäytetyössä esiintyy seuraavia lyhenteitä ja määritelmiä:

- Sakky – Lyhenne Savon Ammattiopistosta
- Koneistus – Kappaleen muokkaamista lastuavilla työstömenetelmillä halutunlaiseksi
- Jysintä – Tässä opinnäytetyössä metallin työstämistä tähän työhön tarkoitettulla koneistuskeskuksella ja koneistustyökalulla
- CNC – Computerized numeric controlled, toisin sanoen tietokoneohjattu
- CNC-työstökeskus (työstökeskus) – tietokoneohjattu ohjelmoitava jysinkone, jota käytetään erilaisten kappaleiden työstämiseen lastuavilla menetelmillä
- CAM-ohjelmointi – Computer aided manufacturing, työstökoneen ohjelmointia tietokoneohjelmalla, esimerkiksi tässä opinnäytetyössä Mastercamilla
- Kara – Jysinkoneen pyörivä osa, johon työkalu kiinnitetään. Kara siis pyöriessään työstää kappaletta työkalulla
- Työkalupidin – Työkalun karalle kiinnittämiseen tarkoitettu koneen osa
- Istukka – Sama asia kuin työkalupidin
- Kovametalli – Materiaali, josta lastuavia työkaluja valmistetaan pulverimetallurgisesti
- Jysintappi – Metallin työstämiseen tarkoitettu työkalu
- Koordinaattimittauskone (CMM) – Coordinate measuring machine, tietokoneohjattu mittauskone, jolla koneistettuja kappaleita mitataan suurella tarkkuudella

- Pinnanlaatu (pinnankarheus) – Työstetyn kappaleen pinnan pieniä epätasaisuuksia kuvaava mitattava määritelmä
- Lastuamisnopeus – Nopeus, jolla työkalu lastuaa materiaalia irti työstettävästä kappaleesta
- Pöytäsyöttö – Työkalun keskiön liikkeen nopeus, jolla työstettävää kappaletta koneistetaan

1.2 Savon ammattiopisto, koneistamo, Sahakatu 1, Kuopio

Kappaleiden koneistus suoritettiin Savon ammattiopiston tiloissa osoitteessa Sahakatu 1, jossa Savon ammattiopistolla sijaitsee yksi lukuisista konesaleista. Sahakadulla koulutetaan pääasiassa aikuispuolen koneistajia, sekä työstökoneita on myös mahdollista käyttää yritysten tutkimus- ja tuotantokäyttöön. Testi koneistettiin vaakakaraisella Mori Seikin CNC-työstökeskuksella.

1.3 Savon ammattiopisto, koordinaattimittausolu, Katekuja 9, Kuopio.

Savon ammattiopistolla on Hydroline Oy:n tiloissa Zeiss -merkinen koordinaattimittauskone, joka soveltui erinomaisesti tähän opinnäytetyöhön tarvittaviin mittauksiin. Koordinaattimittakoneella saatiin luotettavasti vertailukelpoiset tulokset testauksesta, ja näin ollen inhimilliset mittausvirheet saatiin minimoitua tuloksista pois.

1.4 Camcut Oy, Iisalmi.

Camcut Oy on vuonna 2014 perustettu yritys. Toiminta-ajatuksena on tarjota asiakkaille konepajoissa kaikki tarvittavat välineet aina työstökoneiden työkaluista suunnittelupöydän ohjelmistoihin. Camcut Oy halusi olla mukana tässä opinnäytetyössä toimittamalla tarvittavat työkalut, ja saa samalla puolueettomia tutkimustuloksia erilaisista työkalupitimitä.

1.5 Opinnäytetyössä syntyneet aineistot

Tästä opinnäytetyöstä on tehty kaksi koostevideota Youtubeen Camcut Oy:n toimesta.

Ensimmäisessä videossa on kooste testistä, jossa tutkittiin työkalupitimien eroja uran jyrinnässä.

Toisessa videossa on kooste testistä, jossa tutkittiin työkalupitimien eroja dynaamisella jyrintämenetelmällä.

Koostevideoiden linkit Youtubeen:

1. [Työkalupitimen merkitys uran jyrinnässä](#)
2. [Työkalupitimen merkitys dynaamisessa jyrinnässä](#)

1.6 Teemahaastattelut opinnäytetyöhön liittyen

Opinnäytetyön teoriapuoleen liittyen tehtiin teemahaastatteluja, jotta saataisiin yleistä kuvaa ja pohjaa erilaisten pitimien soveltuvuuksista eri koneistusprosesseihin. Haastatteluja tehtiin kaksi kappaletta, ja ne toteutettiin käymällä keskustelua yleisesti työkalupitimestä, joko kasvotusten tai sähköpostin välityksellä. Haastattelut tuovat työhön yleistä näkökulmaa, millaisia ominaisuuksia eri pitimillä ajatellaan olevan ammattilaisten keskuudessa.

Ensimmäisessä haastattelussa käytiin keskustelua Savon Ammattiopiston kouluttajien Veikko Saikkosen ja Mauri Lukkarisen kanssa. Heillä molemmilla on kymmenien vuosien kokemus koneistuksesta, ja näin ollen heiltä saa hyvää kokemukseen perustuvaa tietoa liittyen tähän opinnäytetyöhön. Alla on listattuna eri pitimiin liittyviä kommentteja.

Er kiristysholkki-istukka

- Hankintahinta on edullinen
- Samaan pitimeen saa erikokoisilla holkeilla hyvin eri työkaluja kiinnitettyä
- Pitovoima kohtuullinen maltillisilla työstöarvoilla. Suuremmilla työstöarvoilla jyrshintapit luistavat ulos pitimestä helposti
- Työkalun keskitystarkkuus suhteellisen hyvä
- Ei voida käyttää suurilla karanopeuksilla suurnopeuskoneistukseen.

Weldon pidin

- Hankintahinnaltaan edullinen pidin
- Hyvä pidin vaihtopalajyrsimille, joissa ei tarvita niin tarkkaa keskitystarkkuutta, mutta pitovoimaa on oltava riittävästi
- Keskitystarkkuus huono, johtuen ruuvikiristyksessä työkalun kylkeen
- Työkaluissa oltava ura kiristysruuville
- Samaan pitimeen käy vain yhden kokoiset työkalut
- Ei voida käyttää suurilla karanopeuksilla suurnopeuskoneistukseen.

Hydraulinen pidin

- Hankintahinnaltaan kalliimpi verrattuna muihin
- Todella hyvä, kun koneistetaan suuremmilla työstöarvoilla ja tarvitaan paljon kiinnipitovoimaa työkalulle
- Voidaan käyttää suurilla karanopeuksilla suurnopeuskoneistuksessa
- Pidin on tukevin ja pitimestä johtuvia värinöitä saadaan ehkäistyä
- Työkalun kestoikä on pidempi verrattuna Er- tai Weldon pitimeen
- Voidaan käyttää vähennysholkkeja, jolloin samaan pitimeen saadaan erikokoisia työkaluja kiinnitettyä. Holkit kuitenkin kalliimpia kuin esimerkiksi Er-holkit.

Lämpökutiste istukka

- Erinomainen esimerkiksi muotopintojen viimeistelyjyrsintään
- Voidaan käyttää suurilla kierrosnopeuksilla
- Hyvä työkalun kiinnitysvoima
- Työkalun keskitystarkkuus erinomainen
- Suuremmilla työstöarvoilla koneistettaessa huono tukevuus
- Vaatii induktiolämmittimen työkalun asettamista varten.

Toisessa haastattelussa haastateltiin työkalu- ja pidinvalmistaja Sandvik Coromantin asiantuntijaa Heikki Kirjavaista. Heikkiä haastateltiin sähköpostilla.

Sandvik on tutkinut asiaa omissa laboratorioissaan, ja saaneet totta kai myös asiakkailtaan kymmenien vuosien ajan palautetta erilaisista työkalupitimistä. Sandvik on tehnyt taulukon, jossa verrataan eri pitimien eri ominaisuuksia. Taulukko on alapuolella, josta selviää eri pitimien ominaisuuksia:

	CoroChuck 930	Kutistusistukka	Voimaistukka (neulalaakeri)	ER-kiiristysholkki- istukka	Weldon/ ISO9766
 Erittäin hyvä  Hyvä  Tyydyttävä					
* = käytä ainoastaan holkkin kanssa					
Ulos vetävien voimien kesto, momentinvälityskyky					
Helppo käsitellä					
Hyvä tarkkuus					
Monipuolisuus					
Ulottuvuus					

Kuva 1: Eri pitimien ominaisuuksien vertailu (Sandvik Coromant 2018.)

Kuten taulukosta nähdään, tukevin ja tarkin vaihtoehto on hydraulinen istukka Corochuck 930. Seuraavaksi suositeltavaa vaihtoehtoa on vähän vaikeampi määrittää, lähinnä riippuu mitä ominaisuuksia istukalta halutaan. Heikki muisti mainita myös, että Er holkki-istukoissa on todella paljon eroja. Erot johtuvat valmistajan toleransseista, ja mille kierrosluvulle istukka on tasapainotettu. Yleensä laadukkaammat istukat ovat myös vähän kalliimpia hinnaltaan.

2 KONEISTUS YLEISESTI

Koneistaminen on kappaleen muovaamista halutunlaiseksi lastuavilla työstömenetelmillä. Koneistus aloitetaan aina aihioista, josta poistetaan materiaalia eri koneistustekniikoita käyttäen. Yleisimpiä lastuavia koneistustekniikoita ovat sorvaaminen, jysintä sekä poraaminen. Koneistajan tehtäviin kuuluu valmistaa yleensä tarkkamittaisia koneiden osia valmistuspiirustusten ja toleranssien mukaisesti. Koneistaminen on todella tehokas tapa valmistaa tarkkamittaisia koneiden osia, ja lähes jokaisesta koneesta tai laitteesta löytyy useita koneistettuja osia.

2.1 Lastuavan työstön teoriaa

Lastuamisessa työstettävää materiaalia huomattavasti kovempi terä tunkeutuu työstettävään kappaleeseen irroittaen siitä lastuja plastisen muodonmuutoksen seurauksena. Lastuaminen voidaan jakaa terän geometrian perusteella kahteen eri luokkaan: geometrisesti määrätynmuotoisella terällä lastuamiseen, kuten sorvaus ja jysintä, sekä lastuamiseen geometrisesti epämääräisen muotoisella terällä, kuten hionta ja hienotyöstömenetelmät. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki, Sihvonen, 2003, 140.)

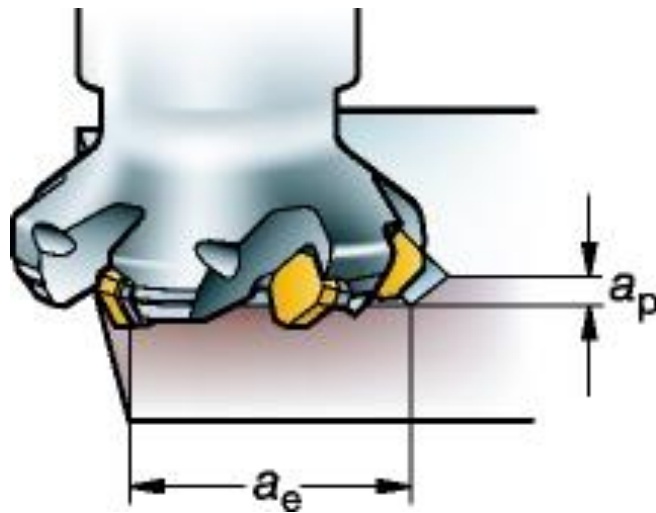
Lastuaminen on joustava ja monipuolinen työstömenetelmä. Lastuavista työstömenetelmistä löytyy sovellus lähes kaikkiin niin sisä- kuin ulkopuolisiin muotoihin. Törmätessäsi muotoon jota ei nykyisillä lastuamisterillä ja menetelmillä pysty toteuttamaan tarjoavat laitevalmistajat myös asiakaskohtaisesti valmistettuja teriä ja apulaitteita. Lastuamalla voidaan työkappaleesta poistaa suuria ainemääriä tehokkaasti, minkä jälkeen kappale voidaan viimeistellä haluttuihin mittatarkkuuksiin viimeistelymenetelmillä. Kappaleen vaatiessa hyvää pinnanlaatua ja mittatarkkuutta on lastuaminen lähes korvaamaton työstömenetelmä. (Ihalainen ym. 2003, 140.)

2.2 Lastuamissuureet

Lastuamisessa olennaiset suureet ovat lastuamisnopeus, syöttö, sekä lastuamissyvyys. Lastuamisnopeutta merkitään kirjaimella v ja sen yksikkö on m/s tai m/min . Se kertoo työkappaleen ja terän välisen lastuamisliikkeen nopeuden. (Ihalainen ym. 2003, 141.)

Syöttö kertoo, kuinka paljon terä siirtyy lastuttavassa kappaleessa sivuttaissuunnassa uuden lastun kohdalle kappaleen pyöriessä yhden kierroksen, esim. sorvauksessa, missä syöttöliike on jatkuva. Syöttöliike voi myöskin olla jaksottaista, jolloin terää siirretään vasta lastuamisliikkeen jälkeen, kuten esimerkiksi höyläyksessä. Syöttö siis määrittää syöttöliikkeen suuruuden, sitä merkitään kirjaimella f ja sen yksikkönä on mm/min . (Ihalainen ym. 2003, 141.)

Lastuamissyvyys (ap) kertoo, kuinka paksu kerros materiaalia poistetaan työstettävästä kappaleesta yhdellä lastuamisliikkeellä. Lastuamissyvyyden tunnus on ap ja yksikkö mm . Terän syvyysuuntaista liikettä kutsutaan asetusliikkeeksi ja se määrittää lastuamissyvyyden. (Ihalainen ym. 2003, 141.)

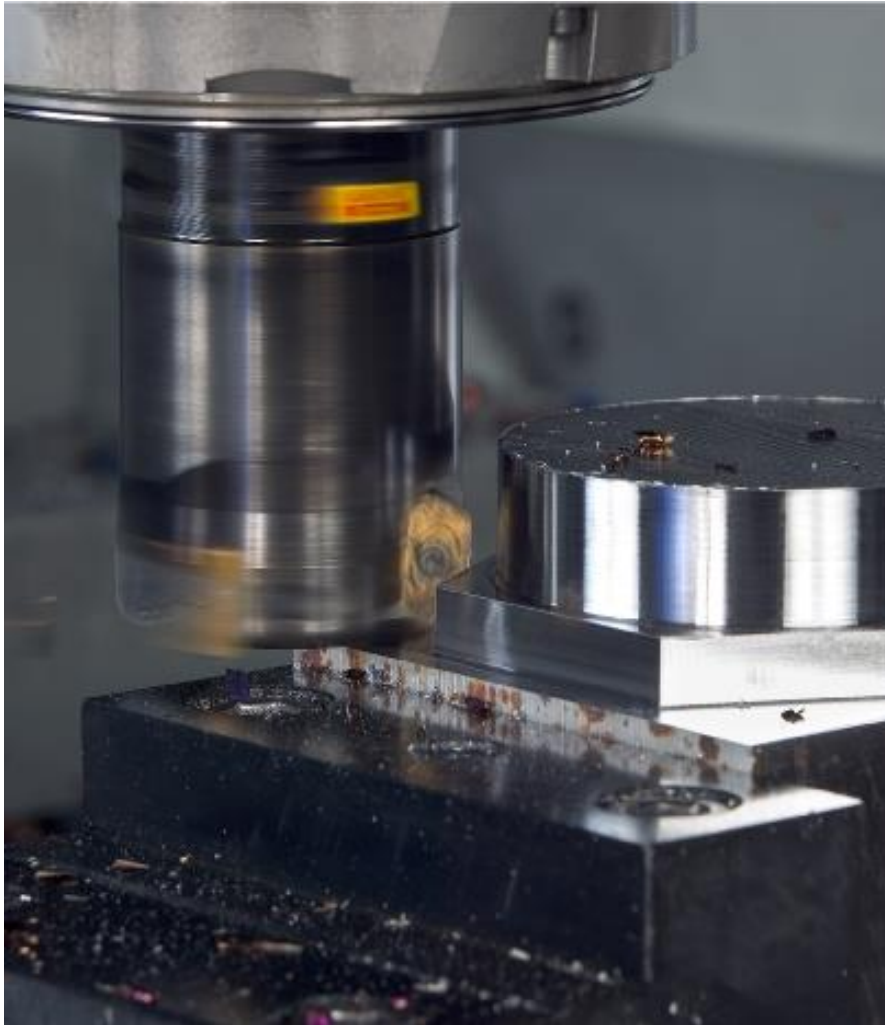


Kuva 2: Kuvassa näkyy jyrssinterän lastuamissyvyys a_p sekä lastuamisleveys a_e (Sandvik Coromant 2018.)

2.3 Jyrsintä yleisesti

Jyrsintä on työstömenetelmä, jossa päinvastoin kuin sorvauksessa, kappale suorittaa syöttöliikkeen ja terä lastuamisiikkeen. Yleisesti monihampainen jyrsintyökalu pyörii akselinsa ympäri. Jyrsiminen on tehokas tapa poistaa materiaalia. Yleisimmät jyrsimistavat ovat otsa- ja kulmajyrsiminen. (Ihalainen ym. 2003, 161.)

Jyrsintä on nykyisellään erittäin monikäyttöinen koneistusmenetelmä. Viime vuosina jyrsinnästä on osin myös työstökoneiden kehityksen ansiosta muodostunut menetelmä, jolla voidaan koneistaa hyvin monenlaisia kappaleita. Nykyisille moniakselisille koneille sopivien koneistusmenetelmien valinta ei ole yksioikoista. Jyrsintä soveltuu perinteisten käyttötapojensa lisäksi yhä paremmin myös esimerkiksi reikien, syvennysten ja kierteiden koneistukseen ja saattaa joskus korvata jopa sorvauksen. Myös työkalujen, eritoten kääntöterien ja täyskovametallijyrsinten kehitys on antanut uusia mahdollisuuksia ja parantanut jyrsinnän tuottavuutta, häiriöttömyyttä ja tasalaatuisuutta. (Sandvik Coromant, 2010, D3.)



Kuva 3: Kulmajyrsintää vaihtopalajyrsimellä. Jyrsinnässä kappale pysyy paikallaan, ja pyörivä terä poistaa kappaleesta materiaalia ohjelmoitua työstörataa pitkin (Sandvik Coromant 2018.)

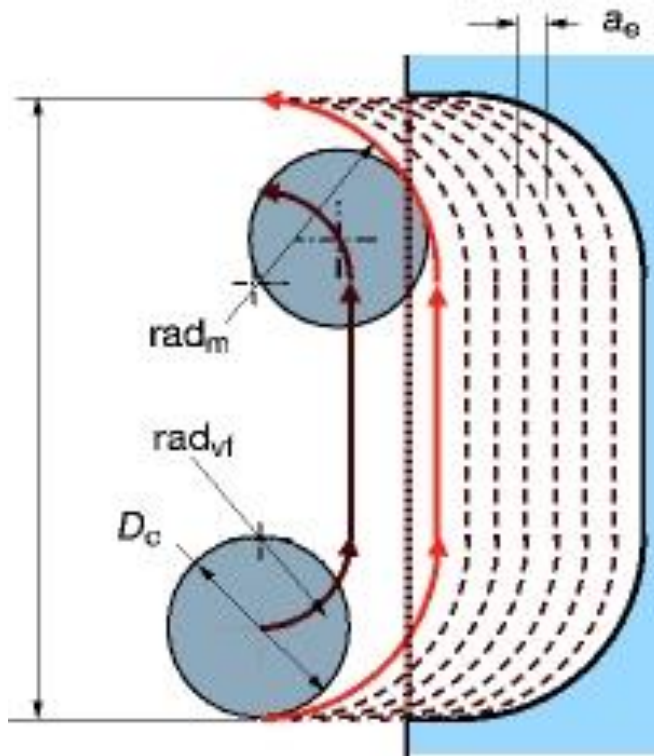
2.4 Dynaaminen jyrsintä

Dynaaminen jyrsintä perustuu pieneen sivusiirtoon ja isoon lastuamissyvyyteen. Sivusiirron ollessa pieni, jyrsintapin kosketuskulma työstettävään kappaleeseen pysyy pienenä, ja tällä menetelmällä voidaan käyttää huomattavasti suurempaa leikkuunopeutta ja syöttöä, kuin perinteisesti jyrsittäessä työkalun koko leveydeltä.

Menetelmä on kehitetty erityisesti vaikeasti koneistettaville materiaaleille, jossa työkalun kulumisen kanssa on ollut perinteisillä menetelmillä ongelmia. Nykyään dynaaminen jyrsintä menetelmänä on yleistymässä jatkuvasti enemmän ja enemmän, johtuen CAM-ohjelmien tarjoamista mahdollisuuksista tähän menetelmään. Lähes jokaisella kehittyneemmällä CAM-ohjelmistolla pystyy nykyään ohjelmoimaan dynaamisia työstärotaja, ja nämä kaikki perustuvat samanlaiseen työkalun liikkeeseen.

Dynaamisella jyrsinnällä saadaan usein kappaleen työstöaikaa laskettua huomattavasti, johtuen menetelmän tehokkuudesta. Parhaimmillaan rouhintaoperaatioiden työstöajat voivat lyhentyä jopa 70%, joka tarkoittaa tuottavuuden merkittävää kasvua.

Dynaamista jysintää käytettäessä tulee myös työkalujen ja työkalupidinten olla kunnossa. Tällä tutkimuksella haluttiin myös testata, miten eri työkalupitimet soveltuvat dynaamiseen jysintään, ja miten eri pitimet vaikuttavat koneistusprosessiin ja työkalun kesto.



Kuva 4: Dynaamisen jysinnän työstörata. Terä lastuaa vain pienellä sivusiirrolla (noin 10% halkaisijasta) lastuamissyvyyden ollessa suuri (Sandvik Coromant 2018.)

3 JYRSINNÄSSÄ KÄYTETTÄVÄT TYÖKALUPITIMET

Tässä kappaleessa käydään läpi yleisimmin jyrsinässä käytettäviä työkalupitimiä, jotka olivat mukana tässä testissä. On olemassa myös muita pitimiä, mutta niiden läpikäyminen tässä opinnäytetyössä on jätetty pois.

3.1 Yleistä pitimistä

Jyrsinässä työkalu kiinnitetään työstökoneen pyörivälle karalle työkalupitimellä. Työkalupidin on siis kiinnitysväline käytettävän työkalun ja jyrsinkoneen karan väliin.

Pitimiä on lukuisia erilaisia, ja niillä kaikilla on erilaisia hyviä ja huonoja puolia. Ei ole siis olemassa yhtä oikeaa tapaa valita käytettävää työkalupidintä, vaan valintaan vaikuttavat karkeasti lueteltuna seuraavat asiat:

- pitimen hankintahinta
- hankittavien pitimien määrä, hankitaanko yksi täydentävä pidin vai kalustetaanko koko 400 paikkainen työkalumakasiini uuteen koneistuskeskukseen
- pitimen monikäyttöisyys, voidaanko käyttää usemmalle eri työkalulle ja työvaiheelle
- pitimen tekniset ominaisuudet
- kappaleen koneistuksessa tarvittavat ominaisuudet ja rajoitteet
- pitimen soveltuminen useammille eri työstökoneille
- mitä pitimiä konepajasta jo löytyy
- mitä kiinnitystarvikkeita konepajasta jo löytyy, esimerkiksi varastossa oleva sarja Er-holkkeja
- löytyykö tarvittavia oheislaitteita valmiiksi, esimerkiksi kutiste-istukan induktiolämmityslaitte.

Tähän tutkimukseen valittiin yleisimmät suomalaisessa konepajoissa käytettävät pitimet koneistuskeskuksilla. Valitut työkalupitimet ovat

- Er kiristysholkki-istukka 32 mm:n holkilla
- Weldon pidin 12 mm:n kiinnitysreiällä
- Hydraulinen tarkkuusvoimaistukka 32 mm:n kiinnitysreiällä
- Kutiste-istukka 12 mm:n kiinnitysreiällä.

Seuraavissa kappaleissa on teoriaa ja perustietoa jokaisesta tutkimuksessa käytetystä pidintyyppistä.

Kappaleessa 3.6 on hintavertailu käytetyistä pitimistä.

3.2 Er kiristysholkki-istukka

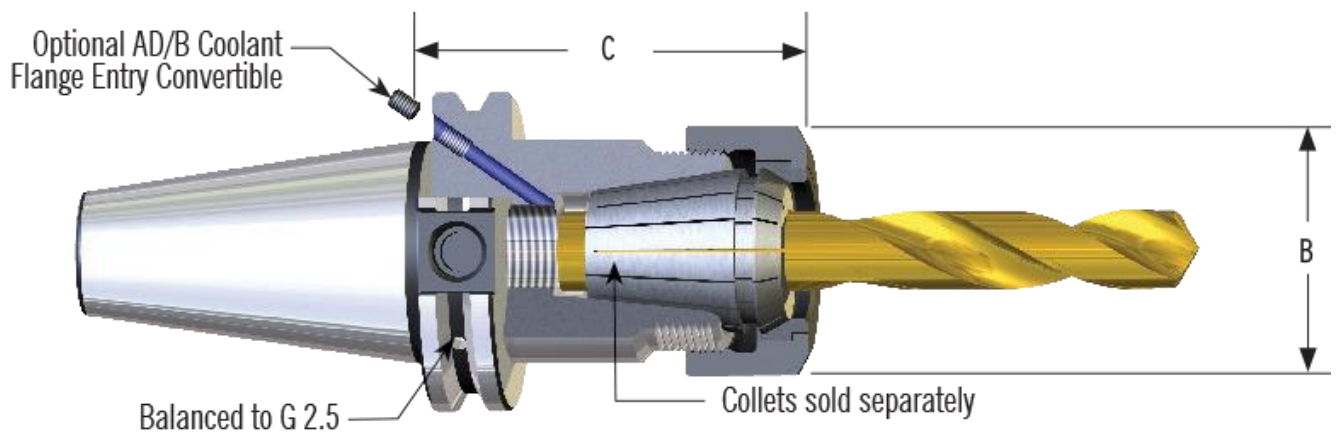
Er kiristysholkki-istukka on yksi yleisimmistä jyrinnässä käytetyistä istukoista. Istukka on suhteellisen edullinen, ja erilaisten holkkien myötä muunneltavissa monelle työkalulle. Yleisimmin Er holkki-istukkaa käytetään jyrintappien, porien ja kierretappien kiinnitykseen. Istukoihin on saatavana myös tiivistettyjä holkkeja, jolloin voidaan käyttää jäähdytystä työkalun läpi. Ilman tiivistystä työstössä käytettävä emulsio tulee holkin urista läpi, ja vain pieni osa tulee itse työkalun läpi kulkevien jäähdytyskanavien kautta.

Istukassa on 3 pääkomponenttia

- Istukan runko-osa
- Kiristysholkki
- Kiinnitysmutteri.

Seuraavasta kuvasta (Kuva 5.) nähdään hyvin istukan toimintaperiaate. Istukan runkoon on hiottu loiva 16 asteen kartio. Sama kartio löytyy myös kiinnitysholkista, johon on sahattu yleensä 8-16 uraa ympäri holkkia. Urat mahdollistavat holkin puristumisen kasaan, ja holkeissa annetaan yleensä yhden millin liikkumavara. Yhdellä holkillä voidaan siis puristaa esimerkiksi halkaisijaltaan 9 -10 mm:n poranteriä. Kiristysholkin ulkohalkaisija on 32 mm:ä, josta myös pitimen nimi tulee. 32 mm:n holkillä voidaan kiinnittää työkaluja aina 1-20 mm:iin asti.

Kiinnitysmutterissa on myös kartio, joka vastaa kiristysholkin toiseen päähän. Näiden kahden kartion avulla tapahtuu siis holkin puristaminen kasaan, sekä keskittäminen istukan runko-osan kanssa. Kiinnitysmutterissa on kooltaan M40 hienokierre 1,5 mm:n nousulla. Hienokierteen avulla mutterin kiinnitysvoimaa saadaan kasvatettua, verrattuna vakionousuiseen kierteeseen.



Kuva 5: Halkaistu kuva Er kiristysholkki-istukasta. Kuvassa näkyy pitimen runko-osa, työkalua puristava halkaistu holkki sekä kiristysmutteri, jota kiristämällä puristusvoima saadaan aikaan (Parlec 2018.)



Kuva 6: Er32 kiristysholkki-istukka, johon kiinnitettyä 12 mm:n kovametallinen jyrsintappi (Tuhkanen 2018.)

3.3 Weldon pidin

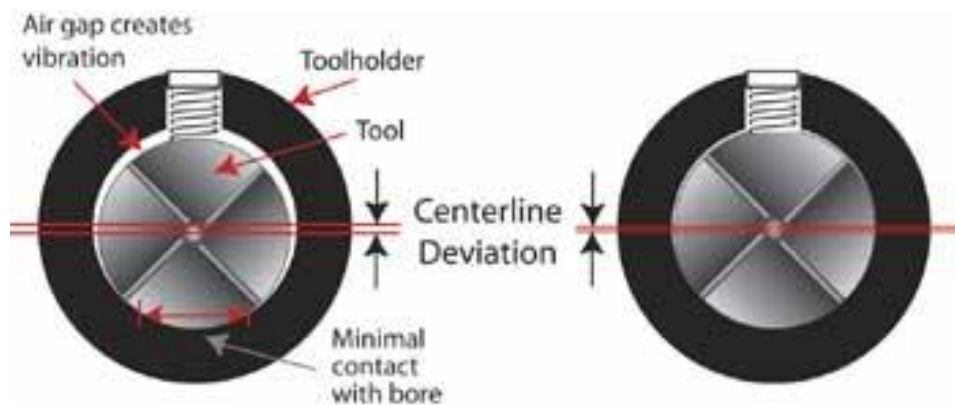
Weldon pidin on toinen yleisimmistä koneistuskeskuksilla käytettävistä pitimistä.

Pidin on todella yksinkertaisesti toteutettu. Pitimessä ei käytetä erillisiä holkkeja työkalun kiinnitykseen, vaan pitimen runko-osaan on suoraan hiottu tarkka toleroitu reikä, johon esimerkiksi jyrin-tappi sopii lähes välyksettömästi. Työkalu kiristetään kuusiokoloruuvilla, joka ottaa kiinni työkalussa hiottuun tasoon. Ruuvikiinnityksen johdosta käytettäessä Weldon pidintä työkalussa tulee olla tähän tarkoitukseen hiottu taso, pelkkiä lieriövartisia työkaluja ei suositella käytettäväksi Weldon pitimessä.

Pitimen hyviä puolia ovat yksinkertaisuus, joka näkyy myös hinnassa. Edullisuuden ja yksinkertaisuuden vuoksi Weldon pitimiä käytetään yleensä paljon peruspitiminä koneistuskeskuksilla, esimerkiksi poraukseen ja vaihtopalajyrsimien kiinnitykseen.

Huonoina puolina on huono työkalun keskityskyky, koska pitimen reiässä ja työkalun kiinnityshalkaisijassa on aina oltava tarvittava välys, jotta työkalu saadaan paikalleen. Ruuvilla työkalun kyljestä kiristettäessä välys siirtyy vastakkaiseen laitaan pois keskiöstä. Tämä näkyy usein varsinkin tappijyrsimillä jyrittäessä huonompina pinnanlaatuna ja työkalun kulumisena vain toiselta laidalta.

Samaan Weldon pitimeen käy vain yhden halkaisijan työkalut, jolloin koneistuskeskuksella pitimiä tulee olla suhteellisen paljon, jos halutaan kiinnittää monenlaisia eri työkaluja.



Kuva 7: Weldon pitimen ruuvikiinnityksestä johtuen työkalu on käytännössä pois keskiöstä pitimen reiän ja työkalun kiinnityshalkaisijan välyksen verran, joka vaikuttaa koneistukseen negatiivisesti (Destinytools 2018.)



Kuva 8: Weldon pitimiä käytettäessä työkalussa on oltava hiottu ura kiinnitysruuvia varten. (Maritool 2018.)



Kuva 9: Tutkimuksessa käytetty Weldon pidin, johon on kiinnitetty 12 mm:n kovametallinen jyrsintappi (Tuhkanen 2018.)

3.4 Hydraulinen tarkkuusvoimaistukka

Hydraulisessa tarkkuusvoimaistukassa työkalu saadaan kiinnittymään istukkaan puristamalla työkalua hydraulisesti. Istukassa on ontto kuori työkalun ympärillä, joka on täynnä hydrauliöljyä. Istukan varressa olevaa ruuvia kiristämällä saadaan kuoreen aikaan hydraulinen paine, ja tämän paineen avulla puristetaan työkalua tasaisesti joka puolelta.

Hydraulisella istukalla saavutetaan erinomainen työkalun kiinnipitokyky. Schunk Tendo E istukalle luvataan momentinsiirtokykyä jopa 2000 Nm:ä käytettäessä 32 mm:n kiinnityshalkaisijaa (Schunck, 2018). Myös työkalun keskityskyky on erinomainen, johtuen tasaisesta puristuksesta työkalun ympäriltä.

Huonona puolena voidaan pitää hydraulisen istukan hintaa, joka on moninkertainen verrattuna Er-tai Weldon istukkaan. Tästä johtuen monessakaan konepajassa ei hydraulisia istukoita käytetä, vaikka niiden ominaisuudet olisivat parempia koneistukseen.

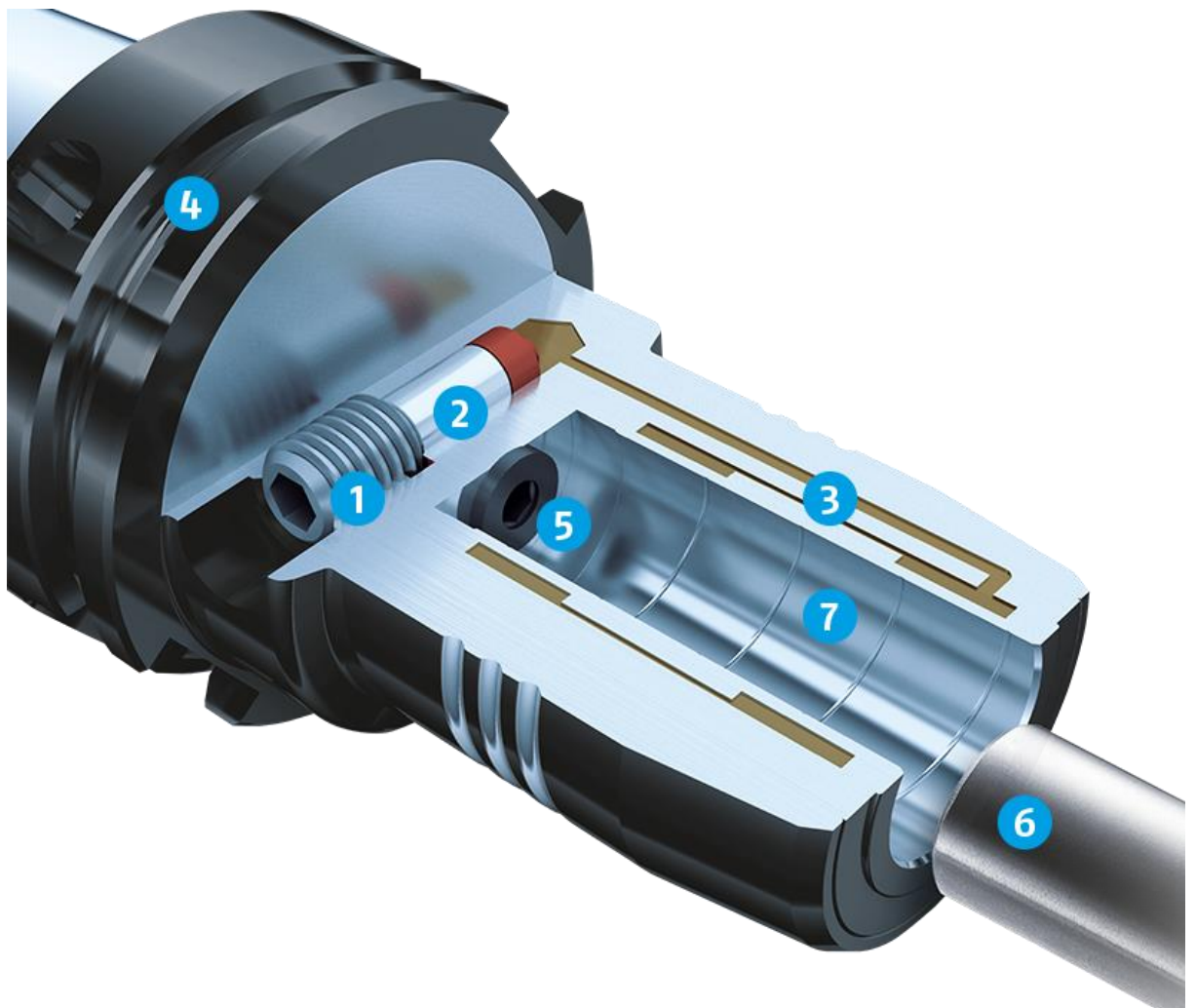
Hydraulisissa istukoissa voi käyttää myös vähennysholkkeja, jolloin saadaan erikokoisia työkaluja kiinnitettyä samaan istukkaan. Verrattuna Er-holkkeihin, hydraulisissa pitimissä käytettävät holkit ovat pinnanlaadultaan ja tarkkuudeltaan huomattavasti tarkempia, joka näkyy myös hinnassa.



Kuva 10: Tutkimuksessa käytetty Schunkin 32 mm:n hydraulinen tarkkuusvoimaistukka. Istukassa näkyy myös vähennysholkki, jolla saadaan 12 mm:n jysintappi kiinnitettyä (Tuhkanen 2018.)

Seuraavassa havainnekuvassa näkyy hydraulinen istukka halkaistuna, sekä sen toiminnalliset osat numeroituna

1. Kiristysruuvi
2. Mäntä
3. Ontto kammio, joka on täynnä hydraulineestettä
4. Istukan runko
5. Työkalun vapaapituuden säätöön käytettävä ruuvi
6. Työkalu
7. Ura epäpuhtauksia varten.



Kuva 11: Schunk Tendo E hydraulinen istukka halkaistuna (Schunk 2018.)

3.5 Lämpökutiste-istukka

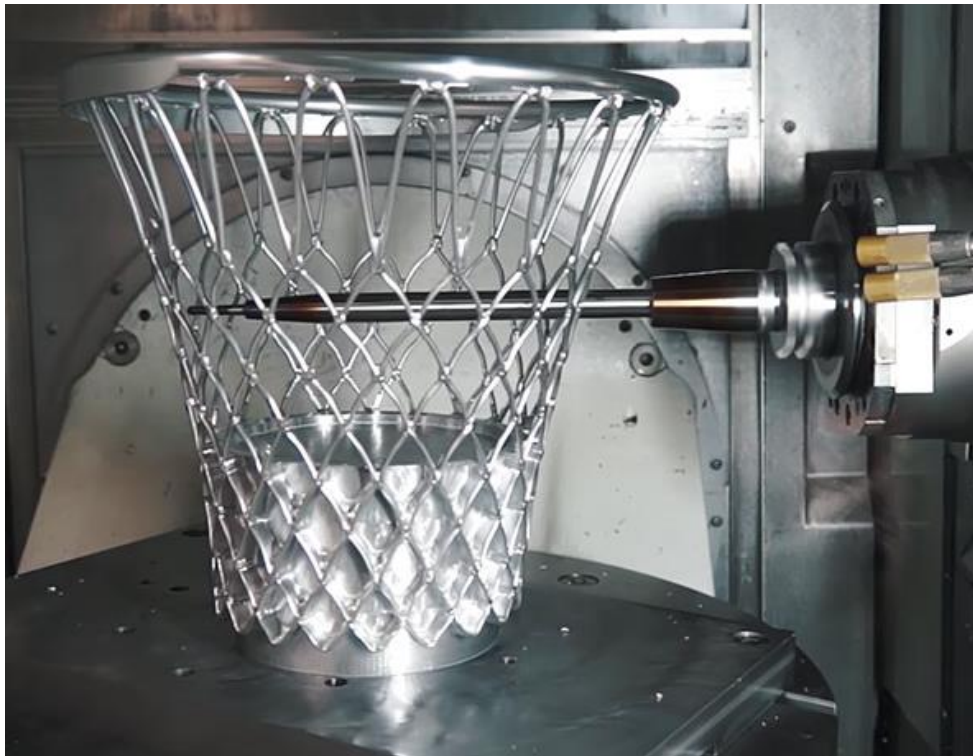
Lämpökutiste-istukassa työkalun kiinnitys perustuu käytettävän työkalun ja pitimen reiän väliseen halkaisija eroon, jonka kautta saadaan tarvittava kutisteliitos työkalun ja istukan välille.

Istukassa oleva reikä, johon työkalu kiinnitetään, on tehty tarkoituksella alamittaiseksi. Työkalun ollessa todella lähellä nimellismittaa, nämä kaksi eri toleranssia menevät ristiin, jolloin syntyy kutisteliitos. Istukkaa lämmitetään tähän tarkoitukseen kehitetyllä induktiokuumentimella, jolloin istukka laajenee. Istukan ollessa lämmitettynä, työkalu saadaan asetettua paikalleen. Lämpötilaeron tasaantuessa työkalu kiinnittyy istukkaan kutisteliitoksesta johtuen.

Lämpökutiste-istukoita käytetään usein monimutkaisten kappaleiden moniakselisissa viimeistelykoneistuksissa, johon tarvitaan mahdollisimman pitkää ja hoikkaa työkalua lastunpaksuuden ollessa todella pieni. Lastunpaksuuden ollessa pieni pitimeen ei kohdistu suuria työstövoimia, eikä tukevuutta tarvita niin paljon kuin esimerkiksi rouhintakoneistuksessa. Seuraavan sivun kuvasta (Kuva 12.) näkee hyvän esimerkin, miten pitkää työkalua on mahdollista käyttää. Tämä ei muilla pitimillä ole käytännössä mahdollista.

Kutiste-istukoiden ollessa pitkiä ja hoikkia, ne eivät ole paras valinta käytettäessä suurempia työstöarvoja. Istukan heikko tukevuus aiheuttaa helposti värinää, joka näkyy työkalun huonona kestona ja koneistuksen pinnanlaadussa.

Yleisesti kutiste-istukoita käytetään lähinnä konepajoissa, jossa tarvitaan viimeistelykoneistukseen pitkiä vapaapituuksia hoikilla pitimillä. Perus jysintään ei moni varsinkaan pienempi konepaja ala hankkimaan kutiste-istukoiden lämmittämiseen tarvittavaa laitteistoa. Pitimien hinnat ovat yleisesti weldonin ja hydraulisten istukoiden välimaastossa.



Kuva 12: Hyvä esimerkki kutisteistukan ulottuvuudesta, koripallokorin viimeistelykoneistus moniakselisesti. Käytössä todella pitkä ja hoikka kutistepidin, johon on kiinnitetty pallopäinen jysintappi 3D-muodon koneistamista varten (The Awesomer 2018.)



Kuva 13: Kutiste-istukan lämmityslaite, jolla istukka lämmitetään induktiokuumentimella tarvittavaan lämpötilaan työkalun kiinnitystä varten (Ajax Industries 2018.)



Kuva 14: Tutkimuksessa käytetty lämpökutiste-istukka. Kuvassa näkyy, miten istukan väri on muuttunut lämmityksessä työkalun kiinnittämistä varten (Tuhkanen 2018.)

3.6 Erilaisten pitimien hintavertailu

Työkalupidinten tekniset eroavaisuudet ja ominaisuudet näkyvät myös pidinten hankintahinnoissa. Hankintahinta yleensä vaikuttaa aika paljon ostajan päätökseen, millaisen pitimen hän hankkii koneistuskeskukselle. Ominaisuuksien ja hinnan kanssa painiminen onkin aina haastavaa. Halutaanko hankkia parempaa kalliimmalla, vai kelpaako käyttöön edullisempi pidin, jossa tingitään teknisistä ominaisuuksista. Koneistuskeskusten työkalumakasiinin pitimien arvo on yleensä tuhansia, tai jopa kymmeniä tuhansia euroja, joten pitimiä hankittaessa kannattaa tarkkaan miettiä mistä lopulta mak-
saa, ja paljonko rahaa sitoutuu pelkkiin työkalupitimiin.

Seuraavassa taulukossa on tässä tutkimuksessa käytettyjen työkalupidinten sekä tarvittavien oheistuotteiden valmistajien antamat ohjehinnat Camcut Oy:lta.

Opinnäytetyössä käytettyjen työkalupidinten sekä oheistuotteiden ovh hinnat

12.9.2018

Työstökoneen kara: BT50

Nimike:			Ovh:	Yhteensä:
Er 32 holkki istukka			123 €	
Er 32 holkki 12mm			21 €	144 €
Weldon pidin 12mm			108 €	
				108 €
Hydraulinen istukka 32mm			411 €	
Vähennysholkki 12mm			121 €	532 €
Kutistepidin 12mm			176 €	176 €
Induktiokuumennin kutistepitimelle			3 800 €	3 800 €

Taulukko 1: Tutkimuksessa käytettyjen työkalupidinten ja tarvittavien oheistuotteiden valmistajien antamat ohjehinnat (Toimittaja Camcut Oy 2018.)

Kuten taulukosta nähdään, Weldon istukka on halvin ja hydraulinen istukka kallein. Käytännössä Weldon pitimen saa halvemmalla kuin hydrauliseen istukkaan yhden vähennysholkin. Tämä pistää ostajaa usein miettimään, ja monesti hankinta kääntyy halvempien pitimien puoleen. Samalla usein ei mietitä tarpeeksi pitkälle ominaisuuksia, joita oltaisiin mahdollisesti saamassa kalliimmilla istukoilla.

Tämän tutkimus antaa myös hyvää tietoa pohtia, mihin kannattaa kiinnittää huomiota pitimiä hankittaessa, ja ettei aina pelkästään katsota pitimen hankintahintaa. Monessa tapauksessa halvan pitimen hankinta pidemmässä juoksussa käy kalliimmaksi, kuin paremman ja kalliimman pitimen hankinta. Tätä pohdintaa on mielestäni jokaisen ostajan hyvä käydä läpi.

4 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT MITTAUSMENETELMÄT

Tutkimuksessa pyrittiin saamaan pitimien eroja esille mittaamalla jyrkinnän aikana erilaisia suureita. Mittaukset tuovat tutkimukseen enemmän tieteellistä näkökulmaa (empiirinen tutkimus), ja tuloksia analysoimalla voitiin selvittää eroavaisuuksia eri pitimien välillä. Tässä kappaleessa käydään läpi tutkimuksessa käytetyt mittausmenetelmät.

4.1 Empiirinen tutkimus

Tämä opinnäytetyö toteutettiin käyttäen empiirisiä, tarkemmin ottaen kokeellisia eli experimentaalisia tutkimusmetodeja. Tutkimusmetodi soveltui tähän opinnäytetyöhön hyvin, ja mittaamalla saaduista tuloksista pystyttiin tekemään luotettava analyysi erilaisten pitimien eroavaisuuksista. Empiiristä tutkimusta kuvataan tarkemmin muun muassa Heikkilän kirjassa seuraavasti:

Tieteellisissä tutkimuksissa tähdätään ongelmanratkaisuun, jotka sisältävät tutkimuskohteen lainalaisuuksia ja toimintaperiaatteita. Empiiriset tutkimukset ovat teoreettisten tutkimusten perusteella kehitettyjä menetelmiä. Empiirisiä tutkimuksia kuvataan myös havainnoiviksi tutkimuksiksi. Tutkitaan esimerkiksi, ilmiön tai käyttäytymisen syitä, teoriasta johdettua olettamusta käytännöstä tai ratkaisun löytämistä jonkin asian toteuttamiseen. (Heikkilä 2014, 12.)

Empiiristä tutkimusta varten on hankittava paljon tietoa. Hankittua käsittelemätöntä tietoa kutsutaan tutkimusaineistoksi. Aineisto voi olla primaarista eli tutkimusta varten kerättyä tai alun perin johonkin toiseen tarkoitukseen hankittua eli sekundaarista tietoa. Empiirisiä tutkimuksia on mahdollista jakaa eri ryhmiin monin eri tavoin. Tyypillisesti jako tapahtuu tutkimuksen tarkoituksen, aikaperspektiivin, tutkimusotteen tai tiedonkeruumenetelmän mukaan. (Heikkilä 2014, 13.)

Erlaisia empiirisiä tutkimuksia ovat muun muassa kartoittava tutkimus, kuvaileva eli deskriptiivinen tutkimus, selittävä eli kausaalinen tutkimus, kokeellinen eli eksperimentaalinen tutkimus, toimintatutkimus, evaluaatiotutkimus ja ennustava tutkimus. Lisäksi tutkimukset voidaan jakaa aikaperspektiivin suhteen poikkileikkaustutkimuksiin tai historiallisiin pitkittäistutkimuksiin. Tutkimusasetelma voi olla intensiivinen, jolloin yhtä tai muutamaa tapausta tutkitaan perusteellisesti, tai ekstensiivinen, jolloin tutkitaan laajasti, mutta pintapuolisesti. Tutkimusote voi lisäksi olla kvantitatiivinen eli määrällinen tai kvalitatiivinen eli laadullinen. (Heikkilä 2014, 13-14.)

4.2 Värähtelymittaus

Värähtelymittaus on yleisimmin käytetty menetelmä kunnonvalvonnassa, ja sitä käytetään myös käytönvalvonnassa sekä vikaselvityksissä. Oikein sovellettuna värähtelymittaus on useimmissa tapauksissa paras ennakoivan kunnossapidon mittausmenetelmä, mutta väärin sovellettuna ajan ja resurssien tuhlausta. (Opetushallitus, 2018).

Värähtelymittausmenetelmiä ja mittalaitteita on tarjolla lähes rajattomasti, ja ilman aikaisempaa kokemusta on vaikea tietää, mikä mittalaite ja -menetelmä olisi omiin kunnonvalvontatarpeisiin riittävä. (Opetushallitus, 2018).

Värähtelymittausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti seuraaviin luokkiin:

1. Yksinkertaiset menetelmät koneiden yleistärinän valvontaan ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan.
2. Monimutkaisemmat menetelmät koneiden tärinän yksityiskohtaiseen valvontaan ja laakereiden kunnonvalvontaan. (Opetushallitus, 2018.)

Värähtelymittauksilla yksittäisten koneenosien aiheuttama tärinä pystytään tunnistamaan ja voidaan kohtuullisen luotettavasti seurata eri koneen osien kunnon kehittymistä. Myös erityiset, pitkälle kehitetyt valvontamenetelmät ovat näillä mittalaitteilla mahdollisia: keskiarvostettu aikatasoanalyysi, verhoikäyräanalyysi, vaihekulma-analyysi ja spektrianalyysi. (Opetushallitus, 2018.)

4.3 Äänenvoimakkuuden mittaus

Desibeli on äänenvoimakkuuden suhteellinen mittayksikkö. Hiljaisin normaalilla (keskimääräisellä) kuuloaistilla havaittava ääni on desibeleinä 0 dB (äänipainearvona $2 \cdot 10^{-5}$ Pascalia ja intensiteettiarvona ilmaistuna 10^{-12} W/m², jos taajuus on 1 000 Hz). Hyväkuuloinen kuulee jopa tätä heikompia ääniä (- 5dB). Kun äänen intensiteetti (pinta-alan läpi virtaava energia) kaksinkertaistuu, niin desibelit lisääntyvät 3:lla. Äänipaineen kaksinkertaistuessa intensiteetti nelinkertaistuu, jolloin lisäys on jo 6 dB. Satakertainen äänentehon vahvistus vastaa äänipainetason kymmenkertaistumista, mutta desibeleissä mitattuna lisäys on vain 20 dB. Desibeliasteikko on siis logaritminen. (Sibeliusakatemia, 2018.)

Äänenvoimakkuus kertoo siis koneistuksesta, miten paljon prosessissa syntyy melua. Yleisesti ottaen jyräintä prosessina on sitä paremmin onnistunut, mitä pienempi siitä lähtevä äänenvoimakkuus on. Suuri äänenvoimakkuus ja melu kertovat yleensä esimerkiksi työkalun tai kappaleen värinöistä, ja tämä näkyy heti koneistuksen laadussa huonona pinnankarheutena, mittojen paikkansapitävyytenä sekä työkalujen kestoikänä. Kokenut koneistaja osaa usein jo jyräinnässä syntyvän äänen perusteella sanoa, lastuaako terä oikein ja onko työstöarvot työkalulle sopivat. Heti äänen koventuessa ja värinöitä kuultaessa tulee selvittää, mistä tämä johtuu.

4.4 Jyrsinnässä syntyvän lämmön mittaaminen

Lämpökamera on laite, jolla voidaan tarkastella ja mitata kappaleen lämpötilaa.

Lämpökamera on saavuttanut yhä suurempaa suosiota ainetta rikkomattomana testausmenetelmänä eli NDT-menetelmänä monissa eri sovelluksissa. Kamera on monivuotisen kehityshistoriansa aikana kokenut varsin suuren muodonmuutoksen. Yleinen mielikuva painavasta ja hankalatoimisesta laitteesta, jonka käyttämiseen tarvittiin suurin piirtein insinöörikoulutusta, on väistymässä. Ilmaisinteknologian raju kehitys ja elektroniikan miniatyrisointi on johtanut siihen, että lämpökamera on pieni videokameran näköinen laite, jonka käytön helppous yllättää useimmat. Jokainen kunnossapidon työntekijä voidaan kouluttaa käyttämään kameraa. (Opetushallitus, 2018.)

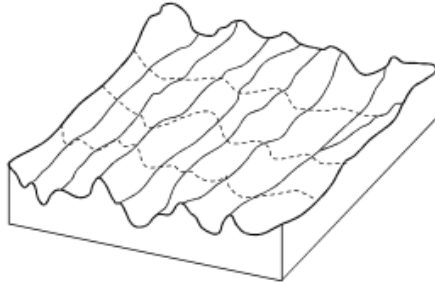
Lämpökameran käyttösovelluksia löytyy nyt useammalta alalta kuin koskaan aiemmin. Silti edelleen lähes 90 % maailmassa valmistetuista lämpökameroista menee sotilaalliseen käyttöön. Lämpökamera onkin saanut suurimman osan kehittämistyörahoituksestaan armeijoiden budjeteista. Se on kaikkien tähtäinjärjestelmien ydinkomponentti. Tosin sitä käytetään myös ihmishenkien pelastamiseen. Muutkin rauhanomaiset sovellukset ovat siinä määrin lisääntyneet, että on oikeastaan vain ajan kysymys, milloin lämpökamera on vakiotyökalu jokaisen kunnossapidosta vastaavan pakissa. Nykyisin käytettävä ilmaisintyyppi on käytännössä huoltovapaa. Tästä johtuen lämpökamera voi toimia myös prosessien jatkuvassa valvonnassa, esimerkkinä mainittakoon vaikka jäätyneiden elintarvikkeiden poistaminen tuotantohihnalta. (Opetushallitus, 2018.)

Aluksi on hyvä selvittää jonkin verran kameran toimintaperiaatteita. Jokainen kohde tai kappale tässä maailmankaikkeudessa, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen (-273 °C), lähettää lämpö- eli infrapunasäteilyä. Lämpökamera vastaanottaa tämän lämpösäteilyn, mittaa sen voimakkuuden ja muuntaa sen lämpötilajakauman mukaan kuvaksi. Kuvaa voidaan tarkastella tavallisella videonäytöllä tai kameran omalla etsimellä reaaliajassa värillisenä. Kamera pystyy erottamaan 0,1 celsiusasteen erot. (Opetushallitus, 2018.)

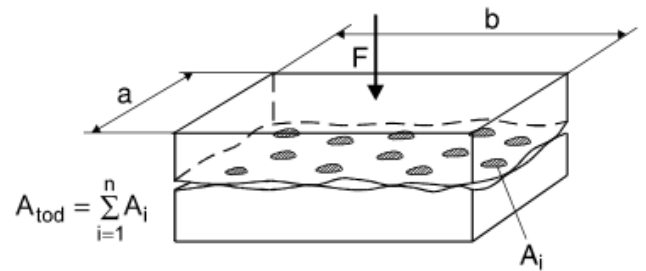
4.5 Pinnankarheus

Koneenosan pinta välittää osan toiminnan muihin osiin. Pinnan käyttäytyminen riippuu erilaisissa kuormitustilanteissa mm. muoto- ja mittapoikkeamista, pinnankarheudesta sekä fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Geometrian osalta pinnan toimintakelpoisuus riippuu muotovirheiden ja pinnankarheuden yhteisvaikutuksesta (kuva 3-1). Karheiden pintojen kosketuksessa kuorma siirtyy osasta toiseen pinnankarheuden huippujen välityksellä (kuva 3-2). Työstetyn pinnan profiilin muoto riippuu valmistusmenetelmästä. Pinnankarheuden suureena käytetään yleisesti profiilin keskipoikkeamaa R_a , joka ei kuitenkaan kuvaa hyvin pinnan toimintaominaisuuksia esim. liukuvassa kosketuksessa (kuva 3-3). Kantokäyrä ilmaisee havainnollisesti pinnan todellisen kantavan osuuden kulumisen edistyessä (kuva 3-4). (Kivioja 2011, 19.)

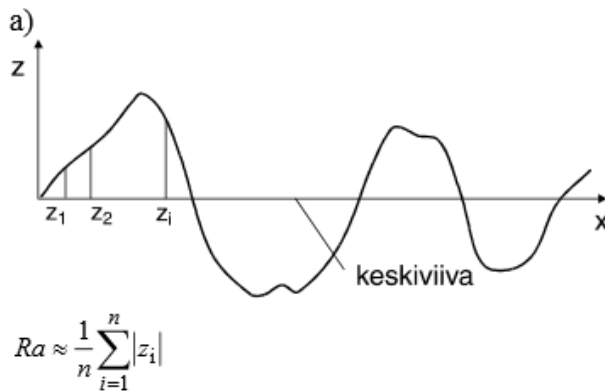
Muita pinnankarheussuureita ovat etenkin saksalaisessa kirjallisuudessa käytetty profiilinsyvyyttä R_z sekä maksimiprofiilinsyvyys R_y . Likimäärin $R_z \approx (4...5) Ra$. Naarmut ovat haitallisia väsytyksrasitukselle alttiissa kohdissa sekä kohdissa, joissa kumi- tai muovitiiviste hankaa pintaa. Tällöin maksimiprofiilinsyvyydelle asetetaan vaatimuksia. Uudessa standardissa maksimiprofiilinsyvyyden tunnus on R_z (vanha profiilinsyvyys R_z ei ole enää standardoitu). (Kivioja 2011, 19.)



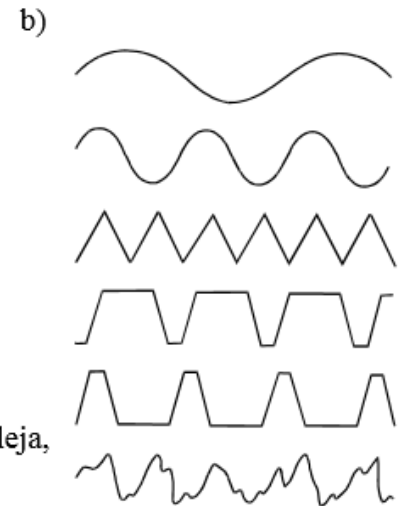
Kuva 3-1. Todellinen pinta.



Kuva 3-2. Pintojen kosketukset kuormitettuna.



Kuva 3-3. Pinnankarheuden profiili (a), erilaisia profiileja, joiden keskipoikkeama on likimain sama (b).



Kuva 15: Kuvia pinnankarheuteen liittyen (Kivioja 2011, 19.)

Saavutettavissa oleva pinnankarheus riippuu työstömenetelmästä. Taulukossa 3-1 on esitetty yleisimmillä valmistusmenetelmillä saatavia pinnankarheuden Ra-arvoja. Pinnankarheuden ja toleransien välillä ei ole mitään tarkkaa ja yksiselitteistä suhdetta. (Kivioja 2011, 20.)

Taulukko 3-1. Pinnankarheus eri valmistusmenetelmillä (laajempi taulukko on lähteessä 2).

Valmistusmenetelmä	Pinnankarheus R_a (μm)													
	0,006	0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Hiekkavalu														
Kokillivalu														
Painevalu														
Tarkkuusvalu														
Metallin ruiskupuristus														
Muovin ruiskupuristus														
Tarkkuustaonta														
Muottitaonta														
Pituussorvaus														
Tasosorvaus														
Pistosorvaus														
Poraus														
Avarrus														
Upotus														
Kalvinta														
Lieriöjyrsintä														
Otsajyrsintä														
Pyöröhiointa														
Tasohiointa														
Laahinta														
Hiveltäminen														
Polttoleikkaus														
Sahaus														

Kuva 16: Saavutettava pinnankarheus eri valmistusmenetelmillä (KIVIOJA 2011, 20.)

4.6 Koordinaattimittaus

Koordinaattimittauskone on CNC-ohjattu mittaamiseen valmistettu kone. Koneella saadaan mitattua todella tarkasti kappaleesta paljon erilaisia asioita, jotka olisivat perinteisillä menetelmillä mahdottomia mitata.

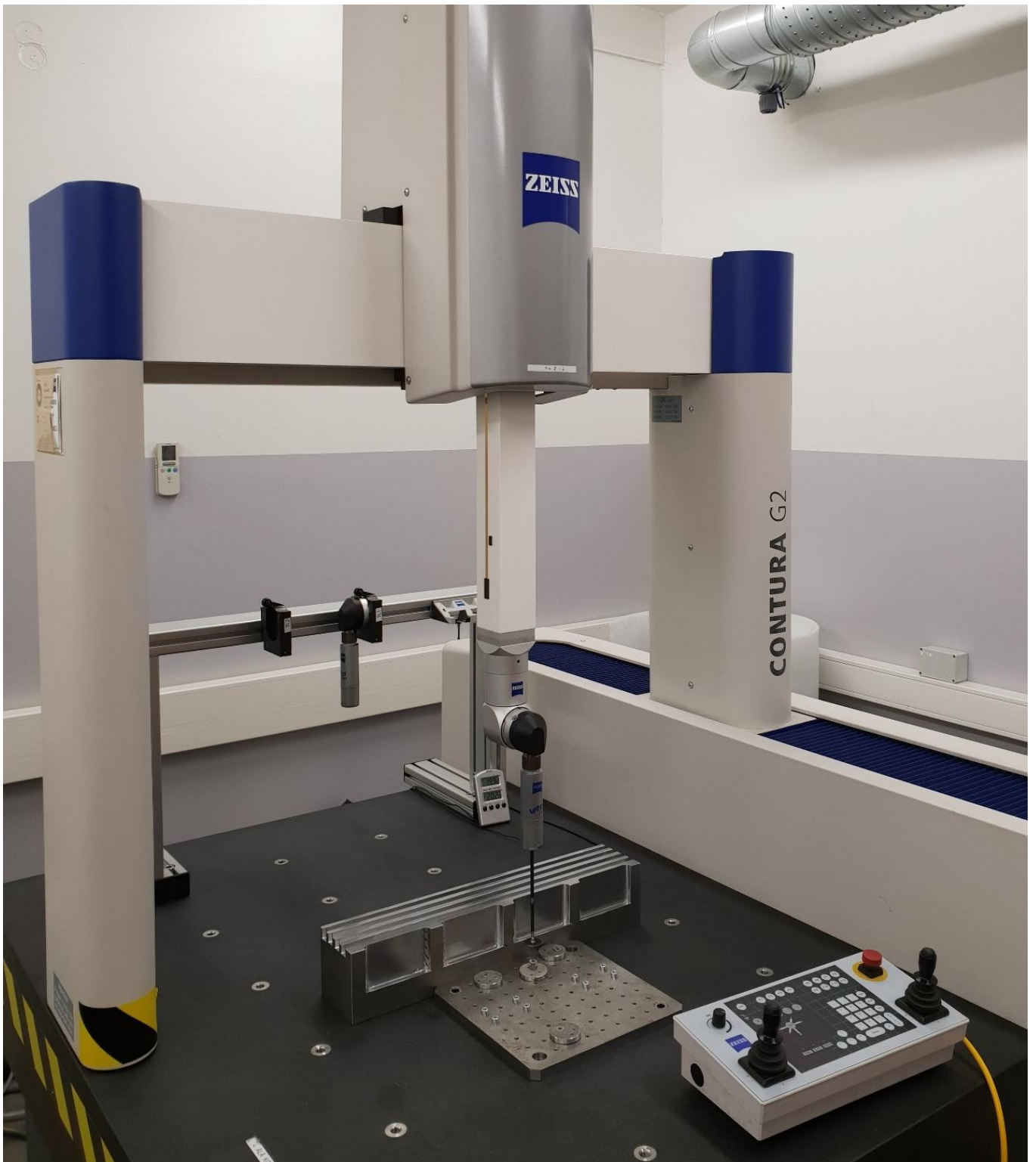
Mittauskoneen perustasona toimii kivistä valmistettu taso, jonka päällä itse mittaustorni liikkuu. Mittaustornia saadaan liikutettua perustasossa X-, Y- ja Z-tasossa, ja mittauskärki saadaan myös käännettyä eri asentoihin. Kärki saadaan siis 5 akselisesti käännettyä haluttuun suuntaan ja kulma-asemaan, ja tämä mahdollistaa kappaleesta lähes kaiken mittaamisen. Erilaisia mittaustapahtumia varten mittauspäitä on useita erilaisia, ja kuhunkin työhön valitaan aina sopiva mittauspää. Kuvassa 17 näkyy mittauspäitä koneen työkalumakasiinissa, josta koordinaattimittauskone pystyy itse käydä vaihtamassa pyydetyn mittauspäen ohjelmallisesti.

Koordinaattimittauskonetta ohjelmoidaan tietokoneella tähän tarkoitukseen olevalla ohjelmalla. Tässä opinnäytetyössä käytettiin Zeiss mittakoneen omaa Calypso mittausohjelmaa. Ohjelmassa luodaan mittausstrategia, jonka mukaan kone mittaa kappaleesta halutut mitat. Itse konetta liikutetaan erillisellä käyttöpaneelilla, josta mittauspäättä saadaan liikuteltua manuaalisesti vipujen avulla, tai automaattisesti tietokoneella tehdyn ohjelman mukaisesti. Kun ohjelmoidut mittaukset on suoritettu, ohjelma luo tietokoneelle automaattisesti mittausraportit ja tämä saadaan tallennettua pdf-tiedosto-muodossa.

Koordinaattimittauskoneen mittaustarkkuus on $\pm 0,001$ mm:ä, joten sillä saadaan mitattua kappaleet paljon tarkemmin, kuin käsikäyttöisillä mittavälineillä.



Kuva 17: Koordinaattimittakoneessa on useita erilaisia mittauspäitä, jotka jokainen soveltuu eri mittauksiin. Mittauspää valitaan mitattavan kohteen muodon, tarvittavan ulottuvuuden ja mittaustavan mukaan (Renishaw 2018.)



Kuva 18: Savon ammattiopiston Zeiss Contura G2 koordinaattimittauskone. Kuvan etupuolella näkyy ohjauspaneeli, josta konetta pystytään liikuttelemaan joko manuaalisesti tai automaattijolla (Tuhkanen 2018.)

5 TUTKIMUKSEN KUVAUS

5.1 Yleistä tutkimuksesta ja tutkimuksen kulku

Tutkimuksen suhteen ensin suunniteltiin, miten saataisiin mahdollisimman hyvin työkalupitimiä eroja mitattua ja analysoitua. Pidimme palaverin Camcut Oy:n Mikko Vepsäläisen kanssa, jonka jälkeen tulimme siihen tulokseen, että koneistetaan samoilla työkaluilla eri pitimillä suhteelliseen tukevaan kappaleeseen neljä uraa suurilla työstöarvoilla. Urasta saadaan mitattua koneistuksessa tapahtuneita asioita, ja pohdittua mistä ne johtuvat ja mitä ne työkalupitimestä kertovat. Myös urien koneistuksen aikana mitataan tiettyjä oleellisia asioita.

Tutkimuksessa päädyttiin mittaamaan seuraavia asioita

- Desibelimittaus
- Värähtelymittaus
- Pinnankarheuden mittaus
- Koneistettujen urien mittojen mittaus koordinaattimittauskoneella
- Työstössä syntyvän lämmön mittaus lämpökameran avulla.

Näiden mittausten perusteella saadaan muodostettua selvä kuva, mihin asioihin erilaiset työkalupitimet vaikuttavat koneistusprosessissa. Mittausten avulla saadaan analysoitua myös selkeästi mitattua dataa, ja tutkimustulokset perustuvat mahdollisimman vähän ihmisen tekemiin mittaamattomiin havaintoihin.

5.2 Työkalupidinten soveltuvuus dynaamiseen jyrshintään

Lisäksi tutkittiin myös, miten erilaiset työkalupitimet soveltuvat dynaamiseen jyrshintään. Tästä aiheesta koneistettiin samalla kertaa toinen testi, jossa käytettiin 12 mm:n kovametallista jyrshintappia, joka on erityisesti suunniteltu dynaamiseen jyrshintään.

Dynaamisessa jyrshintäessä jyrshintapilla koneistetaan mahdollisimman suurella syvyyslastulla sivusiirron ollessa pieni, noin 5-20% työkalun halkaisijasta. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa testattiin dynaamista jyrshintää 12 mm:n jyrshintapilla, 60 mm:n syvyyslastulla ja 5% (0,6 mm:n) sivusiirrolla.

5.3 Tutkimuksessa käytetyt koneet ja laitteet

Tutkimus tehtiin Savon ammattiopiston tiloissa osoitteessa Sahakatu 2, jossa Sakkylla on lähinnä aikuiskoulutukseen käytettävä konesali.

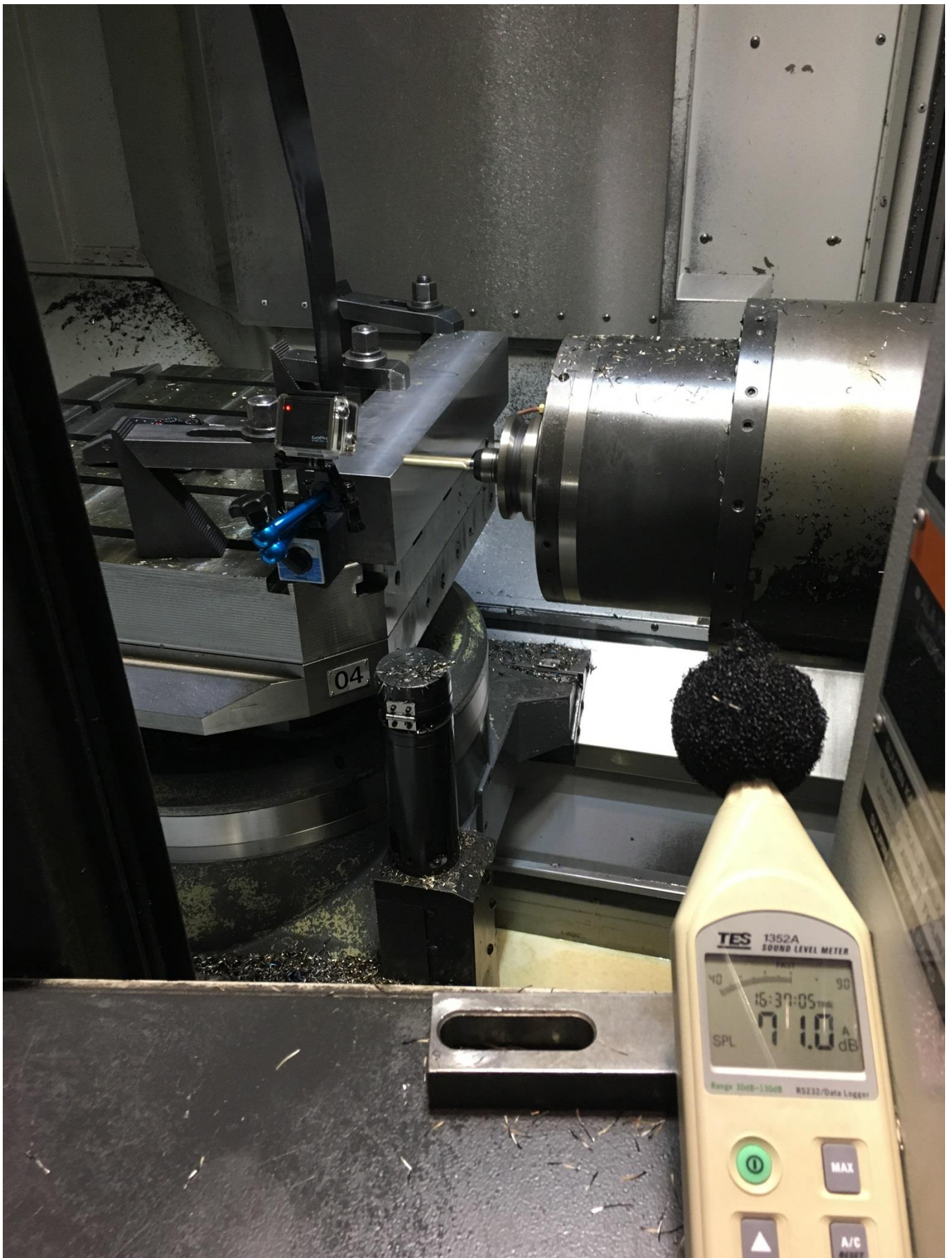
Työstökoneeksi valikoitiin Mori Seikin NH6300DCG2 vaakakarainen työstökeskus, sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Työstökoneessa on tutkimuksen kannalta muun muassa seuraavia ominaisuuksia, joiden vuoksi se soveltui erinomaisesti tähän tutkimukseen:

- Suhteellisen uusi (hankittu vuonna 2009), joten koneen iän myötä tulleet välykset eivät vaikuta mittaustuloksiin
- Tehokas ja tukeva kara BT50 työkalukartiolla minimoi karasta johtuvia värinöitä
- Kone on rungoltaan tukevimpia, mitä tämän kokoluokan vaakakaraisissa on markkinoilla
- Kone on japanilainen ns. laatukone
- Koneessa on valmiiksi jo 100 mm:ä korkea kiilaurapöytä kappaleen kiinnittämiseen, johon testikappale saatiin mahdollisimman tukevasti kiinnitettyä
- Savon ammattiopisto halusi olla mukana tässä tutkimuksessa, joten minkään konepajan kallista työaikaa ei mennyt tutkimuksen toteuttamiseen.

Koneelle on myös käytössä Mastercam 2018 ohjelmisto, jolla saatiin tutkittua myös työkalupidinten eroja dynaamisessa jyrinnässä. Dynaamisen jyrinnän ohjelmointi on käytännössä mahdotonta ilman nykyaikaista CAM-ohjelmaa.



Kuva 19: Tutkimuksessa käytetty Mori Seiki NH6300DCG2 vaakakarainen CNC-ohjattu koneistuskeskus (Tuhkanen 2018.)



Kuva 20: Testikappaleen koneistus alkamassa työstökoneella. Kuvan etualalla näkyy myös äänenvoimakkuuden mittalaite (Tuhkanen 2018.)

5.4 Testikappale ja materiaali

Testikappaleena toimi mitoiltaan 100 mm x 100 mm ja 600 mm:ä pitkä neliötanko, josta oli esikoneistettu jokainen sivu. Kappale oli materiaaliltaan rakenneterästä S355J2G3, eli yleisimmin konepajoista löytyvää rakenneterästä.

Työstettävä kappale sahattiin vannesahalla sopivan pituiseksi, ja siitä esikoneistettiin jokainen sivu, jotta saadaan mittaukset tehtyä koneistetuista pinnoista. Koneistettu pinta on myös aina parempi kiinnitykseen verrattuna kuumavalssattuun pintaan, joka asettuu työstökoneen paletin pöytää vasten paljon epätasaisemmin.

Kappaleen valinnassa keskityttiin jo lähtökohtaisesti tukevuuteen, että kappaleesta johtuvat värinät näkyisivät mahdollisimman vähän jyrinnän aikana. Kappale sahattiin mahdollisimman pitkäksi, jotta jyrittävästä urasta saataisiin mahdollisimman pitkä ja sitä kautta eroja eri pitimillä tehdyissä jyrinnoissa näkymään.

5.5 Kiinnitys

Testikappale kiinnitettiin yhteen työstökoneen kuudesta vaihtopaletista. Palettiin on kiinnitetty kiinteäksi 100 mm:ä korkea kappale, joka on täynnä 20 mm:ä leveitä koneistettuja uria. Tätä kiinnitintä kutsutaan kiilaurapödyäksi. Kiilaurapöytään saadaan rakennettua koneistajan mielikuvituksen mukaan lukuisia erilaisia kiinnityksiä.

Tutkimuksessa käytettävää testikappaletta varten laitettiin paletin päädystä 70 mm:n päässä olevaan uraan vaste, jota vasten testikappale asetettiin. X-akselin, eli toisin sanoen koneen leveys suunnassa kappale asetettiin mahdollisimman keskelle. Kappaleen oikealle puolelle laitettiin myös vaste, jota vasten viimeistään työstövoimat suuntautuvat. Lopulta kappale kiinnitettiin kiilaurapöytään kolmella lestiraudalla. Lestiraudat kiristettiin kolmella M20 vaarnaruuvilla, jolloin kiinnitys oli mahdollisimman tukeva.



Kuva 21: Testikappale sekä työkappaleen kiinnitys. Kappale on kiinnitetty kolmella lestiraudalla pöytää vasten (Tuhkanen 2018.)

5.6 Tutkimuksessa käytetyt työkalut

Tutkimuksessa päädyttiin käyttämään nykyaikaisia kovametallisia jyrsintappeja. Jyrsintapin halkaisijaksi valittiin 12 mm:ä, joka on suhteellisen yleinen koko suomalaisissa konepajoissa.

Tutkimukseen valittiin kaksi erilaista jyrsintappia, jolla molemmilla koneistettiin eri operaatiot.

Umpiurien jyrsintään valittiin Walter Toolsin 4-leikkuinen jyrsintappi. Valmistajan työkalukoodi jyrsintapille on MC326-12.0A4B-WK40TF. Työkalu on valmistettu kovametallista, ja siinä on pinnoite PVD AlTiN (fysikaalinen kaasufaasipinnoite titaanialumiininitridillä). Lähes poikkeuksetta nykyaikaisissa jyrsintapeissa käytetään pinnoitetta, joka vähentää kitkaa työkalun lastuavalla särmällä, ja näin ollen ehkäisee työkalun kulumista. Pinnoite myös aiheuttaa teräsärmään puristusjännityksen, joka parantaa särmäsitkeyttä ja estää teräsärmän murtumista.

Dynaamiseen jyrsintään valittiin Walter Toolsin 5-leikkuinen jyrsintappi, joka on suunniteltu erityisesti dynaamiseen jyrsintään. Valmistajan työkalukoodi tälle jyrsintapille on MD133-12.0W5X060L-WJ30RD. Jyrsintappi on varustettu lastunmurtaajilla, jolla pitkät lastut saadaan katkottua noin 20 mm:n pituisiksi. Myös tämä jyrsintappi on valmistettu kovametallista ja pinnoitettu. Pinnoituksena käytetään PVD AlTiNzr (fysikaalinen kaasufaasipinnoite titaanialumiininitridillä ja zirkoniumilla).



Kuva 22: Walter Toolsin kovametallinen MD133-12.0W5X060L-WJ30RD jyrsintappi dynaamiseen jyrsintään (Tuhkanen 2018.)



Kuva 23: Walter Toolsin MC326-12.0A4B-WK40TF jyrsintappi yleiseen jyrsintään (Tuhkanen 2018.)

5.7 Työstöarvot

Työstöarvot valittiin käytössä olleen materiaalin, työkalun ja työstöoperaation mukaan. Työstöarvoja valitessa käytettiin avuksi työkaluvalmistajan selainpohjaista aputyökalua. Ohjelmaan määritetään koneistettavan kappaleen materiaali, käytettävä työkalu, käytettävä työstömenetelmä, sekä käytettävät lastunpaksuudet. Näiden parametrien perusteella ohjelma laskee leikkuunopeuden ja syötön annettuihin lähtötietoihin perustuen.

Umpiuran jyrsinnässä käytettiin seuraavia työstöarvoja:

- Työkalun tyyppi ja halkaisija = Walter Tools MC326-12.0A4B-WK40TF 12 mm
- Lastuamisnopeus $V_c = 122$ m/min
- Kierrosnopeus $n = 3236$ 1/min
- Lastuamissyvyys $A_p = 12$ mm
- Lastuamisleveys $A_e = 12$ mm
- Lastuamissyvyys x työkalun halkaisija = $1 \times D$
- Lastuamisleveys prosentteina = 100%
- Hammaskohtainen syöttö $F_z = 0,0756$ mm/hammas
- Pöytäsyöttö $V_f = 984$ mm/min.

Dynaamisessa jyrinnässä käytettiin seuraavia työstöarvoja:

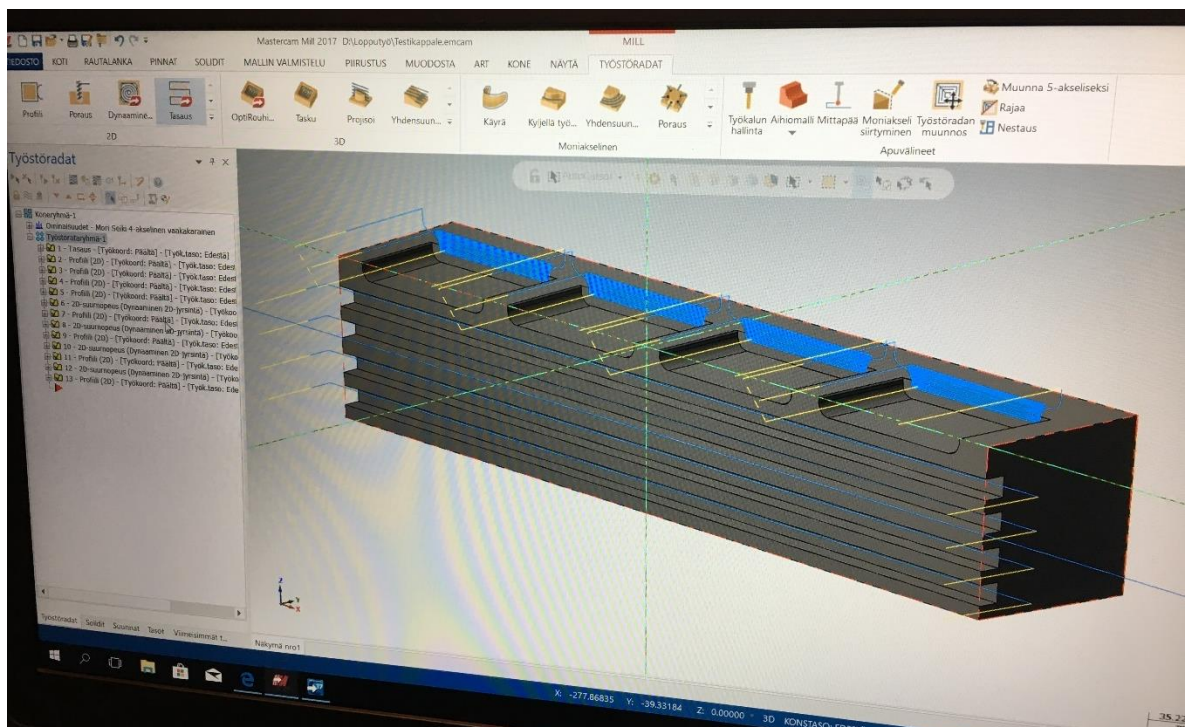
- Työkalun tyyppi ja halkaisija = MD133-12.0W5X060L-WJ30RD 12 mm
- Lastuamisnopeus $V_c = 183$ m/min
- Kierrosnopeus $n = 4850$ 1/min
- Lastuamissyvyys $A_p = 60$ mm
- Lastuamisleveys $A_e = 0,6$ mm
- Lastuamissyvyys x työkalun halkaisija = $5 \times D$
- Lastuamisleveys prosentteina = 5%
- Hammaskohtainen syöttö $F_z = 0,115$ mm/hammas
- Pöytäsyöttö $V_f = 2790$ mm/min.

5.8 Kappaleen mallintaminen ja työstöradat

Kappale mallinnettiin 3D-muotoon Mastercam 2018 ohjelmalla. Kun kappale on mallinnettu, siitä voidaan helposti luoda halutut työstöradat. Tutkimuksen kappaleen ollessa todella yksinkertainen, työstöratojen luonti Mastercamilla tapahtuu todella nopeasti.

Kappaleen työstöön tarvittiin seuraavia työstöratoja:

1. Aluksi työstettävän kappaleen pinta tasataan halkaisijaltaan 125 mm:n tasojyrsimellä. Tähän käytetään Mastercamin "Tasaus" -työstörataa.
2. Kappaleeseen jyrsitään 4 samanlaista uraa, jokainen eri työkalupidintä käyttäen. Tähän käytetään Mastercamin "Profiili" -työstörataa.
3. Kappaleen kylkeen jyrsitään dynaamisesti 4 samanlaista tasoa työkalun kyljellä, jokainen erilaisella työkalupitimellä. Tähän käytetään Mastercamin "Dynaaminen ydinjyrsimä" työstörataa.



Kuva 24: Näkymä tietokoneen näytöltä Mastercamista. Testikappale on mallinnettu 3D-muotoon, sekä siihen on tehty työstöradat (Tuhkanen 2018.)

6 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT MITTAUSLAITTEET JA MITTAUSTULOKSET

Tässä kappaleessa käydään läpi mittauslaitteet, ja miten niitä tässä opinnäytetyössä käytettiin. Jokaisen mittaustavan kohdalla myös käydään läpi, miten eri pitimet suoriutuivat tämän mittauksen puitteissa testistä. Kappaleen lopussa mittaustulokset ovat vielä koottuna yhteen taulukkoon.

6.1 Värähtelymittaus

Värähtelymittaukseen testin aikana oli käytössä SKF Microlog Adviser Pro mittauslaite. Mittauslaite koostuu analysaattorista, sekä tähän tulevasta anturista. Anturi sijoitettiin testikappaleeseen, ja se kiinnittyy kiinni magneetilla. Anturi mittaa testikappaleessa syntyvää kiihtyvyyttä aikatasossa, ja analysaattori näyttää nämä lukemat g-arvoina aikajanalla reaaliaikaisesti näytöllä graafisessa muodossa.

Jo testin alkuvaiheessa ilmeni, että värähtelymittaukseen olisi pitänyt perehtyä enemmän, jos tästä olisi haluttu saada enemmän mitattua tietoa irti. Analysaattorissa on lukuisia eri mittaustapoja, ja näiden opetteleminen ja läpi käyminen olisi vienyt helposti viikkoja aikaa. Kaikille testissä mukana olleille värähtelymittaus oli aivan uusi asia. Vaikeuksia oli muun muassa erottaa, mitkä analysaattorin näyttämät värinät tulevat jo itse työstökoneen liikkeistä, ja mitkä tulevat koneistusprosessista terän lastutessa testikappaletta. Lopuksi kuitenkin löysimme mittaukseen sopivat parametrit, ja saimme näin mitattua kappaleessa syntyvää kiihtyvyyttä kuluvan ajan suhteen.

Värähtelymittaus kertoo todella hyvin, miten pehmeästi jysinterä työstettävää kappaletta lastuaa. Mitä vähemmän testikappaleessa ilmenee värinöitä, sitä tasaisemmin ja tukevammin jysinterä työstää sitä. Toisin sanoen mitä pienempi mitattu g-arvo on, sitä paremmin jysintä tapahtuu.

Värähtelymittauksen perusteella pitimien järjestys oli seuraava:

1. Hydraulinen pidin
2. Weldon pidin
3. Er holkki-istukka
4. Kutiste-istukka.

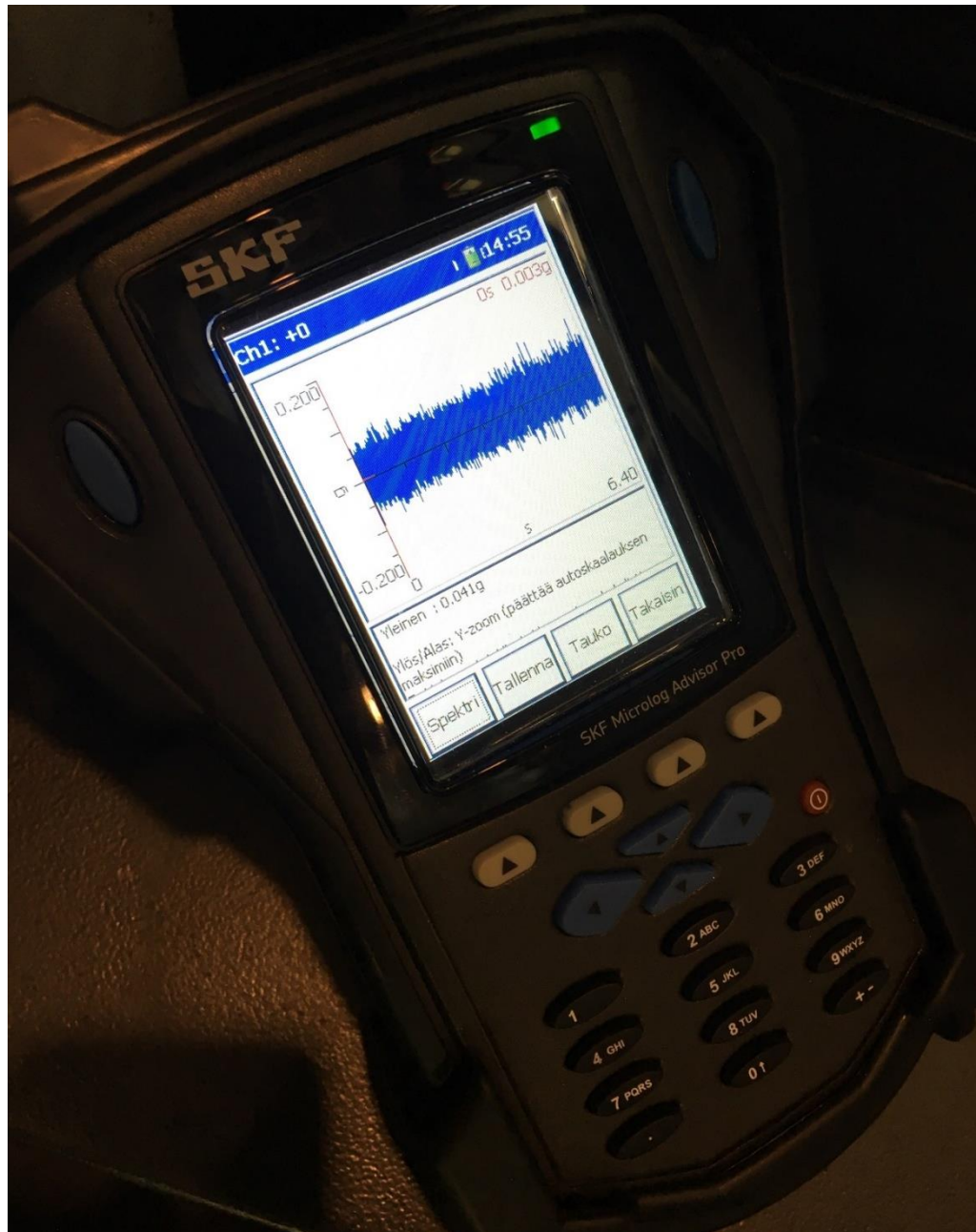
Värähtelymittausten perusteella hydraulinen pidin oli tukevin, ja sillä jysittäessä esiintyi vähiten värinöitä. Hydraulisessa pitimessä runko-osa on halkaisijaltaan suurin, ja tämän myötä varmasti myös tukevuus on parempi kuin muilla.

Toiseksi tukevin oli weldon pidin. Weldon pitimen osalta tukevuus tulee yksiosaisesta pitimen rungosta, johon jysinterä lukitaan yhdellä kiristysruuvilla. Osaltaan värinää varmasti kasvattaa myös se, että weldon pitimessä jysintappi ei koskaan lastua tasaisesti jokaisella hampaalla, vaan yksi hammas yleensä poistaa materiaalia muita enemmän.

Kolmanneksi tukevin oli Er holkki-istukka. Holkki-istukassa oli testin aikana jo äänen perusteella kuultaessa pientä värinää verrattuna kahteen edellä mainittuun pitimeen. Suurimmaksi osaksi holkki-

istukassa esiintyvät värinät johtuvat kiristysholkkiin tehdyistä urista, joiden avulla holkki saadaan puristettua kasaan. Kun holkki halkaistaan usempaan osaan, sen ominaisuudet tukea työkalua tasaisesti joka puolelta heikkenevät huomattavasti. Osaltaan vielä holkki-istukan tukevuuteen vaikuttaa heikompi työkalun kiinnipitovoima, joten työkalu pääsee elämään pitimessä.

Neljänneksi värähtelymittausten perusteella sijoittui kutistepidin. Testissä jo heti nähtiin ja kuultiin, että kutistepidin ei ole umpiuran jyristäjän näillä työstöarvoilla sopiva vaihtoehto. Työkalusta lähti todella paljon melua, sekä värähtelymittauksen tulokset olivat moninkertaiset muihin pitimiin nähden. Kutistepitimen tukevuuteen vaikuttaa sen hoikaksi tehty runko. Hoikalla rungolla pyritään saamaan pitimeen paremmin ulottuvuutta. Näin ollen jyrinnästä pitimeen suuntautuvia työstövoimia ei vastaanota pitimessä mikään, ja työkalu pääsee vaeltamaan työstön aikana mielivaltaisesti kappaleessa, aiheuttaen värinää ja huonoa koneistusjälkeä.



Kuva 25: SKF Microlog Adviser Pro mittausslaite. Näytöllä näkyy reaaliaikaista mittaustietoa (Tuhkanen 2018.)

6.2 Äänenvoimakkuuden mittaaminen

Testissä mitattiin myös syntyvää äänenvoimakkuutta jysynnän aikana. Käytössä oli TES 1352A äänenvoimakkuuden mittalaite. Mittalaite mittaa mikrofonilla siihen kohdistuvaa äänenvoimakkuutta, ja näyttää sen näytöllä reaaliaikaisesti desibeliarvoina.

Mittalaite sijaitsi testin aikana työstökoneen oven luona. Ovi oli työstön ajaksi lukittu auki, joten syntyvä äänenvoimakkuus oli suoraan mitattavissa ilman vaimentavia väliaineita. Itse jysintään matkaa mikrofonista oli noin 1 metri.

Jysynnässä syntyvä äänenvoimakkuus kertoo myös kuten värähtelymittauskin, miten tukevasti ja pehmeästi jysinterä lastuaa työstettävää kappaletta. Aina kun äänenvoimakkuus merkittävästi kokee, se kertoo yleensä työstötapauksessa syntyvistä värinöistä ja ettei jysinterä lastua kunnolla. Jysintäprosessin kannalta otollisin tilanne on siis, että syntyvä äänenvoimakkuus on mahdollisimman pieni.

Äänenvoimakkuuden suhteen pitimien järjestys oli sama, kuin värähtelymittauksienkin kannalta katsottuna. Värähtely- ja äänenvoimakkuuden mittaaminen tässä testissä kulkevatkin loogisesti käsi kädessä, jysynnässä esiintyvien värinöiden erot eri pitimien välillä saadaan mitattua molemmilla mittaustavoilla. Tämän testin kannalta mittaustavat tukevat toisiaan, koska tulokset kertovat pitimistä samaa.

Suurin mainittava asia äänenvoimakkuuden mittauksesta on kutistepitimen 17,4 dB:ä mitattu suurempi äänenvoimakkuus verrattuna hiljaisimpaan hydrauliseen pitimeen. Työstökoneella jysittäessä näin suuri mitattu äänenvoimakkuuden ero kuuluu koneistajan korvaan "terän vinkumisena", ja normaalitilanteessa työstö olisi pitänyt heti keskeyttää. Näin suuri desibelien lisäys moninkertaistaa korvalla kuultavan äänenvoimakkuuden, johtuen desibeliasteikon kasvamisesta logaritmisesti.



Kuva 26: Testauksessa käytetty TES 1352A äänenvoimakkuuden mittalaite (Tuhkanen 2018.)

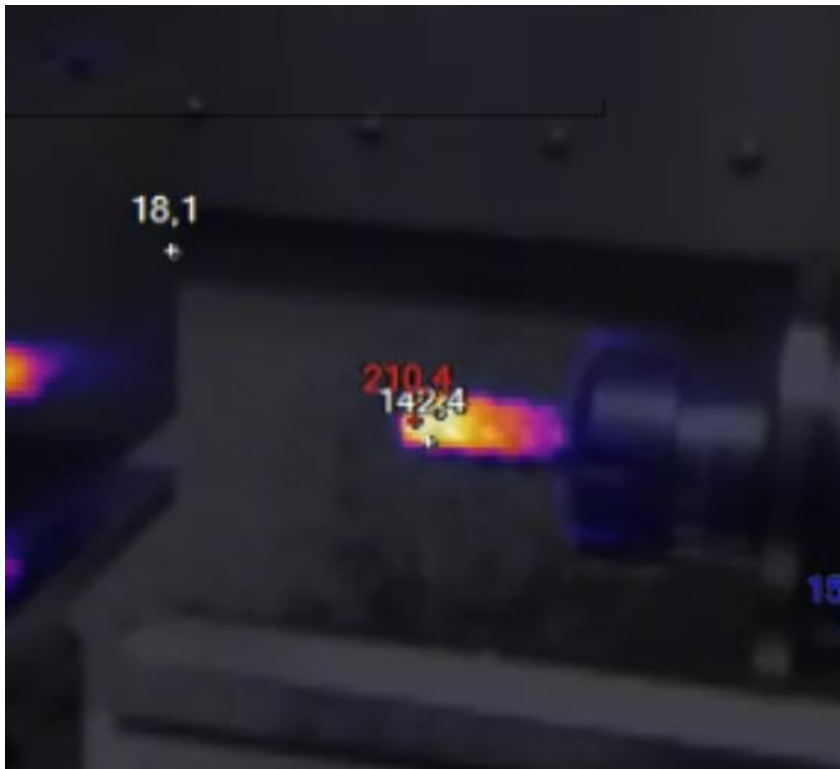
6.3 Jyrsinnässä syntyvän lämmön mittaaminen

Testin aikana mitattiin myös jyrsintäprosessissa syntyvää lämpötilaa. Lämpötilan mittaamista varten käytössä oli Fluke Thermal Imager Ti125 lämpökamera. Kameralla saadaan nauhoitettua videota, jota voidaan jälkikäteen tarkastella Fluken tähän tarkoitukseen olevalla tietokoneohjelmalla. Ohjelman sisällä lämpötilaa voidaan tarkastella mistä tahansa kohdasta videokuvaa, ja ohjelma näyttää automaattisesti myös suurimman ja pienimmän lämpötilan pisteen videoruudulta.

Testin aikana mietittiin, että jyrsinnässä syntyvän lämmön pitäisi olla vakio riippumatta pitimestä. Ainoastaan työstöarvot vaikuttavat teoriassa jyrsinnässä syntyvään lämpötilaan.

Testin aikana kuitenkin huomattiin, että lämpökameran mukaan eri pitimien välillä myös lämpötilat vaihtelivat. Osaltaan lämpötilavaihtelut voivat johtua joko mittausepävarmuudesta, tai ne todella vaihtelevat riippuen jyrsintäprosessin onnistuvuudesta. Tarkemmin asiaa mietittiin, ja tultiin siihen tulokseen, että työkalun värinä luultavasti nostaa jyrsinnässä syntyvää lämpötilaa. Terä ei leikkaa tällöin niin hyvin (kutiste pidin), kuin tukevissa olosuhteissa (hydraulinen pidin), ja värinöiden myötä terän ja kappaleen välinen kitka on luultavasti suurempi. Isompi kitka taas aiheuttaa terälle suurempaa lämpötilaa.

Onnistuneen koneistusprosessin kannalta siis on otollisinta, että työkalu pysyy mahdollisimman viileänä. Tämä vähentää työkalun kulumista ja pidentää sen kestoikää. Mitä pienempi lämpötilalukema lämpökameran kautta saadaan mitattua, sitä paremmin jyrsintäprosessi on onnistunut.



Kuva 27: Lämpökamerakuvaa jyrsintyökalusta heti terän irrottua testikappaleesta. Fluken ohjelma näyttää automaattisesti kuvasta kuumimman ja viileimmän pisteen, sekä näiden lämpötilan (Tuhkanen 2018.)



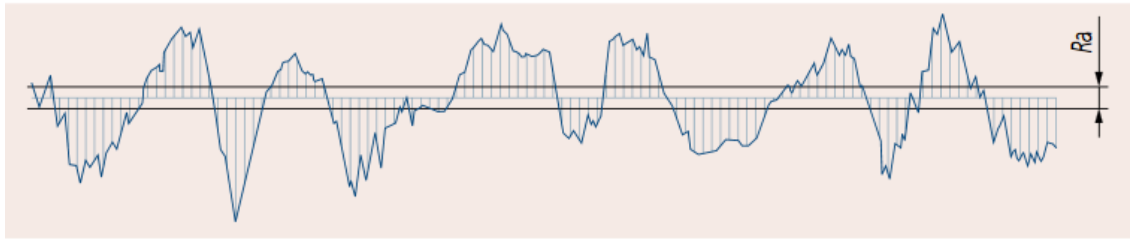
Kuva 28: Fluke Thermal Imager Ti125 lämpökamera (Tuhkanen 2018.)

6.4 Pinnankarheus

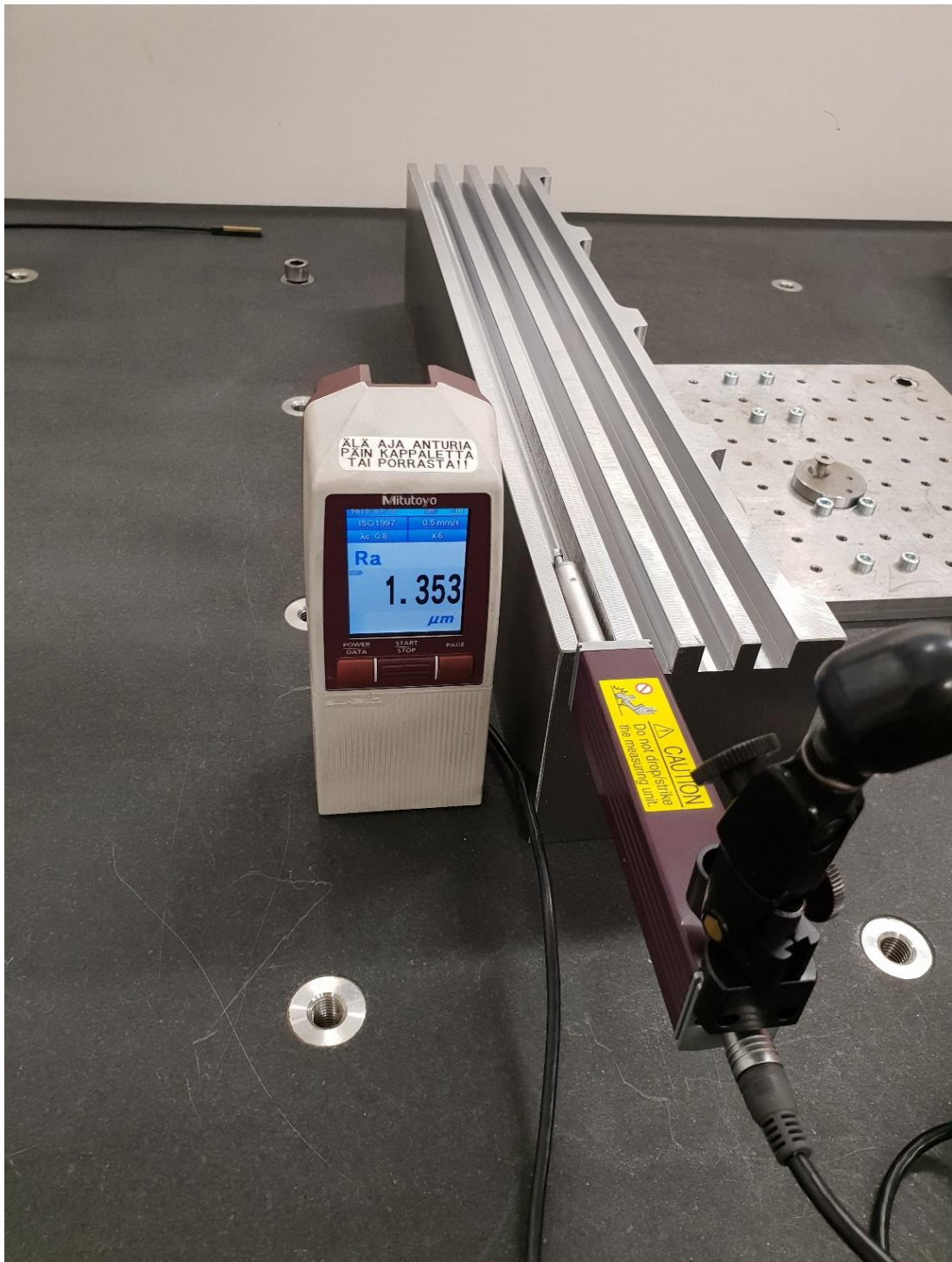
Testikappaleesta mitattiin koneistettujen urien pohjan ja kyljen pinnankarheus. Pinnankarheuden mittaamiseen käytettiin Mitutoyon SJ-210 pinnankarheusmittaria. Mittarissa on erikseen käyttöpaneeli, jossa sijaitsevat näyttö ja näppäimet mittauksen suorittamiseen. Itse mittauspää on siirrettävän magneettijalan päässä, ja näin mittauspäättä voidaan siirtää hankaliinkin paikkoihin. Mittauksen aikana mittauspäässä oleva anturi liikkuu mittauspään pitkittäissuunnassa valitun mittaisen matkan, ja mittauskärki mittaa tällä matkalla olevat pinnankarheushuiput. Näiden huippujen perusteella pinnankarheusmittari laskee esimerkiksi tässä testissä halutun Ra-arvon (Ra – aritmeettinen keskimääräinen pinnankarheusarvo, Kuva 27).

Koneistusprosessia takasteltaessa prosessi on sitä paremmin onnistunut, mitä parempi pinnankarheus koneistetussa pinnassa on. Huono pinnankarheus kertoo, että työkalu on joko lähtenyt väriseämään, tai se ei ole leikannut tasaisesti jokaisella terässä olevalla hampaalla. Tämän testin kannalta tulokset olivat siis sitä parempia, mitä pienempi mitattu Ra-arvo oli.

Mitattujen pinnankarheusarvojen mukaan edelleen pitimien paremmuusjärjestys näyttäisi olevan tälläkin osa-alueella sama. Tästä voidaan suoraan päätellä, että jyrinnässä koneistetun pinnan pinnankarheus on suoraan verrannollinen pitimen tukevuuteen, ja tukevammalla pitimellä saadaan parempia pinnankarheusarvoja kuin ei niin tukevalla.



Kuva 29: Pinnankarheuden Ra-arvo, eli aritmeettinen keskimääräinen pinnankarheusarvo (Mitutoyo 2018.)



Kuva 30: Uran pohjan pinnankarheuden mittaaminen Mitutoyo SJ-210 pinnankarheusmittarilla (Tuhkanen 2018.)



Kuva 31: Uran kyljen pinnankarheuden mittaaminen Mitutoyo SJ-210 pinnankarheusmittarilla (Tuhkanen 2018.)

6.5 Koordinaattimittauskoneella mitattavat asiat

Tämän tutkimuksen yksi tärkeimmistä ja eniten tietoa antavista mittauksista oli jyrstyjen urien mittaus koordinaattimittauskoneella. Koordinaattimittaus on varma ja luotettava tapa mittaamiseen, ja sen myötä saadaan mittaajasta johtuvat virheet minimoitua.

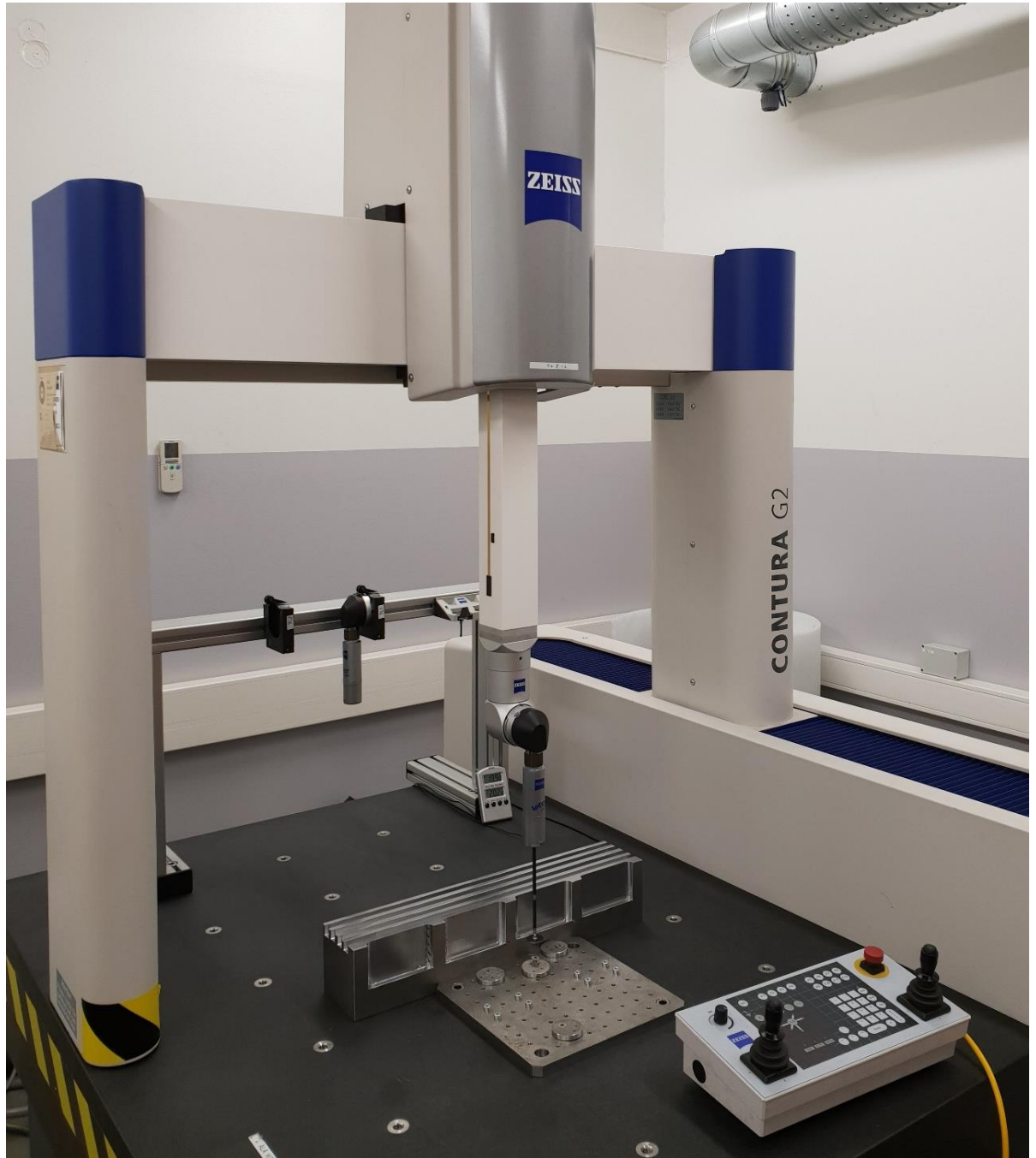
Testissä jyrstiin testikappaleeseen neljä samanlaista uraa, kukin erilaisella työkalupitimellä. Näistä jokaisesta urasta mitattiin samat asiat:

1. Uran syvyys kappaleen alku- ja loppupäästä 20 mm:n päästä kappaleen reunasta. Tällä mittauksella saatiin selville, onko työkalu liukunut pitimestä ulos jyrstinnän aikana.
2. Uran leveyden mittaus 6 mm:n syvyydeltä, eli uran puolivälistä. Molemmilta puolin uraa mitattiin pitkittäissuunnassa 100 mm:ä pitkä mittausjakso, ja koordinaattimittakone otti 1000 mittauspistettä tältä matkalta. Kone laskee näiden pisteiden avulla laskennallisen keskiviivan uran molemmille sivuille, ja laskee näiden viivojen välisen etäisyyden, eli uran leveyden.

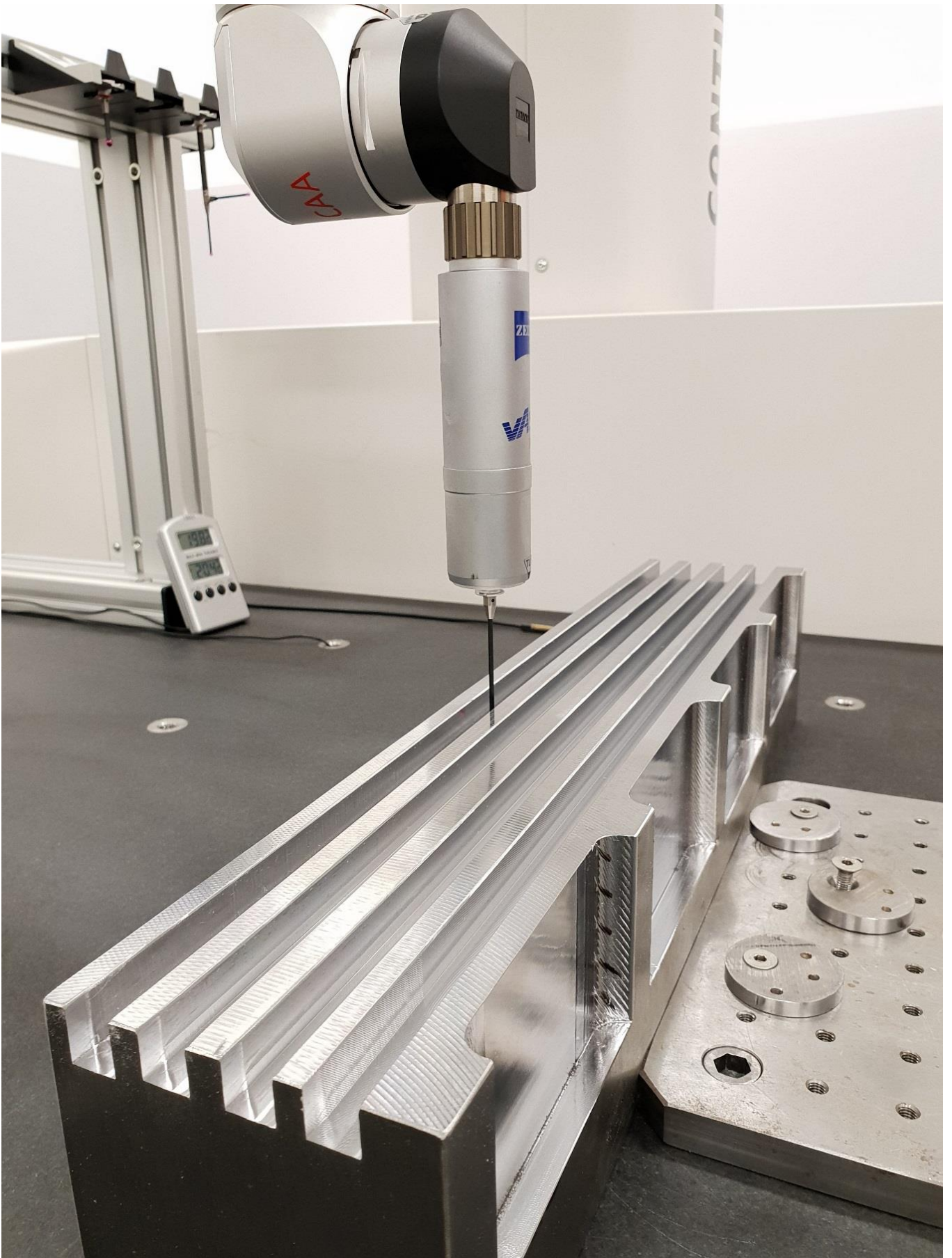
12 mm:n jyrstintapilla jyrstittäessä uran leveyden tulisi olla hyvin lähellä työkalun nimellismittaa 12 mm:ä. Mitä lähempänä nimellismittaa mitattu mitta on, sitä paremmasta keskitystarkkuudesta tulos kertoo. Tähän mittaukseen tulee huomata myös, että uran leveyteen vaikuttaa myös pitimen tukevuus, ja miten stabiilisti sitä kautta koneistus on onnistunut. Urien leveyden suhteen paras tulos oli Er kiristysholkki-istukalla sekä hydraulisella pitimellä, 0,0003 mm:n erolla Er holkki-istukan hyväksi. Kolmanneksi paras tulos oli Weldon pitimellä. Weldon pitimen osalta tulos oli jo 0,0072 mm:ä huonompi, ja tämä kertoo Weldon pitimen huonosta työkalun keskitystarkkuudesta. Työkalun sijaitessa pitimen reiän toisessa laidassa, yksi hammas haukkaa enemmän materiaalia ja näin ollen samalla leventää uraa jyrstinnän edetessä. Huonoin tulos oli kutistepitimellä, joka johtuu täysin pitimen huonosta tukevuudesta. Työkalu ei ota vastaan jyrstinnässä syntyviä työstövoimia, vaan pidin antaa periksi ja jyrstintappi pääsee vaeltamaan koneistuksen aikana työstettävässä kappaleessa.

Urien syvyyksien mittauksessa kaikkien muiden pidinten erot oli lähes identtiset, lukuunottamatta Er holkki-istukkaa. Er holkki-istukalla jyrstityn uran alku- ja loppupään erotus oli jopa 2,2 mm:ä, ja tämä kertoo työkalun liukuneen ulos pitimestä koneistuksen aikana. Tästä tuloksesta voidaan päätellä, että Er holkki-istukan kiinnipitovoima ei riitä pitämään työkalua kiinni pitimessä, vaan jyrstintapissa olevasta lastu-urien nousukulmasta johtuva vetovoima pyrkii vetämään työkalua irti pitimestä. Näin suuri työkalun ulosliukuma pitimestä on jo merkittävä, ja todellisessa koneistustilanteessa olisi aiheuttanut kappaleen hylkäämisen välittömästi.

Alun perin oli tarkoitus myös mitata dynaamisella jysintämenetelmällä koneistettuja tasoja testikappaleen sivulta, ja mitata näistä tasojen kohtisuoruus peruspintaan nähden. Tämä mittaus olisi kertonut, miten paljon jysintappi taipuu pitimessä koneistettaessa suurella syvyyslastulla. Mittausta ei kuitenkaan voitu suorittaa, johtuen kahden jysintapin rikkoutumisesta testin aikana. Näin ollen dynaamisella jysintämenetelmällä jysintyjä tasoja ei saatu mitattua ollenkaan koordinaattimittakoneella, ja dynaamisen jysinnän testin analysointi jäi muiden mittausten varaan.



Kuva 32: Zeiss Contura G2 koordinaattimittauskone. Mitattava testikappale näkyy pöydällä (Tuhkanen 2018.)



Kuva 33: Testikappaleen urien mittausta koordinaattimittauskoneella (Tuhkanen 2018.)

6.6 Tutkimuksen mittaustulokset koottuna taulukkoon

Alla olevassa taulukossa on kaikki testissä mitatut mittaustulokset koottuna yhteen taulukkoon.

Opinnäytetyön mittaustulokset							
Työkalupidin	Uran mitattu leveys (mm)	Uran mitattu syvyys (mm)	Pinnankarheus seinämällä (Ra)	Pinnankarheus uran pohjalla (Ra)	Työkalun mitattu lämpötila (°C)	Värähtelymittaus (g)	Mitattu äänenvoimakkuus (dB)
ER32 Collet Chuck	12,0213	2,200	0,616	1,350	210,4	0,041	82,7
AK182 Hydraulic Chuck	12,0216	0,032	0,494	1,080	206,5	0,026	81,3
Weldon Holder	12,0285	0,044	0,569	1,204	208,9	0,034	81,6
Shrink Fit Holder	12,0571	0,046	4,297	1,870	214,0	1,57	98,7

Taulukko 2: Mittaustulokset kerättynä excel-taulukkoon

Kaikista mittaustuloksista on todettavissa lähes samat asiat, ja näin ollen nämä tukevat hyvin toisiinsa tämän tutkimuksen tulosten analysoinnin kannalta.

7 LOPPUTULOKSET TYÖKALUPIDINTEN EROISTA

Tämän tutkimuksen päätarkoituksena oli selvittää erilaisien työkalupitimien välisiä eroja, ja mihin erot ja pitimien eri ominaisuudet vaikuttavat koneistusprosessissa. Tutkimus onnistui sen suhteen todella hyvin, sillä pitimien välisiä eroja saatiin konkreettisesti näkyviin sekä mittaamalla että myös tutkimuksessa olleiden henkilöiden aistinvaraisesti arvioimalla.

Dynaamisen jyrinnän suhteen työkalu kesti ajaa työstöradan kokonaan läpi ainoastaan hydraulisessa ja weldon -pitimessä. Sekä Er- että kutistepitimessä työkalu katkesi kesken koneistuksen. Syitä mietittiin ja tultiin siihen tulokseen, ettei näissä pitimissä yksinkertaisesti riitä tukevuus dynaamiseen jyrintään. Dynaamisessa jyrinnässä kuitenkin syötöt ovat todella suuria, ja työkalun yhtään väristessä tai haukatessa enempiä materiaalia jyrintappi katkeaa.

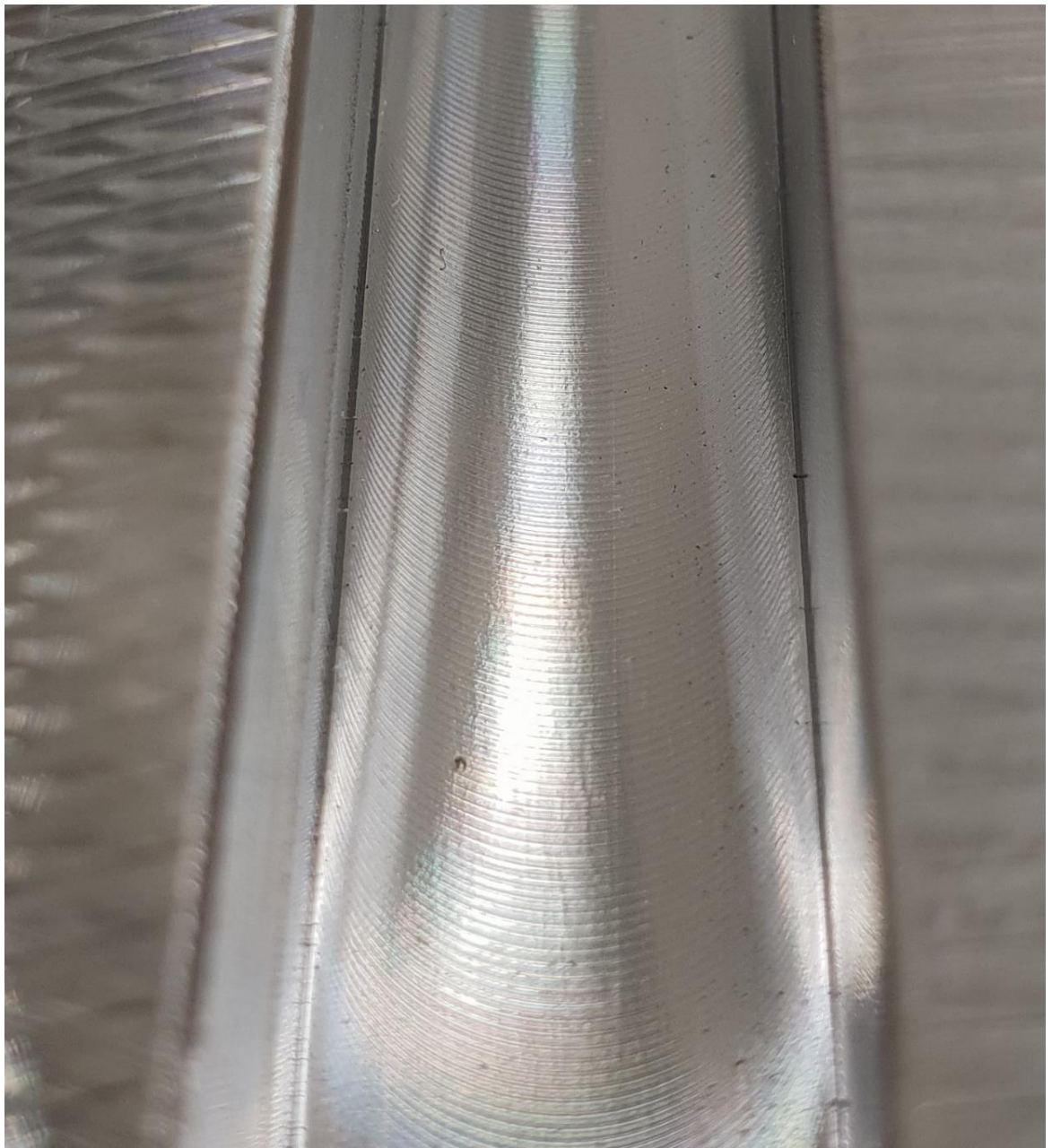
7.1 Pitimien vertailu umpiuran jyrinnässä

Koneistettaessa kovametallisilla jyrintapeilla umpiuraa tai tähän verrattavissa olevaa jyrintää, työkalupitimeltä vaaditaan äärimmäisen paljon, jotta päästään hyvään ja laadukkaaseen lopputulokseen. Varsinkin käytettäessä nykyaikaisia työkaluja ja suuria työstöarvoja, pitimeen kohdistuu todella paljon työstövoimia.

Karkeasti lueteltuna pitimeltä vaaditaan uran jyrinnässä seuraavia ominaisuuksia:

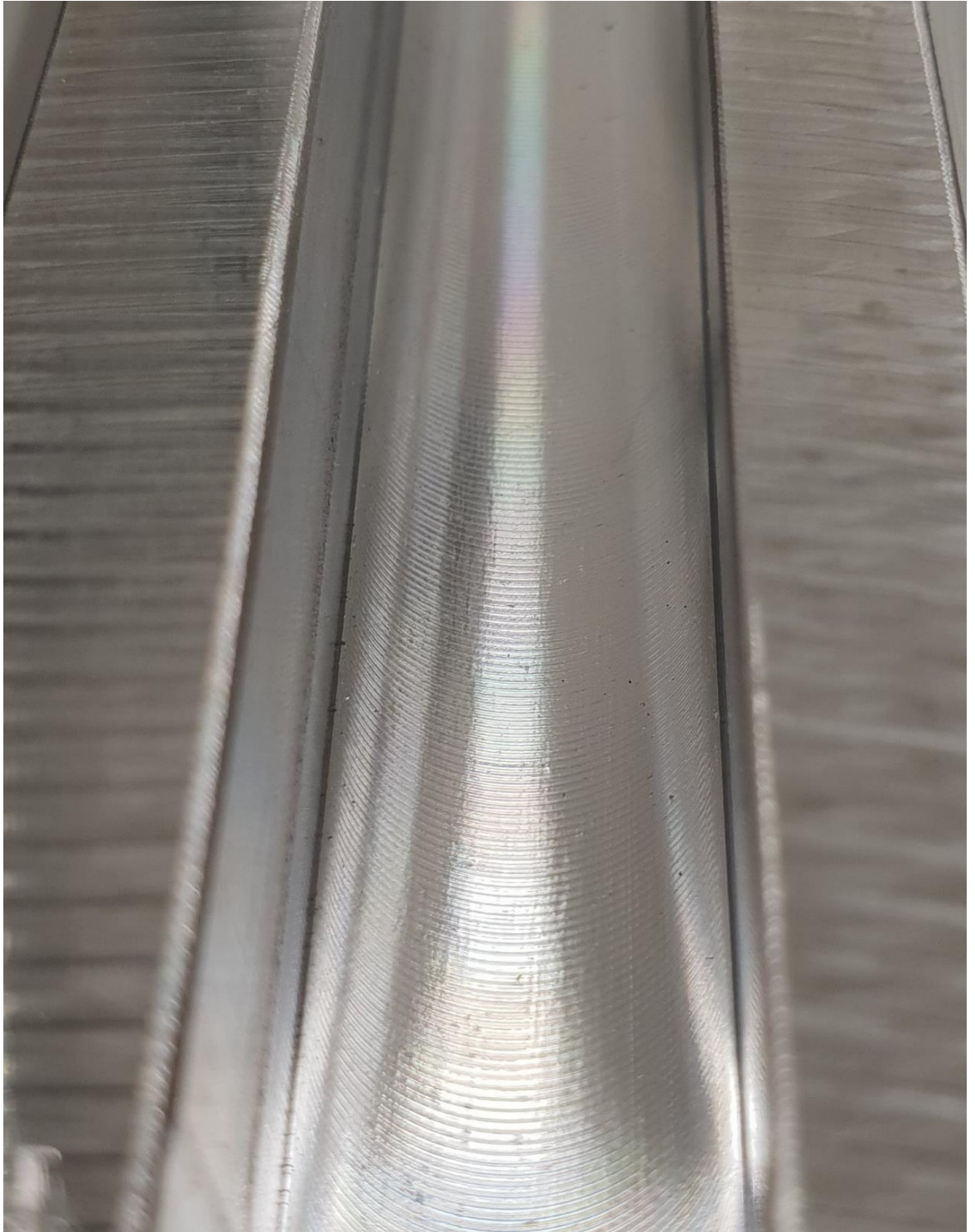
1. Pitimen tulisi keskittää työkalu mahdollisimman tarkasti karan keskilinjaan heitottomaksi, jotta työkalun jokainen leikkaava hammas lastuaa tasaisesti kappaleesta yhtä paljon materiaalia pois. Työkalun heittäessä yksi hammas ottaa enemmän kuormaa, ja tämä näkyy työkalun ennenaikaisena kulumisena sekä koneistuksen huonona tarkkuutena ja pinnanlaatuun.
2. Pitimen kiinnipitovoiman on oltava riittävän suuri, jotta pidin pystyy pitämään työkalun paikallaan ja jaksaa estää työkalun ulos liukumisen koneistuksen aikana. Jyrintapeilla jyrittäessä työkaluun kohdistuu pitimestä ulospäin suuntautuva vetovoima, joka pyrkii vetämään jyrintappia ulos pitimestä. Vetovoima syntyy jyrintapissa olevista lastu-urista, jotka ovat hiottu tietylle nousukulmalle, tässä tapauksessa 50 astetta työkalun pituuslinjaan nähden. Jos pidin ei jaksaa kumota tätä vetovoimaa, työkalu lähtee liukumaan ulos, ja koneistettava ura syvenee koko ajan jyrinnän edetessä.
3. Pitimen on oltava mahdollisimman tukeva. Pitimen tukevuus on hyvän ja laadukkaan lopputuloksen kannalta tärkeimpiä asioita. Tukevuus vaikuttaa suuresti työkalun kestoikään sekä koneistetun pinnan mittatarkkuuteen ja pinnanlaatuun.

Tässä tutkimuksessa olleista pitimistä kaikkiin näihin vaatimuksiin parhaiten vastasi selkeästi hydraulinen pidin. Jyrsinnän ääni oli pehmeä ja hiljainen, ja jo tästä kuultiin, että koneistus onnistuu todella hyvin. Aistinvaraisten arvioiden lisäksi myös mittauksien analysointi osoittaa, että hydraulisella pitimellä koneistus on onnistunut laadukkaimmin ja tukevimmin. Pitimellä syntyi paras pinnanlaatu, työkalu pysyi jyrsinnän aikana viileimpänä sekä ura oli mitoiltaan todella mittatarkka. Pitimessä on myös todella suuri työkalun kiinnipitovoima, ja jyrsintappi ei lähtenyt liukumaan ulos pitimestä. Oletettavaa myös on, että hydraulisella pitimellä koneistettaessa työkalun kestoikä on mahdollisimman pitkä. Tulee kuitenkin muistaa, että hydraulinen pidin on kaikista testissä olleista vaihtoehdoista selkeästi kallein. Tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin voidaan todeta, että näistä ominaisuuksista kannattaa maksaa, jos halutaan koneistaa suurilla työstöarvoilla laadukasta jälkeä.



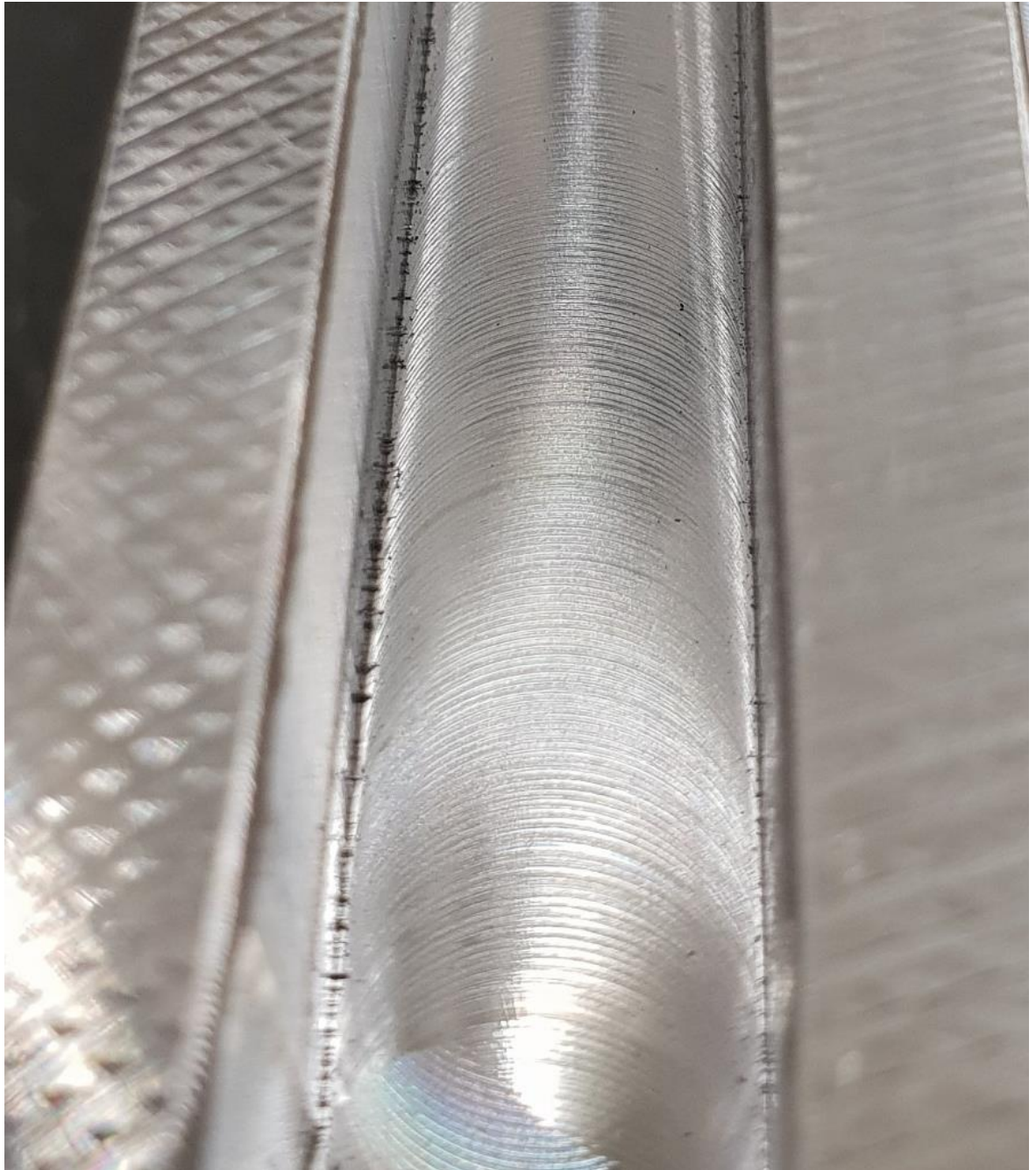
Kuva 34: Hydraulisella pitimellä jyrsitty ura (Tuhkanen 2018.)

Seuraavaksi suositeltavin vaihtoehto umpiuran jyrshintään on weldon pidin. Weldon pitimen tukevuus on kohtuullinen, ja myös koneistetun pinnan pinnankarheus on suhteellisen hyvä. Työkalun kiinnitys on myös varma, johtuen ruuvi kiinnityksestä työkalun kyljestä, joten työkalu ei lähde liukumaan ulos pitimestä. Weldon pitimen haittapuolena voidaan pitää jo useasti esille nousutta huonoa työkalun keskitystarkkuutta. Varsinkin kovametallisilla jyrshintapeilla huono keskitystarkkuus näkyy työkalun alentuneena kestoikänä, sekä koneistetun pinnan pinnanlaadussa sekä tarkkuudessa. Pidin on myös todella edullinen verrattuna hydrauliseen pitimeen.



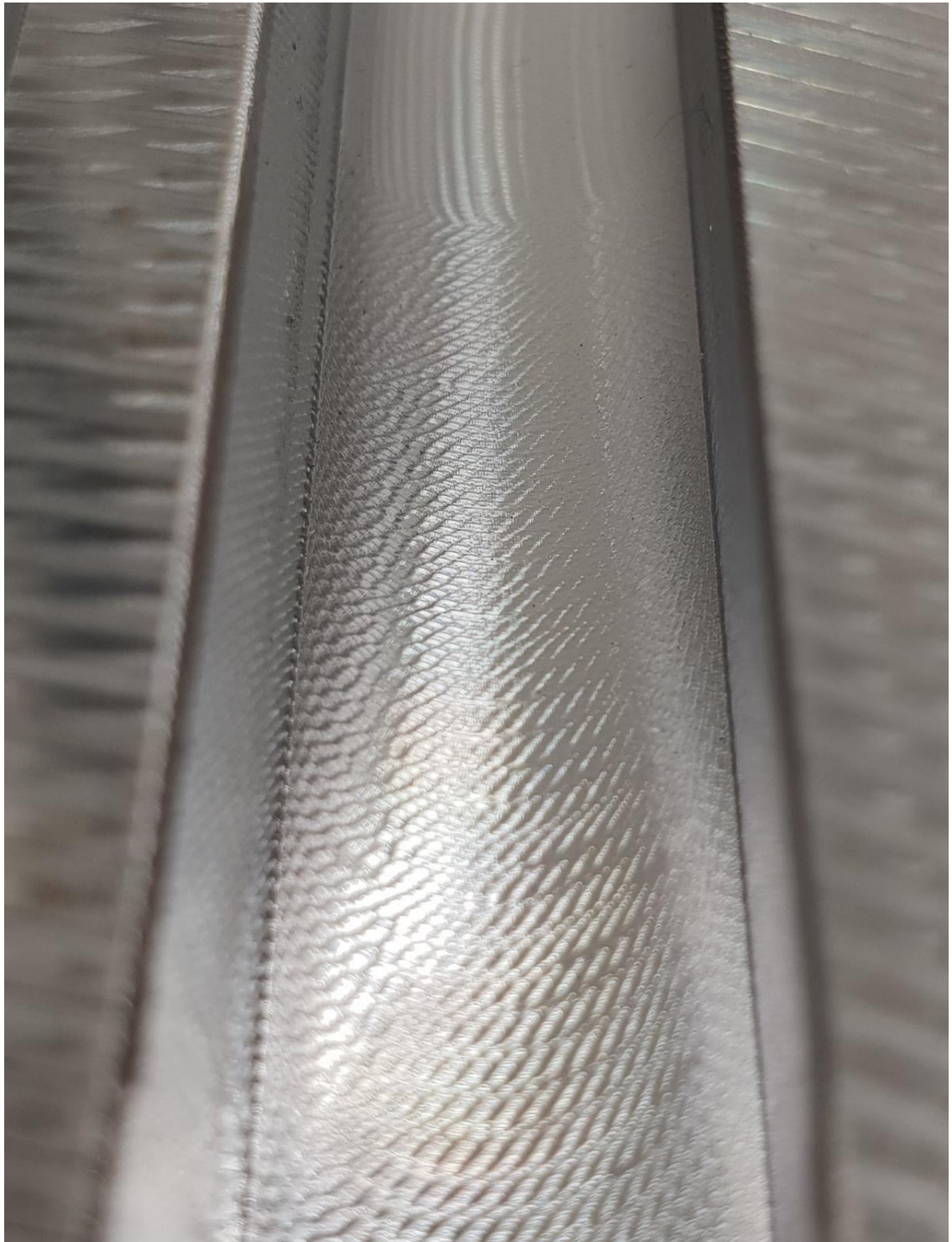
Kuva 35: Weldon pitimellä jyrshinty ura (Tuhkanen 2018.)

Kolmanneksi parhaiten testistä suoriutui Er kiristysholkki-istukka. Testissä kuitenkin jo heti ilmeni, että suuremmilla työstöarvoilla holkki-istukkaa ei suositella käytettäväksi umpiuran jyrsintään. Pitimen huonon tukevuuden kuulee jo äänestä, sekä se tuli myös esille tarkasteltaessa mittaustuloksia. Testissä suurin negatiivinen puoli oli pitimen huono kiinnipitovoima. Koneistuksen aikana työkalu ei saisi koskaan liikkua pitimessä, ja pelkästään tämän yhden uran aikana työkalu liukui jopa 2,2 mm:ä ulos pitimestä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että näin suurilla työstöarvoilla Er holkki-istukkaa ei pysty käyttämään uran jyrsintään.



Kuva 36: Er kiristysholkki-istukalla jyrsitty ura (Tuhkanen 2018.)

Huonoiten umpiuran jyrintään soveltuu kutistepidin. Vaikka kutistepitimestä on erinomainen työkalun kiinnipitovoima ja työkalun keskitystarkkuus, pitimen tukevuus ei enää riitä hallitsemaan jyrinnässä syntyviä työstövoimia. Huono tukevuus kuultiin jo heti jyrinnän aikana, ja ääntä ei pystynyt kuuntelemaan ilman kuulosuojaimia. Jyrinnässä syntyvät värinät näkyvät sitten selvästi tarkasteltaessa mittaustuloksia, joissa muun muassa pinnankarheus on todella karkea verrattuna muihin pitimiin. Kutistepidintä ei voi suositella näin suurilla työstöarvoilla jyrittäessä pitimeen kohdistuvien työstövoimien ollessa suuret.



Kuva 37: Kutistepitimellä jyritty ura. Urassa näkyy selkeästi, miten työkalu on värissyt jyrinnän aikana (Tuhkanen 2018.)

7.2 Mihin erilaiset pitimet soveltuvat

Konepajoissa on lukematon määrä erilaisia koneistustöitä, työstökoneita ja työstötapoja. Ei ole ole-massa mitään yksiselitteistä sääntöä mihin työhön ja millaisiin olosuhteisiin mikäkin työkalupidin olisi paras vaihtoehto.

Karkeasti kuitenkin voidaan tässä testissä olleita pitimiä suositella seuraaviin töihin niiden ominai-suuksien vuoksi:

1. Hydraulinen pidin soveltuu lähes kaikkeen jyrshintään. Pidin on tukevin ja se pystyy vastaan-ottamaan todella suuria jyrshinnässä syntyviä työstövoimia. Halutessa jyrshinnältä hyvää pin-nanlaatua ja mittatarkkuutta hydraulinen pidin on paras vaihtoehto. Työkalun kestoikä on myös oletettavasti pisin verrattuna muihin pitimiin. Huonoina puolina voidaan pitää hydraulisen pitimen hintaa ja massiivisuutta. Välillä on tilanteita, joihin hydraulinen pidin ei mahdu tai ottaa työkappaleeseen kiinni. Dynaamiseen jyrshintään hydraulinen pidin on suositeltavin vaihtoehto tukevuutensa ja keskitystarkkuutensa vuoksi. Hydraulisia pitimiä voidaan käyttää myös suurnopeuskoneistuksessa.
2. Weldon pidin soveltuu peruspitimeksi koneistuskeskuksille, ja näillä voidaan tehdä myös jyr-sintöjä suuremmillakin työstöarvoilla. Paras käyttökohde weldon pitimelle mielestäni on vaih-topalajyrshinten kiinnitys, jolloin niin suurta keskitystarkkuutta ei tarvita. Weldon pitimessä kovametalliset työkalut eivät kestä niin pitkään, kuin esimerkiksi hydraulisessa pitimessä. Esimerkiksi kovametallisen poran heitto tulisi olla alle 0,01 mm:ä, ja weldonissa tämä ei mo-nestikaan toteudu. Weldon pitimen etuna on sen edullinen hinta, ja usein sen takia niitä os-tetaan peruspitimiksi suurempia määriä.
3. Er kiristysholkki-istukka soveltuu hyvin myös koneistuskeskuksille peruspitimeksi. Tulee kui-tenkin huomata, että istukalla ei voida koneistaa kovin suurilla työstöarvoilla. Pidin on moni-puolinen, ja holkkeja vaihtamalla saadaan lähes minkäkokoinen työkalu kiinnitettyä piti-meen. Holkkeja saa myös tiivistettynä, jolloin työkalun läpi saadaan tulemaan leikkuunes-tettä. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi läpikäähdytettyjä kovametalliporia, kunhan vain työstöarvot pidetään maltillisina. Suosittelen Er holkki-istukoita koneistuskeskuksille ns. kak-kospitimiksi, joihin voi kiinnittää sekalaisia työkaluja aina tarpeen vaatiessa. Er holkki-istu-kan etuna on myös edullinen hinta.
4. Kutistepitimet eivät sovellu lainkaan, jos jyrshintään suuremmilla työstöarvoilla esimerkiksi tä-män testin mukaisesti uraa kappaleeseen. Pitimien tukevuus ei vaan riitä, ja koneistusjälki ei ole laadukasta. Kutistepitimet ovat paras vaihtoehto viimeistelykoneistuksiin esimerkiksi pal-lopäisillä jyrshintapeilla. Pitimen keskitystarkkuus on erinomainen, joten koneistettavan pin-nan pinnanlaatu on hyvä ja työkalu kestää mahdollisimman pitkään. Kutistepitimiä voidaan myös käyttää, kun tarvitaan todella pitkää vapaapituutta ja ulottuvuutta. Pitimessä ei ole kiristysmutteria tai muitakaan osia, joiden mukaan rungon halkaisija kasvaisi. Näin ollen ku-tistepitimillä päästään usein paikkoihin, joihin muut pitimet eivät edes mahtuisi. Kutistepiti-men käyttöön tarvitsee myös induktiolämmittimen, jonka avulla työkalu asetetaan pitimeen.

8 LOPPUPOHDINNAT

Omasta mielestäni tämä opinnäytetyö onnistui todella hyvin jokaiselta osa-alueelta, niin käytännön tekemisen, mittaamisen kuin tulosten analysoinninkin kannalta. Käytännön tekeminen oli jo tällä porukalla tuttua puuhaa, sekä koneet ja laitteet olivat jo ennalta tuttuja. Näiden opetteluun ei siis mennyt enää aikaa, vaan päästiin keskittymään suoraan itse tutkimukseen.

Itse tutkimuksen kannalta valitut mittausmenetelmät sopivat tähän työhön todella hyvin, ja jokaisesta saatiin kerättyä selkeää mittausdataa. Mittausdatan perusteella oli selkeää tehdä johtopäätöksiä tehdystä tutkimuksesta, ja jokainen mittaustulos tuki toisiaan tulosten osalta. Mikään mittaus ei epäonnistunut, vaikka näiden kaikkien asioiden mittaaminen yhdessä testissä olikin haastavaa.

Tämän opinnäytetyön tulokset kuvaavat mielestäni hyvin omaa yleistä näkemystä ja käytännön kautta kertynyttä kokemusta erilaisista työkalupitimistä. Ennen tutkimusta mietin jo mielessäni, miten eri pitimet testistä suoriutuvat. Tulokset tukivat minulla itsellä jo ollut mielikuvaa aika paljon, ehkä suurin yllätys oli, miten hyvin weldon pidin testistä suoriutui. Tulokset peilaavat myös aika hyvin haastatteluista saatuun yleiseen mielikuvaan eri pitimistä, joka tämän alan ammattilaisilla on.

Tämä opinnäytetyö antaa varmasti monelle koneistuksen parissa työskentelevälle henkilölle vastauksia pitimien ominaisuuksien suhteen, ja antaa pohjaa, kun työstökoneelle valitaan pitimiä näistä neljästä eri vaihtoehdosta. Aiheesta ei löydy kovin montaa tutkimusta, ja usein työkaluvalmistajien tutkimuksia katsotaan tietyllä tapaa kriittisesti. Kyseessä on kuitenkin myytävä tuote, jonka valmistaja haluaa saada myytyä asiakkaalleen. Tämän opinnäytetyön perusajatuksena oli jo alun perin tehdä puolueeton ja luotettava tutkimus aiheesta, ja perustaa tulokset mitattuun dataan, jolloin kenenkään mielipiteet eivät pääse tähän vaikuttamaan.

Tutkimusta pitimistä pystyisi helposti jatkamaan. Olisi mielenkiintoista nähdä esimerkiksi, miten työkalupidin vaikuttaa kovametalliporilla poratessa reiän pinnanlaatuun ja poran kestoikään, tai miten suuria eroja työkalujen kestoiässä on jyrittäessä tämän testin kaltaista uraa kappaleeseen.

Tutkimuksen aikana opin itse eniten koko tutkimusprosessista, mitä ja miten erilaisia tutkimuksia voi tehdä, ja miten tuloksia kannattaa analysoida. Opin myös ajattelemaan asioita kriittisesti, ja ettei omiin tuntemuksiin kannata aina luottaa, vaan asiaa voidaan testata ja sitä kautta myös mahdollisesti mitata. Koneistuksen ja käytännön tekemisen kannalta ei itselle tullut hirveästi mitään uutta, lähinnä koordinaattimittauskoneen käyttöä tuli kerrattua. Raportoinnista tuli myös todella paljon oppia, ja uskon tästä olevan paljon hyötyä työelämässä jatkossa.

Tästä on hyvä jatkaa tuleviin koitoksiin!

9 LÄHTEET

HEIKKILÄ, T. 2014. Tilastollinen tutkimus. Edita Publishing Oy. 12-14.

SANDVIK COROMANT. 2010. Tekninen käsikirja. Vantaa: Sandvik Coromant. D3.

PARLEC 2018. ER kiristysholkki-istukka kuva [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-8-2.] Saatavissa: [https://www.parlec.com/Products/Tool-Holding/ER-Collet-Chucks/CAT-40-\(1\)](https://www.parlec.com/Products/Tool-Holding/ER-Collet-Chucks/CAT-40-(1))

DESTINYTOOL 2018. Weldon pitimen heitto keskiöstä [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-8-2.] Saatavissa: <https://www.destinytool.com/toolholders.html>

MARITool 2018. Weldon urallinen jyrsintappi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-8-2.] Saatavissa: https://www.maritool.com/Cutting-Tools-End-Mills-Variable-Flute-End-Mills-Single-End-Variable-Flute/c78_79_91_100/p2298/5/8-Variable-Flute-X-1.5-LOC-W/Flat-On-Shank-With-.125-Radius/product_info.html

SCHUNCK 2018. Tendo E hydraulinen pidin kuva [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-8-3.] Saatavissa: https://schunk.com/ro_en/homepage/tendo-e-compact/

THE AWESOMER 2018. Koripallokorin koneistus kuva [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-3-8.] Saatavissa: <https://theawesomer.com/milling-metal-basketball-net/461482/#>

AJAX INDUSTRIES 2018. Shrink fit machine [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-8-10.] Saatavissa: <https://www.ajaxtoolsupply.com/shfitma.html>

SANDVIK COROMANT 2018. Tietotaito, olakkeen jyrsintä [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-9-1.] Saatavissa: https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/shoulder_face_milling

SANDVIK COROMANT 2018. Tietotaito, siivuttavat menetelmät [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-10-2.] Saatavissa: https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/application_overview/holes_and_cavities/slicing_methods/pages/default.aspx

ANSAHARJU, Tapani, MAARANEN, Keijo. 1997. Koneistus. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö – Kirjapainoyksikkö. 586.

IHALAINEN, Erkki, AALTONEN, Kalevi, AROMÄKI, Mauri, SIHVONEN, Pentti. 1986. Valmistustekniikka. Hämeenlinna: Karisto Oy. 480.

SANDVIK COROMANT 2018. Tietotaito, istukan valinta [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-9-15.] Saatavissa: <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/tooling-systems/machine-and-tooling-systems-considerations/chuck-selection/pages/default.aspx>

OPETUSHALLITUS 2018. Kunnossapito, mekaniikka, värähtelymittaukset [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-9-15.] Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html

SIBELIUS AKATEMIA 2018. Peruskäsitteitä, akustiikka [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-9-15.] Saatavissa: <http://www2.siba.fi/akustiikka/?id=13>

OPETUSHALLITUS 2018. Kunnossapito, mekaniikka, lämpökamera [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-9-26.] Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k5_lampokamera.html

MITUTOYO 2018. Quick guide to surface roughness [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-9-26.] Saatavissa: http://mitutoyo.fi/files/5814/2599/2605/Quick_Guide_to_Surface_Roughness_FI_WEB.pdf

KIVIOJA, S. 2011. Toleranssit ja pinnankarheus 4. painos. Espoo. 19-20.

RENISHAW 2018. Technische_Daten_Tastereinsaeetze_und_Zubehoer [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-9-26.] Saatavissa: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi9-uXth-bDeAhWDdCwKHXMSBIEQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.thome-praezision.de%2Fdeu%2Fdocuments%2FRenishaw_Technische_Daten_Tastereinsaeetze_und_Zubehoer.pdf&usq=AOvVaw23K0X3TkCculsx_QRQo9Wm

LITTEET

Camcut Oy
Asevelikatu 4
74100 IISALMI

TARJOUS / Mk-no: 10106

Sivu 1

Päiväys : 20-09-2018

Ferrotech Oy

Viitteemme: Janne P.

Viitteenne:

Toim. tapa:

Sahakatu 1
70800 KUOPIO

Maksuehto : 14 Pvä

Voimassa :

saakka

Toim. aika:


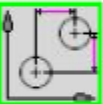
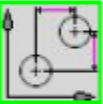
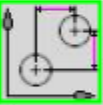
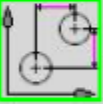
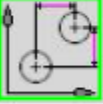
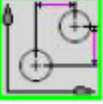
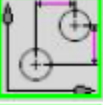
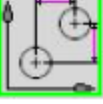
Tuotenumero	Nimike	Määrä	Ovh	Al-%	Alv	Summa	alv 0%
755002-03	Collet chuck ER BT 50 - ER32 - 70	1	123,00		1	123,00	
124-412	Collet ER 32 ø 12	1	21,00		1	21,00	
755004-04	Endmill holder Weldon BT 50 - 12 - 80	1	108,00		1	108,00	
755021-04	Shrink fit holder 4,5 BT 50 - 12 - 100	1	176,00		1	176,00	
AK182.BT50.090.32	Hydr.istukka Å32 MAS-BT50 AD/B, Walter	1	411,00		1	411,00	
FS2225	Vähennysholkki 32x12, Walter	1	121,00		1	121,00	
SG2116-01	Induktives Schrumpfgerät -Connect, 3-16	1	3300,00		1	3.300,00	
SG2116-31	Air Cooler for SHRINK FIT UNIT "-CONNECT"	1	330,00		1	330,00	
SG2116-43	Cooling Adaptor D. 9,1 - 12 mm	1	89,00		1	89,00	
SG2116-26	Adaptor for SHRINK FIT UNIT "-CONNECT",	1	101,00		1	101,00	

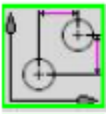
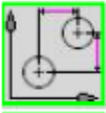
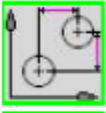
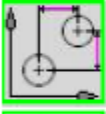
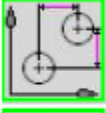
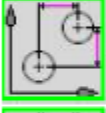
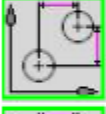
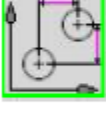
1 ALV 24% : 5.927,20
Myynti ilman veroa: 4.780,00 24,00 % Alv myynnistä: 1.147,20

YHTEENSÄ EUR 5.927,20

Y-tunnus 2618959-3 / Kotipaikka IISALMI

Liite 1: Tutkimuksessa käytettyjen työkalupitimiä sekä kutistepitimiä induktiokuumentimen ohjeinnat.
Toimittajana Camcut Oy 2018.

ZEISS Calypso		ZEISS			
Mittaussuunnitelma Lopputyö	Päivä 12 April 2018				
Piirustus nro * drawingno *	Aika 10:28:45	Järjestä * order *			
Käyttäjä Master	KMK C32Bit	Kasvava osanumerointi 4			
Tulos	Nimellisarvo	Ylätol.	Alatol.	Poikkeama	
 Kokonaistulos	Kaikki elementit: 16				
	...Toleranssissa: 16				
	...toleranssin ulkopuolella: 0				
	...yli hälytysrajan: 0				
	...ei laskettu: 0				
	Kaikki koordinaattisysteemit: 0				
	...ei laskettu: 0				
	Kaikki tekstielementit: 0				
 Hydraulic 1xD full slot	12.0216	12.0000	0.1000	-0.1000	- 0.0216
 Weldon 1xD full slot	12.0285	12.1000	0.1000	-0.1000	--- -0.0715
 Shrink fit 1xD full slot	12.0571	12.1000	0.1000	-0.1000	- -0.0429
 ER32 1xD full slot	12.0213	12.0000	0.1000	-0.1000	- 0.0213
 ER32 start point	12.0012	12.0000	0.1000	-0.1000	- 0.0012
 ER32 end point	14.2017	14.2000	0.1000	-0.1000	- 0.0017
 Hydraulic start point	11.9793	12.0000	0.1000	-0.1000	- -0.0207
 Weldon start point	11.9691	12.0000	0.1000	-0.1000	- -0.0309

Mitt.suunn. nimi Lopputyo	Käyttäjä Master	Aika 10:28:45	Päivä 12 April 2018	ZEISS	
Tulos	Nimellisarvo	Yätol.	Alatol.	Poikkeama	
 Weldon end point 12.0134	12.0000		0.1000	-0.1000	0.0134
 Shrink fit start point 11.9321	11.9000		0.1000	-0.1000	0.0321
 Shrink fit end point 11.9781	12.0000		0.1000	-0.1000	-0.0219
 Hydraulic end point 12.0116	12.0000		0.1000	-0.1000	0.0116
 ER32 Pull out 2.2005	2.2000		0.0500	-0.0500	0.0005
 Hydraulic Pull out 0.0322	0.0000		0.0500	-0.0500	0.0322
 Weldon Pull out 0.0444	0.0000		0.0500	-0.0500	0.0444
 Shrink fit Pull out 0.0460	0.0000		0.0500	-0.0500	0.0460