

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

Opinnäytetyö

Aki Mäki

Viimeistelysorvin käyttöönotto

Työn ohjaaja	Lehtori Arto Jokihaara
Työn tilaaja	Ata Gears Oy, linjapäällikkö Jyri Lempiäinen
Tampere	2010

Tekijä	Aki Mäki
Työn nimi	Viimeistelysorvin käyttöönotto
Sivumäärä	58
Valmistumisaika	Huhtikuu 2010
Työn ohjaaja	Arto Jokihaara
Työn tilaaja	Ata Gears Oy

TIIVISTELMÄ

Työn aihe on akselimaisten pinioneiden viimeistelyyn tarkoitettun sorvin käyttöön ottaminen ja siihen liittyvien menetelmien, työkalujen ja kiinnittimien suunnittelu. Työn tavoitteena oli saada sorvi osaksi tuotantoketjua ja saada yhdistettyä useita vaiheita tehtäväksi kokonaiskoneistuksena yhdellä työstökoneella. Sorvi on merkiltään Gildemeister ja se on suunniteltu osaksi Ata Gears Oy:n 500 – 800-tuotantolinjaa.

Tutkimusmenetelmät olivat lähinnä keskusteluja tuotannon toimihenkilöiden kanssa vanhan toimintatavan heikkouksista ja työvälinemyyjien kanssa käytyjä keskusteluja käytettävistä työkaluista ja menetelmistä. Lisäksi koneen käyttäjät ovat olleet keskeisessä roolissa, koska heillä on hyvä näkemys käytännön toiminnasta. Käytettäviä työkaluja on vertailtu tekemällä testejä ja sitä kautta on löydetty varmatoimiset ja tehokkaat työkalut. Lisäksi osa koneessa valmistetuista tuotteista mitattiin koordinaattimittauskoneessa, ja tämän avulla saatiin varmuus sorvin laaduntuotokyvystä. Talouspäällikkön kanssa tein salassa pidettävät talouslaskelmat sorvin hyödyistä.

Tuloksina saatiin kokonaiskoneistukseen sopivat menetelmät ja työkalut, sekä sorvin hankinnan hyödyt taloudellisesta näkökulmasta. Tulokset on saatu käytännön tutkimuksilla, joten niiden luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden aste on todella korkea.

Päätelmänä opinnäytetyöstä voitiin todeta, että sorvaaminen oikeilla työkaluilla oli tehokkuutensa ja laatuensa puolesta todella hyvä vaihtoehto hiomiselle. Kokonaiskoneistusta hyödyntämällä saatiin tahti- ja läpimenoaikoja pienennettyä huomattavan paljon.

Writer	Aki Mäki
Thesis	Starting-up finishing lathe
Pages	58
Graduation time	April 2010
Thesis Supervisor	Arto Jokihaara
Co-operating Company	Ata Gears Oy

ABSTRACT

The topic of my diploma work is starting-up a lathe and it involved planning of production techniques, tools and clamps. The aim of this work was to make this lathe being a part of production line and integrate several working phases to one. Lathes mark is Gildemeister and it is planned to being a part of 500 - 800 production line in Ata Gears Oy.

The research methods used consisted mostly of conversations with our productions white-collar workers and tool sellers. Users of the machine had also great opinions because they have a good touch to practical working. We made lots of testing machining when we have compared different manufactures chips and through tests we have found reliable and effective tools. Some of the products which has been made in this lathe were also measured on our coordinate measuring machine. Through measuring we got reliability on lathes ability to produce quality. I made some economic analysis with our finance manager but I have to keep these in secret.

Results of this work were suitable techniques and tools for high quality and effective machining, but also financial benefits for buying a lathe like that. We got all results by practical tests so I'm sure about reliability of results.

Final conclusion of my work was that using right tools and techniques it's much more effective to use lathe like that instead of grinding machine. We shouldn't forget benefits we achieved integrating several working phases to one because it shortened our turnaround time few weeks.

Keywords: total machining, hard cutting, cbn, cubic boron nitride, Gildemeister

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
1 Johdanto.....	6
2 Tuotteen esittely ja nykyinen työstäminen	7
2.1 Tuotteen esittely	7
2.2 Nykyinen työvaiheistus	8
2.3 Nykyisen menetelmän heikkoudet	11
2.3.1 Heikkoudet työstämisen kannalta	11
2.3.2 Laatu näkökulma	13
2.3.3 Läpimenoaika	14
3 Työstökoneen taustatietoa	16
4 Ensimmäinen hyväksytty koekappale	18
4.1 Testipinionin työstäminen.....	18
4.2 Testipinionin mittaustulokset	20
4.2.1 Barkhausen-mittaus	20
4.2.2 Pyöreiden mittaaminen.....	22
4.2.3 Pinnankarheusmittaukset.....	26
5 Uuden leukajärjestelmän suunnitteleminen	30
5.1 Kappaleen kiinnityspäätteen ja vanhat leuat.....	30
5.2 Uuden leukatyypin suunnitteleminen	34
6 Viiden kappaleen koe-erän testiajo ja mittaukset.....	36
6.1 Testierään käytetyt työkalut ja menetelmät.....	37
6.1.1 Mittalaite	37
6.1.2 Työstäminen	37
6.1.3 Käytetyt työkalut	38
6.2 Testierän mittaustulokset	39
6.2.1 Halkaisijamittaus	39
6.2.2 Pinnankarheusmittaus	41
7 Ensimmäisen tuotantoerän valmistaminen	43
7.1 Tuotantoerältä vaadittavat piirteet	43
7.2 Uuden menetelmän vaikutus tuotannon vaiheistukseen	43

7.3 Tuotantokappaleiden työstäminen.....	46
7.3.1 Ohjauksen ja mittauspinnan tekeminen	46
7.3.2 Viimeistelysorvaus	47
7.3.3 Kiilauran jyrsiminen	49
7.4 Mittaustulokset.....	49
7.4.1 Kiilauran mittaustulokset	50
7.4.2 Kaulojen halkaisija- ja pyöreysmittaustulokset	50
7.4.3 Kappaleen keskeisyyden mittaus.....	51
8 Työkalu- ja menetelmävalintoja.....	52
8.1 Sorvaaminen	52
8.1.1 Teräpalat.....	52
8.1.2 Työkalunpidinjärjestelmän osittainen uusiminen	53
8.2 Kiilauran jyrsintä.....	55
9 Yhteenveto.....	56
Lähteet.....	57
Liitteet	58

1 Johdanto

Tässä työssä tullaan käsittelemään Ata Gears Oy:n hankkiman Gildemeister-merkkisen sorvin ylösajoa ja siihen liittyviä asioita. Yksi osa-alue opinnäytetyössäni on dokumentointi sorvin ylösajosta ja tämä kirjallinen raportti tulee jäämään Ata Gearsille dokumentointina kyseisen sorvin ylösajoon liittyvistä ratkaisuksista ja niiden perusteluista. Ylösajoa suoritan Juho Pyhälän kanssa, joka on minua ohjailnut oikeille raiteille tämän lopputyön tekemisessä.

Ylösajettavalla sorvilla on tarkoitus työstää kovia (noin 60 HRC) akselimaisia hammaspyöriä eli pinioneita karkaisun jälkeen. Tähtäimessä on lämpökäsittelystä eteenpäin valmistaa pinioni kokonaiskoneistuksena, jossa yhdellä koneella ja kiinnityksellä pyritään tekemään mahdollisimman monta työvaihetta. Tällä tavoin voimme vähentää kappaleen vaiheita. Tällainen työstö säästää aikaa, koska kappaletta ei tarvitse kuljettaa tehtaalta ja koneelta toiselle. Samalla myös laadun odotetaan parantuvan, koska kappaletta ei tarvitse irrottaa ja kiinnittää koneeseen montaa kertaa, joten säästytään ylimääräisiltä kolhuilta ja keskiö pysyy samana koko työstön ajan. Lisäksi työn ohjattavuus helpottuu, koska valmistusketjussa on vähemmän työvaiheita ja –koneita

Opinnäytetyöni koostuu muutamasta eri pääasiasta: Ensin esittelen pinionin nykyisen vaiheistuksen ja siihen liittyvät ongelmat. Tämän jälkeen alan hankkia tietoa kovatyöstöstä haastatteleamalla työväline-edustajia sekä alan ammattilaisia. Suurin osa työstäni tulee käsittelemään menetelmäsuunnittelua, joka koostuu lähinnä työvälineiden ja kiinnittimien suunnittelusta sekä testiajoista. Myös suuntaa antavat talouslaskelmat ovat osa opinnäytetyötäni. Liitteet jäävät yrityksen sisäiseen käyttöön ja ovat salassa pidettävät viiden vuoden ajan.

2 Tuotteen esittely ja nykyinen työstäminen

2.1 Tuotteen esittely

Ata Gears Oy valmistaa kartiohampaisia hammaspyöriä, jotka myydään pareittain. Hammaspyöräpari koostuu lautaspyörästä ja akselimaisesta pinionista (kuviot 1 ja 2).

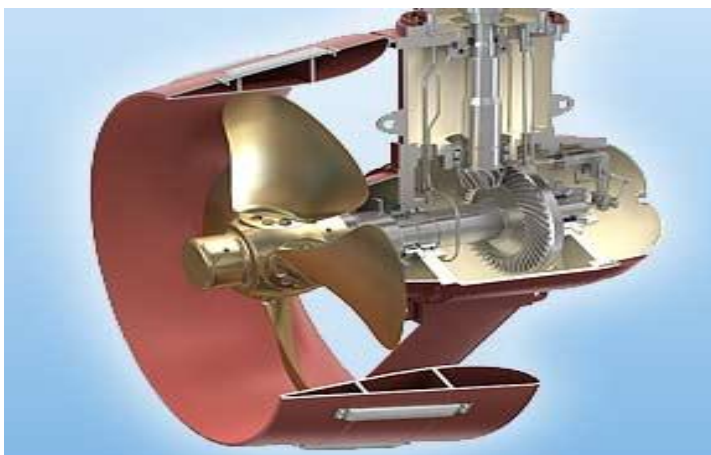


Kuvio 1: Hammaspyöräpari



Kuvio 2: Pinioni

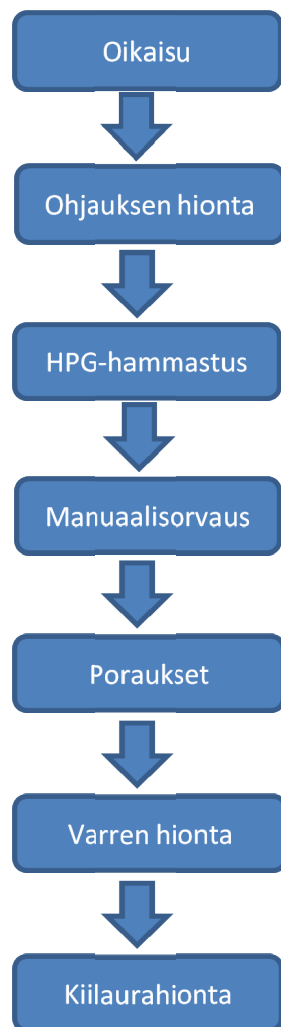
Hammaspyöriä valmistetaan lähinnä laiva- ja ajoneuvoteollisuuteen, sekä yleiseen koneenrakennusteollisuuteen. Valmistamamme lautaspyörän halkaisija voi olla suurimmillaan 2300 mm ja tällöin pinionin hammaspään halkaisija on noin 300 mm. Pienimmät lautaspyörät ovat kooltaan alle 100 mm. Kuviossa 3 on havainnollistettuna yksi hammaspyöräparin käyttökohde.



Kuvio 3: Hammaspyöräparin käyttökohde

2.2 Nykyinen työvaiheistus

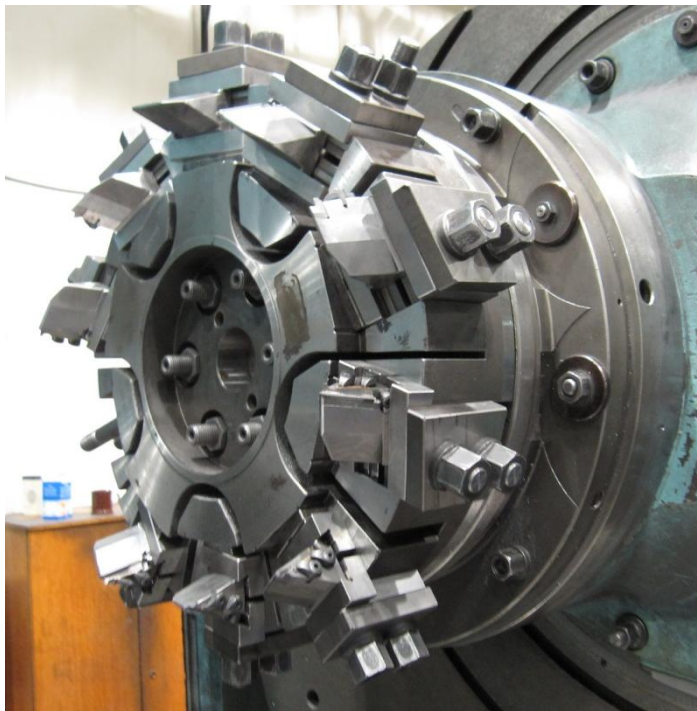
Aloitin taustatiedon keräämisen haastatteleamalla Gildemeisterin tuotantolinjan linjapäällikköä (Toimela 2009), joka aiemmin vaiheisti näiden tuotteiden valmistusta. Tällä hetkellä karkaistut pinionit työstetään alla olevan kuvion 4 vaihketjun mukaisesti.



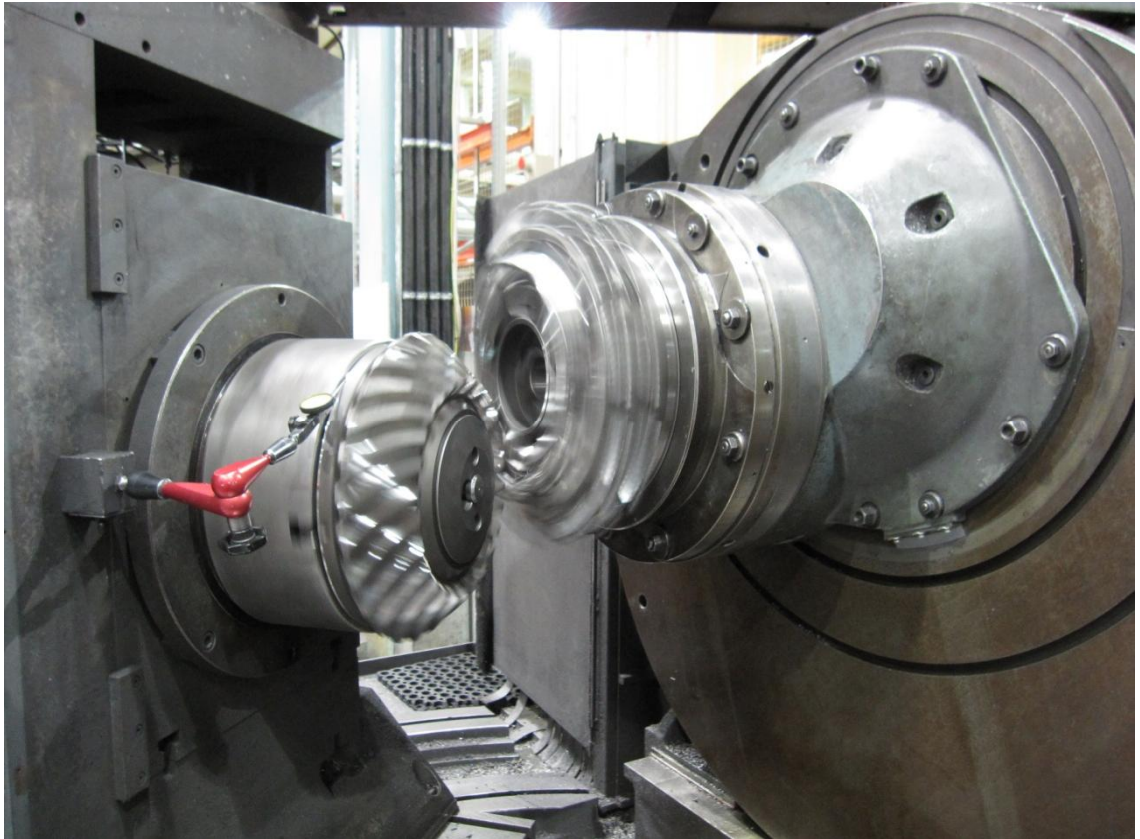
Kuvio 4 Pinionin vaiheistus karkaisusta eteenpäin

Karkaisun jälkeen pinionit ovat poikkeuksetta hieman käyriä, ja ensimmäiseksi ne viedään oikaisupuristimelle oikaistavaksi. Oikaisun jälkeen pinioni viedään hiomakoneelle, missä siihen hiotaan ohjaus- ja kellopinta, joiden avulla pinioni saadaan keskitettyä hammastuskoneeseen.

HPG -hammastus on hammastuksen viimeistelytyövaihe, jossa pyörivä teräpäätä ottaa hammaspyörän hampaan pinnasta pienen tikkumaisen lastun ja näin pikkuhiljaa tekee hampaaseen peilimäisen pinnan. Hammastuskone on synkronoitu siten, että koneessa pyörii sekä teräpäätä että hammaspyörä suhteessa toisiinsa nähden. Hammasluku ei saa olla jaollinen teräpäätäin pääluvulla, koska siitä seuraisi teräpäätäin jakovirheen kopioituminen hammaspyörään. Kuviossa 5 on viisipäinen hammastusteräpäätä, ja hammastusprosessin havainnollistamiseksi kuvio 6 on otettu koneen ollessa käynnissä.



Kuvio 5: Hammastusteräpäätä



Kuvio 6: Hammastusprosessi käynnissä

Hammastuksen jälkeen manuaalisorvilla poistetaan pinionissa oleva olake, joka on hammastuskoneeseen kiinnittämistä varten, kierteen avaus ja kiillotukset. Sorvauksen jälkeen pinioni viedään hiomakoneelle, jossa laakerikaulat ja muut hiottavat pinnat hiotaan. Mikäli pinionin päähän tehdään porauksia lämpökäsittelyn jälkeen, se käytetään ennen hiontaa porakoneella. Tämän jälkeen pinioni kuljetetaan toiselle tehtaallemme muutaman kilometrin päähän, jossa pehmeänä työvaroilte tehtyt ja lämpökäsittelyssä muotoaan muuttaneet kiilaurat hiotaan oikeaan mittaansa. Lopuksi kappaleet tarkastetaan ja lähetetään asiakkaalle.

2.3 Nykyisen menetelmän heikkoudet

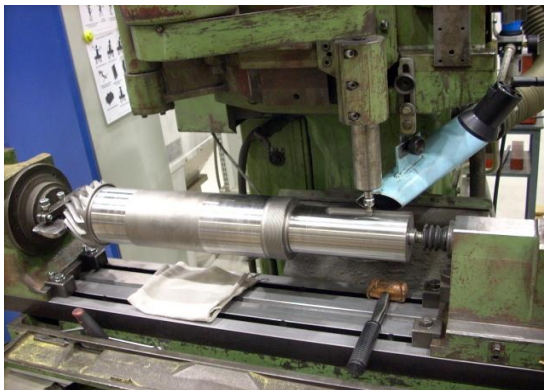
Kuvatessani pinionin valmistusta nousi esiin valmistusketjun ongelmat: kappaletta siirretään koneelta toiselle viidestä kuuteen kertaan. Tehtaalta toiselle kappale siirretään kerran. Tällainen toimintatapa aiheuttaa ajanhukkaa ja kolhiintumisia. Huomioitava asia on myös kappaleen eri osien keskeisyys, joka hieman muuttuu jokaisessa työstökoneeseen kiinnitettäessä. Sisäisestä logistiikasta ja monen työn samanaikaisesta valmistamisesta aiheutuu töiden epäjärjestystä ja turhaa etsimistä.

2.3.1 Heikkoudet työstämisen kannalta

Keskustelin linjapäällikön kanssa (Lahti 2009), joka on toiminut työnjohtajana hiomakoneille ja manuaalisorville. Kysyin hänen näkemystään eduista ja haitoista, joita kokonaiskoneistuksen myötä voisi tulla. Päälimmäisenä etuna hänelle tuli mieleen nopeus, sillä hionta työstönä on kohtalaisen hidasta ja hän uskoikin, että työstöajat tulisivat alaspäin, samoin kuin siirtämisissä ja kiinnittämisissä tarvittavat ajat. Yksi huomio häneltä oli, että jotkut asiakkaat haluavat kiilauran tehtävän vasta lämpökäsittelyn jälkeen, jolloin kiilaurahionta korvataan uran työstämiseen umpiaineeseen. Tällä hetkellä kova kiilaura tehdään Pälkäneen tehtaallamme, joten pelkkiin matkoihin kuluu jo tunteja. Uudella työstökoneellamme pääosa urista tehtäisiin pinioneihin vasta kovana, jolloin säästetään yksi työvaihe myös ennen lämpökäsittelyä.

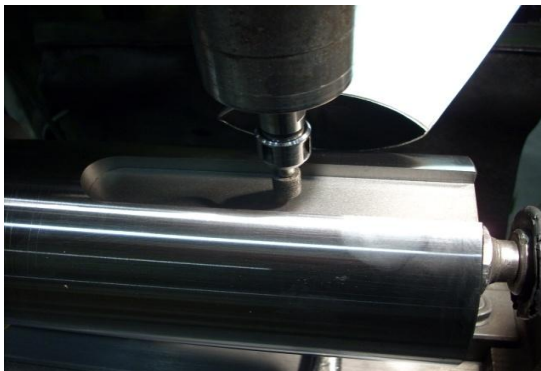
Hän näki yhtenä mahdollisena ongelmakohtana tilanteen, jossa sorvilla tehdään vahingossa muutaman sadasosamillin liian paksu akseli. Tässä tapauksessa on mahdollista, että sorvilla ei saisi enää otettua niin pieniä lastuja, jolloin pinioni tarvitsisi viedä hiomakoneelle.

Hautalankadun tehtaan tehdaspäällikön (Koppanen 2009) kanssa kävin läpi kiilaurahiontaan liittyviä asioita ja hän esitti minulle taulukoita, joista näki vuoden 2008 toteutuman kiilaurahionnasta. Taulukosta kävi ilmi, että kantatehtaallamme valmistettavista isoista pyöristä noin 6500 kappaletta kävi kiilaurahionnassa. Työtunteja hiontaan kului yhteensä 1941, mikä on miestyötunteina lähes vuosi. Yksittäiseen hiontaan kuluu keskimäärin 20 minuuttia. Alla on kuvat 7 ja 8 kiilaurahiontatapahtuman havainnollistamiseksi.



Kuvio 7: Pinioni kiilaurahiomakoneessa

Pinioni on kiinnitetty keskiökärkien välissä kiilaurahiomakoneelle, ja pienellä hiomakaralalla hiotaan kiilauran sivut suoriksi. Kuviossa 8 on lähikuva hiomakaralasta kiilaurassa.



Kuvio 8: Hiomakaralikka kiilaurassa

Kiilaurahionta tehdään ainoastaan karkaisussa kiilauraan syntyvien muodonmuutosten korjaamiseksi. Tämä siis tarkoittaa sitä, että työvaihetta ei siirretä toiselle koneelle, vaan siitä päästään kokonaan eroon sorvin ylösajon myötä, koska jatkossa kiilaurat on tarkoitus tehdä karkaistuun kappaleeseen. Koppasen karkean arvion mukaan kiilaurahionta maksaa yritykselle 15 euroa. Kokonaiskoneistuksella korvattavia kiilauria hiottiin vuonna 2008 yhteensä 1206 kappaletta, mikä rahassa tarkoittaa yhteensä 18 090 euroa.

Tämän työvaiheen kustannukset yllättivät, koska en osannut kuvitella nopean ja yksinkertaisen työvaiheen aiheuttavan näin huomattavia kustannuksia. Suoran kustannuksen lisäksi Pentti mainitsi, että myös odotusajat tällä koneella ovat pitkät ja lisäävät kappaleen läpimenoaikaa.

2.3.2 Laatumäkökulma

Kävin keskustelun myös laatupäällikkömme (Vilavuo 2009) kanssa, kysellen hänen näkemystään nykyisen valmistustavan ongelmista. Hän totesi, että laadullisesta näkökulmasta keskeisyyden ja kiilaurien tarkkuuden lisäksi vähennämme kolhuista aiheutuvia kosmeettisia vaurioita. Suurin vaara kolhiintumiseen on, kun lavaa siirretään, koska pinionit voivat olla pidempiä kuin lava.

Käytettävyys ja toimivuus eivät yksistään ole nykypäivänä kilpailuvaltteja, vaan niistä on tullut laadukkaan tuotteen perusedellytyksiä. Kiristyneessä kilpailussa täytyy vaatimuksiin pystyä vastaamaan myös toimitusajalla, sekä kosmeettisesti virheettömällä tuotteella.

2.3.3 Läpimenoaika

Läpimenoajan tarkastelemiseksi otin tietokannastamme yhden valmistamamme pinioni -erän, josta laitoin taulukkoon 1 vaiheiden valmistumispäivämäärät lämpökäsittelystä viimeistelyyn. Taulukon sarja on viiden kappaleen erä ja kokoluokaltaan sellainen, joiden valmistamiseen Gildemeister on hankittu.

Taulukko 1: Kuvaus läpimenoajasta

Lämpökäsittely	10.9.
Oikaisu	10.9.
Ohjauksen hionta	15.9.
Hammastus (HPG)	21.9.
Poistosorvaus	16.10.
Hionta	19.10.
Viimeistelysorvaus	20.10.

Huomioni kiinnittyy erityisesti hammastuksen jälkeisiin vaiheisiin, joiden läpimenoaika on ollut noin kuukausi. Uudella menetelmällä nämä vaiheet yhdistetään ja tehdään yhdellä kiinnityksellä, jolloin jonotusten vähenemisestä läpäisy aika lyhenee.

Sain keskustelussa (Lahti 2009) myös varsinaisia työstöaikoja ja olen laittanut ne taulukkoon 3.

Taulukko 2: Työvaiheiden kestot

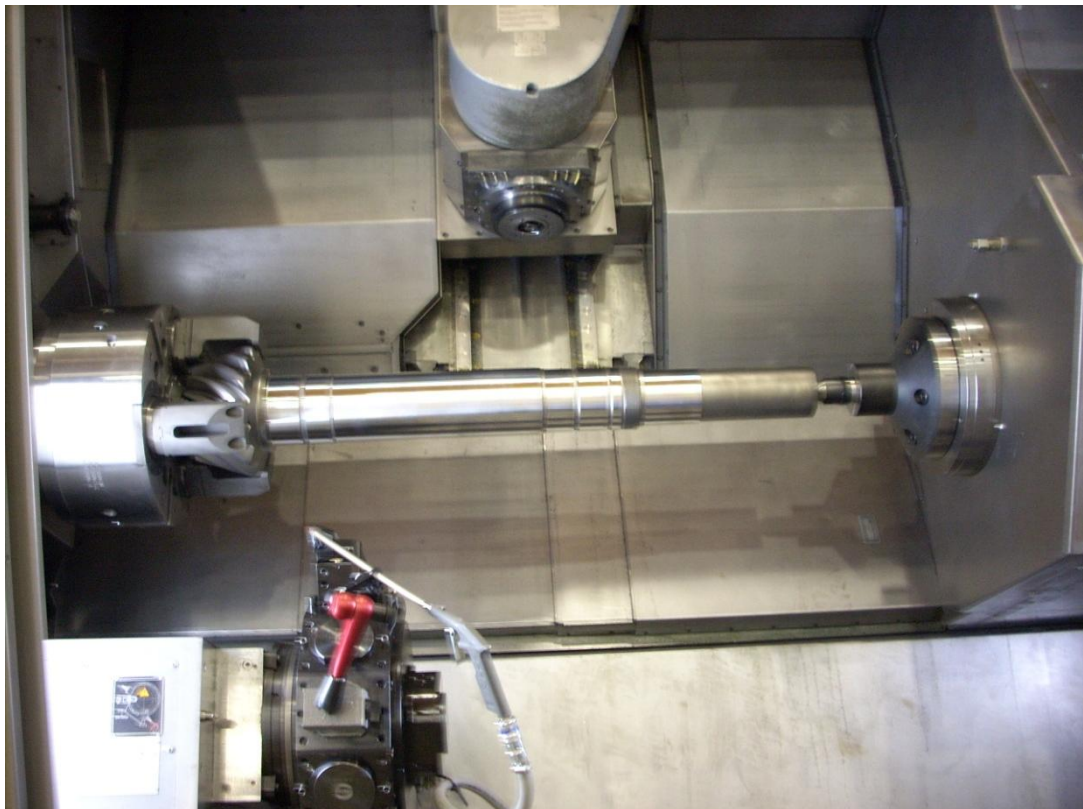
Työvaihe	(min.)
Viimeistelysorvaus	48
Pyöröhionta	174
Kiilauran hionta	20
Yhteensä	242

Gildemeisterillä koneistettavien kappaleiden oletettava tahtiaika on kappaleenvaihto mukaan lukien noin 1 tunti. Ohjelmat tullaan tekemään sellaiseen muotoon, että perusohjelmat ovat makroina, joihin muutetaan lähinnä kaulojen halkaisijat ja pituudet. Näitä ohjelmia yhdistetään kokonaisuuksiksi, joilla kappaleet voidaan koneistaa, joten ohjelmiin tehtävät muutokset ovat nopeita toteuttaa koneen käydessä, vaikka eräkkö olisi vain yksi kappale. Saamme lyhennettyä koneistamiseen kuluvaan aikaan neljästä tunnista yhteen ja läpimenoaikaan jopa viikkoja, kun huomioidaan kappaleen jonotusaikojen väheneminen.

Kartoittaessani nykyisen valmistuksen heikkouksia olen tajunnut, kuinka merkittäviä muutoksia kokonaiskoneistuksella voidaan saada aikaan. Saamme säästettyä aikaa huomattavasti, mikä nopeuttaa toimitusta, alennamme valmistuskustannuksiamme ja helpotamme tuotannonohjausta. Lisäksi saamme vähennettyä laatupoikkeamien määrää, koska laatuun liittyvät riskit vähenevät huomattavasti. Otettuamme tämän valmistustavan käyttöön parannamme kilpailukykyämme ja asiakastyytyväisyyttä.

3 Työstökoneen taustatietoa

Kokonaiskoneistukseen käytettävä työstökone on Gildemeister-merkinen monitoimisorvi, jossa on kaksi pyörittävää karaa. Koneessa on alapuolella 12-paikkainen työkalurevolveri VDI-40-pidinjärjestelmällä ja yläpuolella pyörivä työkalukara HSK-63-pidinjärjestelmällä. Pyörivillä työkaluilla voidaan jyrsiä esimerkiksi kiilauria, mutta niitä pystytään käyttämään myös sorvaamiseen. Tehokkaimmillaan koneella voi sorvata kahdella terällä samaan aikaan, mutta emme vielä tässä vaiheessa lähde sitä tekemään. Kuvio 9 on työstökoneen sisältä ja siitä näkee hyvin molemmat työkalupidinjärjestelmät sekä kiinnitetyn pinionin.



Kuvio 9: Työstökoneen sisäkuva

Sorvin istukka on malliltaan sellainen, että kappale on kiinnitettynä kärkien väliin ja leukojen kautta tuodaan ainoastaan kappaleen pyörittämiseen tarvittava momentti. Tämän kaltaisen istuan hyöty on kiinnitys kärkien väliin, jolloin kappaleen halkaisijat saadaan sorvattua äärimmäisen tarkasti. Heikkous on käytettävyyteen liittyvä seikka. Tähän istukkaan tarvitsee tehdä lähes joka halkaisijalle omat leuat, koska leukojen liikkuvuus on ainoastaan muutama millimetri ja ne täytyy käsin vaihtaa aina hammaspään halkaisijan muuttuessa. Ensimmäinen tehtäväni koneen saapuessa olikin leukojen suunnittelu ja teettäminen. Alapuolella on havainnollistettu pinionin kiinnitystapaa (Kuvio 10). Kuvassa näkyvät leuat ovat istukan valmistajan omaa tuotantoa.



Kuvio 10: Pinionin kiinnitys

4 Ensimmäinen hyväksyty koekappale

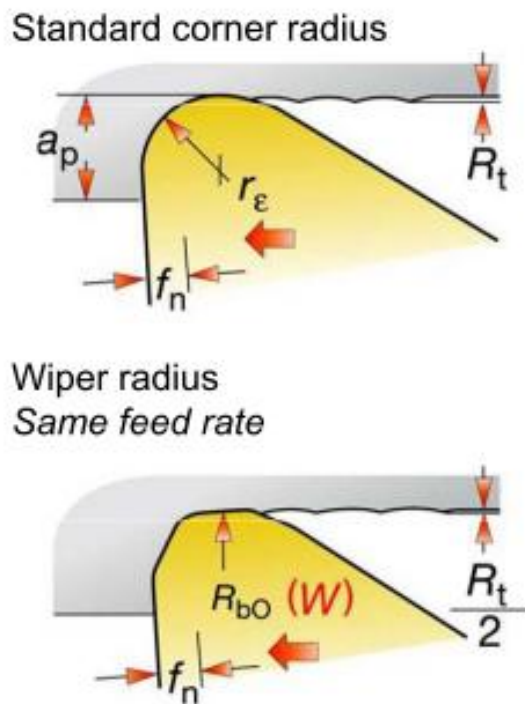
Koneistimme ensimmäisen hyväksyty testipinionin joulukuun alussa. Aikaisemmin meillä oli ongelmia pinnanlaadun suhteen, mutta työstökoneeseen vaihdettiin kara, minkä jälkeen koneen värinät katosivat ja pinnanlaatu muuttui hyväksyttäväksi. Värinät aiheuttivat pinioniin raidallisen ja karhean pinnan, joka ei pinnanlaadun puolesta sovellu käytettäväksi laakeri- tai tiivistepintana. Tätä testipinionia työstettäessä emme ole yrittäneet saada sitä mihinkään tiettyihin mittoihin, vaan tavoitteenamme on ollut lähinnä hyvä pinnanlaatu ja pyöreys. Kiilauran ja kierteiden työstäminen eivät olleet olennainen osa tämän testikappaleen työstämisessä, vaan niihin liittyviä testejä voidaan tehdä erikseen, kunhan pinnanlaatu saadaan riittävän hyväksi.

4.1 Testipinionin työstäminen

Liite 1, s.1 on kuva työstämästämme pinionista, ja siihen on nuolien avulla numeroitu työstämämme kaulat. Kaulat 1, 2, 4 ja 5 on viimeistelty sorvaamalla ja kaula 3 on vielä sorvauksen jälkeen viimeistelty timanttitapilla. Timanttitappi ei poista lainkaan materiaalia, joten sitä voidaan käyttää pintaan, joka on sorvattu toleranssien sisään. Timantin ideana on tasoittaa sorvatun pinnan huiput ja sitä kautta vaikuttaa pinnankarheuteen, mistä enemmän pinnankarheusmittausta käsittelevässä kappaleessa 4.2.3.

Keskustelin työkaluvalinnoista Sandvik Coromantin työvälinemyyjän (Koutonen 2009) kanssa ja sain häneltä tietoa kovisorvauksesta. Tämän kaltaisen kovan (60 HRc.) materiaalin sorvaamiseen sopii parhaiten kuutioboorinitridi- eli CBN-teräpala. Keramiikkapala sopisi myös karkaistun materiaalin sorvaamiseen, mutta sillä ei saavutettaisi yhtä hyvää pinnanlaatua kuin CBN-palalla. Kovametallipalalla ei voi työstää yli 50 HRc. kovuista materiaalia, joten sen voimme unohtaa vaihtoehtoista.

Teräspalan nirkon muoto on toinen huomioitava asia, koska sorvauksesta muodostuvan pinnan muoto vaihtelee riippuen teräspalan nirkon muodosta. Tavallisesti teräspalojen nirkot ovat muodoltaan pyöreitä, mutta meillä ovat vakiintuneet käyttöön wiper-geometrialla olevat teräspalat, joita nykyään löytyy lähes joka valmistajalta. Sain Koutoselta sähköisessä muodossa alla olevan kuvion 11, jossa on selkeästi havainnollistettu tavallisen ja wiper-teräspalan muoto sekä niistä syntyvän pinnan ero.



Kuvio 11: Eri teräpalageometriat (Sandvik Tekninen käsikirja 2010, A94)

Kuviosta 11 voi havaita, että alempana olevassa wiper-muotoisessa teräpalassa on pelkän pyöreiden lisäksi pienet (n. 0,2 mm pitkät) suorat pinnat. Sorvattaessa syntyvän pinnan muoto on aina aaltomainen, mutta tasomaisella wiper-geometrialla sorvattaessa aaltoilu on pienempää, koska materiaalia poistava pinta on tasomainen.

Tasomaisuudesta johtuen aaltojen huippujen välinen etäisyys on pidempi ja korkeus jopa puolet pienempi. Käytännössä wiper-palalla voidaan saada tuplasti parempi pinnanlaatu tai tuplata syöttö verrattuna tavalliseen palaan. (Tässä tapauksessa syöttö tarkoittaa matkaa, jonka teräpala etenee kappaleen pyöriessä yhden kierroksen.)

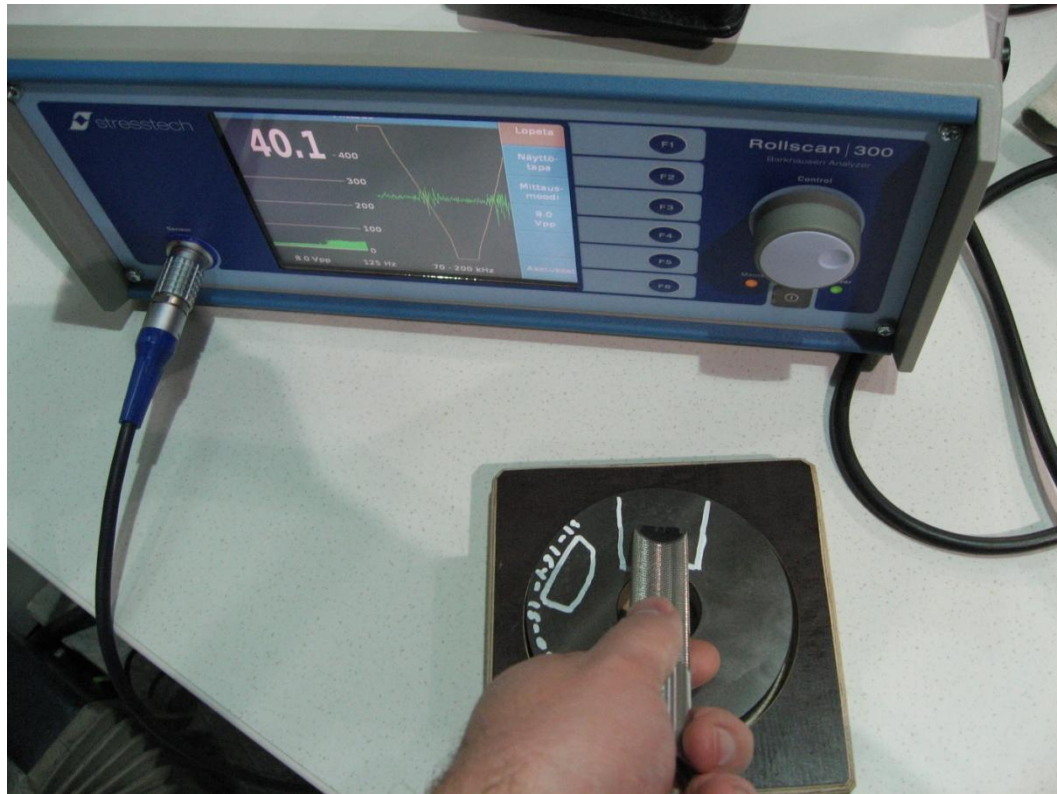
4.2 Testipinionin mittaustulokset

4.2.1 Barkhausen-mittaus

Ensimmäisenä testipinionille tehtiin Barkhausen-mittaus, jonka suoritti projekti-insinööri Janne Hyvönen. Hän selitti minulle mittauksen merkityksen, mittaustavan ja tulosten analysoinnin (Hyvönen 2009).

Barkhausen-mittauksessa kappaleeseen kohdistetaan vaihtuva magneettikenttä, jolla saadaan aikaan Barkhausen-kohina. Sen avulla voidaan analysoida kappaleen uudelleen karkenemista tai syntyneitä jännityksiä. Tämän kaltaisia muutoksia syntyy helpommin hionnassa, koska hiovassa työstössä lämmön ohjaaminen pois kappaleesta on hankalampaa kuin lastuavassa työstössä. Käytännössä Barkhausen-mittaus ilmaisee prosessissa syntyvän lämmön hallinnan tason ja lämpenemisestä syntyvät materiaalin kovuuteen ja jännitystiloihin liittyvät rakennemuutokset.

Sivulla 21 on kuvio 12, jossa esitettynä Barkhausen-mittalaite. Kädessäni on anturi, jolla magneettikenttä kohdistetaan ja pääte, jonka näytöltä mp-arvon voi lukea. Käytännössä mittaus tapahtuu liu'uttamalla anturia kappaleen pintaa pitkin ja pääte ottaa tulokset muistiin, josta ne voi tulostaa tarkasteltavaksi. Nopeassa tarkastusmittauksessa voidaan helposti katsoa näytöltä mp-arvon pysyvyys rajojen sisäpuolella.



Kuvio 12: Barkhausen -mittalaite

Ollessaan sallittujen rajojen ulkopuolella mp-arvo käyttäytyy siten, että ensin se nousee hyvin korkeaksi, jonka jälkeen nopeasti romahtaa huomattavan alas. Tällaista havaittaessa on syytä epäillä, että kappale on uudelleen karkenemisen myötä muuttunut liian kovaksi ja hauraaksi kestääkseen siihen kohdistuvia vääntörasituksia. Yläraja mp-arvolle on noin 80 ja alaraja noin 20, ja sitä on vaikea määrittellä konkreettisesti, eikä sillä ole varsinaista yksikköä.

Liite 1, s. 2 - 6 ovat eri kaulojen mittaustulokset kuvaaja-muodossa. Kuvaajissa on y-akselina mitattu mp-arvo ja x-akselina mittausaika, joka on esitettyä prosentuaalisesti. Sivun alareunasta nähdään tärkeimmät arvot, eli mp-arvon suurin luku (49) ja pienin luku (38). Ensimmäisen kaulan mittausajan 0 - 10 % välisessä jaksossa on mp-arvossa huomattavissa muutos verrattuna kuvaajan loppujaksoon. Epäilen tämän johtuvan siitä, että kyseisenä aikana terä on lämmennyt ja siitä eteenpäin terän ja kappaleen välinen lämpötila on pysynyt suhteellisen tasaisena.

Kaulan 2 mittaustuloksen kuvaaja on myös kohtalaisen tasainen, mutta kaulojen 3 ja 4 kuvaajat ovat ihan toisenlaiset, sillä molemmissa kuvaajissa on huomattava mp-arvon muutos. Tämä kertoo siitä, että siinä kohdassa on muutettu syöttöä pienemmäksi, minkä seurauksena kappaleeseen kohdistunut lämpötila on todennäköisesti laskenut ja lähes puolittanut mp-arvon 25:een.

Kaulassa 4 sama ilmiö on myös havaittavissa, mutta lähtöarvoltaan mp on huomattavasti korkeampi. Tämä voisi selittyä sillä, että kaula 4 on aloitettu erilaisilla työstöarvoilla, joilla 3 on lopetettu ja siitä johtuen lämpötila on kasvanut. Kaula 5 on tasainen, joten kesken kaulan ei työstöarvoja ole muutettu. Kaula on myös lyhyt, joten työstämisessä terä ja kappale eivät ole lämmenneet huomattavasti.

Tärkeänä tuloksena mittauksesta saadaan mp-arvon huippu, joka on vain hetkellisesti ollut yli 80, mutta tässä tapauksessa piikki on ollut vain hetkellinen eikä vielä vaikuta kriittisesti kappaleen kestävyYTEEN. Muuten arvot ovat koko mittauksen osalta olleet hyvät ja lämpöongelmien takia tämän kaltaiseen työstämiseen ei ole mitään estettä ja voimme valita työstöarvot leikkuunopeuden osalta muilla perusteilla.

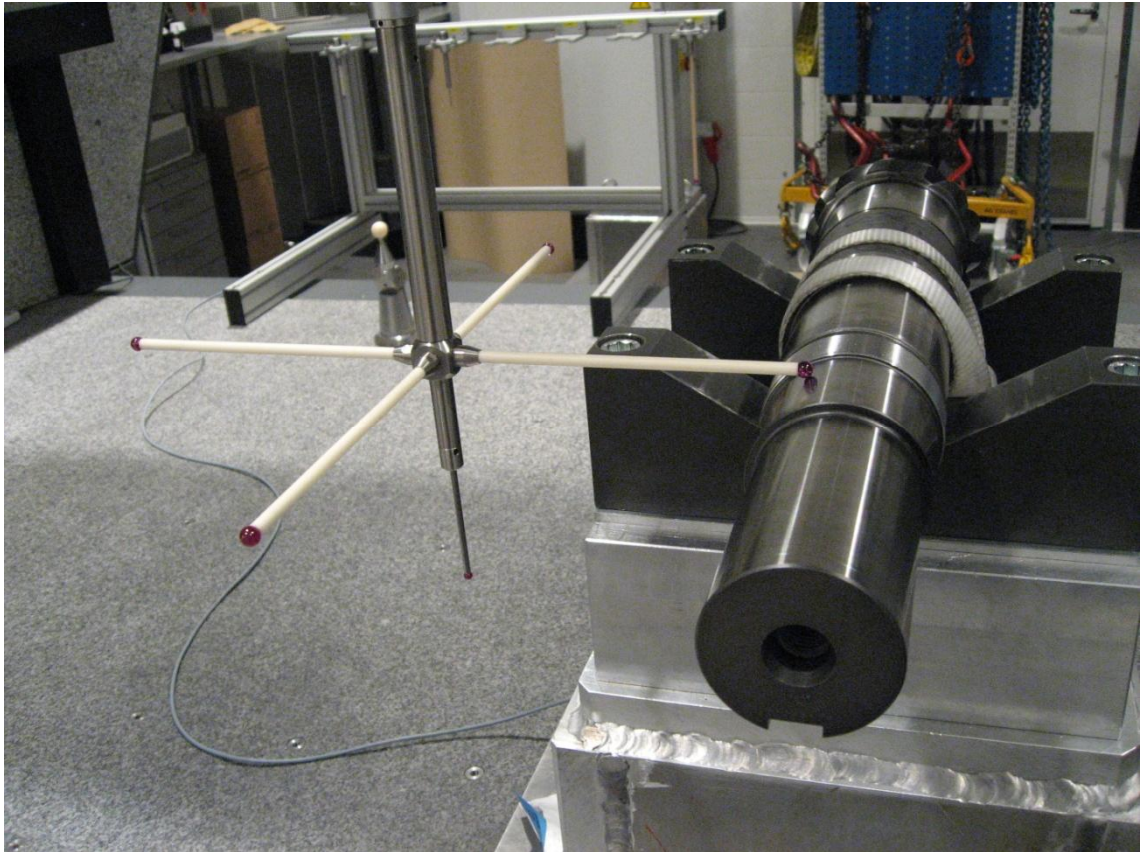
4.2.2 Pyöreiden mittaaminen

Seuraavaksi pinionista mitattiin kaulojen sylinterimäisyyttä, joka tehtiin koordinaattimittauskoneellamme. Koneen käyttäjä kertoi minulle koordinaattimittauskoneen toiminnasta, ja seuraavilla sivulla on kuviot 13 ja 14 liittyen mittakoneeseen.



Kuvio 13: Koordinaattimittauskone

Koordinaattimittauskone on ilmatyynyjen päällä oleva iso kivipöytä, jossa on yläpuolella kuviossa näkyvä poikittais- ja pitkittäissuuntiin liikkuva portaali. Lisäksi mittapään varsi liikkuu ylös ja alas. Päähän on mahdollista kiinnittää erilaisia mittakärkiä, joilla mitataan kappaletta. Meidän akselimaiseen kappaleeseemme on edullisinta käyttää päätä, jossa on vähintään kaksi poikittaista mittakärkeä, jotta saamme mitattua akselin ympäri. (kuvio 14).



Kuvio 14: Koordinaattimittaustapahtuma

Mittaus alkoi mittakärkien kalibroinnilla, joka tehdään kuviossa 14 mittavarren vasemmalla puolen näkyvään kuulaan. Kone koskettaa mittakärjillä kuulaa useasta eri suunnasta. Kalibroinnin jälkeen koneelle kerrotaan mitattavan kappaleen sijainti koskemalla kappaleen kaulojen kylkiä sivuilta ja päältä, sekä kappaleen haluttua nollatasoa (tässä tapauksessa pinionin hammaspäättä) kolmesta eri kohtaa. Mittapäällä kosketaan 4 newtonin voimalla kappaleen pintaa ja voiman täytyessä mittakoneen anturit pysäyttävät liikkeen ja ottavat koordinaatit muistiin. Tässä mittauksessa otettiin arvo 10°:n välein ja joka kaulalta kahdesta tai kolmesta eri kohtaa (liite 2). Yhden kappaleen mittaamiseen kalibrointien kanssa menee 1 - 2 tuntia, mutta erää mitattaessa aika kappaletta kohden nopeutuu, koska kalibrointia ei tarvitse suorittaa kuin kerran.

Liite 2 on pinionin pyöreysmittauksen tulokset. Mittauksessa on jätetty 5-kaula kokonaan mittaamatta, mutta sen sijaan on mitattu 2-kaulan vasemmalla puolella oleva kaula. Tämä ei haittaa, koska mitattu kaula on viimeisteltyä pintaa ja aivan yhtä pätevä käytettäväksi mittauksemme. Yleensä pyöreiden suhteen heitot kasvavat mentäessä pois päin istukasta, joten 5. kaulan mittaamatta jättäminen ei aiheuta suurta puutetta mittaustuloksiin.

Mittaustuloksia tulkitaan siten, että jokainen ympyrämäinen kuvio ja sen vasemmalla puolella olevat luvut ovat yksittäisen mittauskohdan tulokset. Oikealla puolella olevat luvut tarkoittavat seuraavaa:

- Dm tarkoittaa mitattavan kaulan halkaisijaa mittauskohdasta
- -Z- on pitkittäinen etäisyys nolapistestä
- Forme tarkoittaa pyöreyttä
- Cylinder form tarkoittaa sylinterimäisyyttä

Lukujen vasemmalla puolella oleva ympyräkuvio on mittaustulosten graafinen esitys, jossa keltainen ympyrä on vertailuympyrä, punainen ympyrä on kappaleesta mitattu muoto ja siniset ympyrät kuvaavat mittauksen äärikohtia. Z-akseli on kappaleen pitkittäissuuntainen akseli, joten kuvatus ympyrän voidaan ajatella kiertävän kappaleen kehällä.

Liitteen 2, s. 1 mittaustuloksista voimme huomata, että 4. kaulan halkaisija on 108,5 mm ja sylinterimäisyys on 0,0057 mm. Pyöreysvirhe on koko kaulalta alle 0,003 mm, joka suurimmalta osalta johtuu kahden mittakärjen käytöstä, joten voimme todeta tämän kaulan olevan geometrioiden osalta kunnossa.

Toisella sivulla on 3. kaulan mittaustulokset ja tässäkin kaulassa pyöreysheitot jäävät 0,003 mm:iin, ja sylinterimäisyys on 0,007 mm.

Kaulan 2 ja sen vasemman puoleisen kaulan mittaustulokset ovat liitteessä 2, s. 3-4. Näistä kauloista on otettu ainoastaan kaksi mittausta, koska kaulat ovat melko lyhyitä. Mittaustulokset kertovat molempien kaulojen pyöreiden ja sylinterimäisyyden mahtuvan 0,004 mm:iin.

Liite 2, s. 5 on kaulan 1 mittaustulokset, ja jostain syystä tässä kaulassa sylinterimäisyyden poikkeama on kasvanut jopa 0,014 mm:iin. Tämän kaltainen heitto ei vielä ole liian suuri, mutta se on syytä huomioida seuraavissa mittauksissa ja tutkia, muuttuuko koneen tarkkuus mentäessä kauemmaksi pakasta.

Yksi seikka, johon haluan kiinnitettävän huomiota, on jokaisessa mittalaitteen tekemässä kuvassa toistuva heitto. Katsoessamme mittalaitteen sinisten ympyröiden väliin piirtämää kuviota voimme huomata jokaisessa kuviossa toistuvat huomattavat muutokset 180°:n välein. Muutokset ovat x-akselin kohdalla, joten voidaan olettaa sen johtuvan kahden mittapään käytöstä mittauksessa, ja heitto on pään vaihtokohdassa. Tämän kaltainen heitto on noin 0,004 mm ja se kannattaa huomioida mittaustuloksia analysoidessa, koska se aiheuttaa tässä tapauksessa suurimmat heitot mittaustuloksiin.

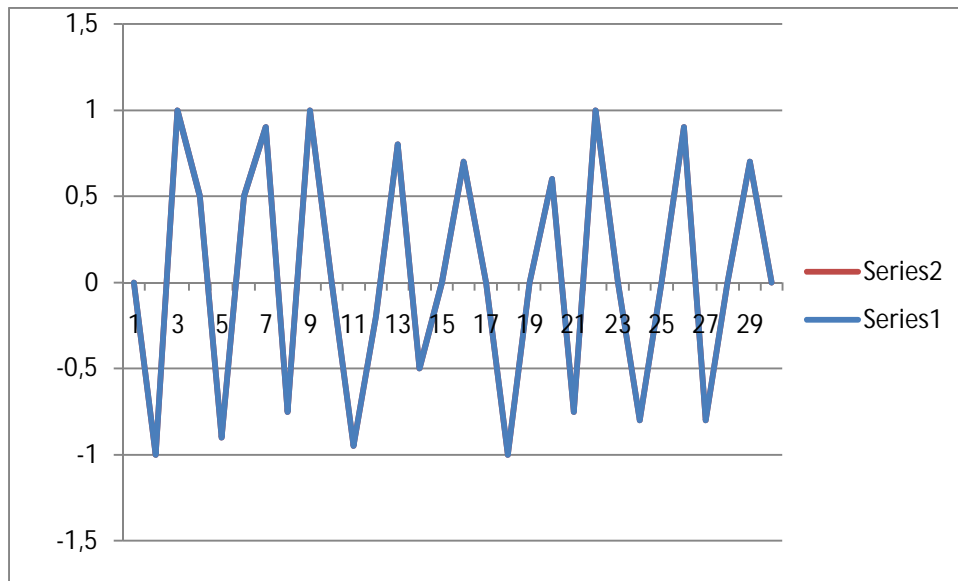
4.2.3 Pinnankarheusmittaukset

Viimeiseksi tein pinionille pinnankarheusmittaukset. Nämä mittaukset kertovat työstettyjen pintojen karheudet ja antaa osaltaan informaatiota oikeista työstöarvoista. Teräpalana meillä oli Secon wiper –geometrialla oleva cbn-pala, ja kuten aiemmin mainitsin, niin tällainen pala antaa parhaan mahdollisen sorvattavan pinnanlaadun, mutta liian suurilla syöttönopeuksilla pinnanlaatu huononee. Lähtökohtaisesti koekappale ajettiin lastuamisnopeudella 200 m/min ja syötöllä 0,2 mm/kierros. Lastuamissyvyys on työvarojen takia vakioitu 0,1 mm:iin. Kuviossa 15 on pinnankarheusmittarin mitta-anturi ja päätte.



Kuvio 15: Pinnankarheusmittari

Pinnankarheusmittari toimii siten, että mittalaite asetetaan mitattavalle pinnalle ja koneen käynnistyessä anturi liikkuu pienen matkan edestakaisin mitaten pinnan karheuden. Liikkuva osa on pieni sylinteri, joka näkyy kuviossa 15 kappaleen päällä vasemmalla. Olen käyttänyt pinnankarheuksien mittaukseen kahta eri arvoa Ra ja Rz. Tein fiktiivisen kuvion 16 havainnollistamaan ainoastaan pinnan mikroskooppista muotoa, joten lukuarvoja ei kannata huomioida.



Kuvio 16: Pinnankarheusmittauksen havainnollistaminen

Sorvatun kappaleen mikroskooppinen pinta on siis aina kuvion 16 mukainen eli harjamainen, ja pinnankarheusmittauksen Ra ja Rz arvojen ero on lähinnä tulosten ilmaisutapa. Ra-arvo ilmaisee pinnan kaikkien huippujen ja ”rotkojen” eli poikkeamien keskiarvon. Rz-mittauksessa mittari huomioi mittausalueen viiden suurimman huipun ja viiden syvimmän rotkon erotuksen keskiarvon. Taulukossa 3 ja 4 on tulokset Ra- ja Rz-arvoina pinnankarheusmittauksista, joissa olen tehnyt 2 - 3 mittaustoistoa joka kaulalta. (Seco PCBN Technical Guide version 4, 19)

Taulukko 3: Pinnakarheusmittaus (Ra) Liite 1, s.1

Kaula	Mittaus 1 (μm)	Mittaus 2 (μm)
1	0,18	0,17
2	0,33	0,34
3	0,15	0,15
4	0,15	0,18
5	0,23	0,25

Paras vaadittu pinnankarheus on yleensä tiivistepinnoissa ja se on arvoltaan Ra 0,4, joten myös pinnankarheuden osalta pinioni menee vaatimuksista läpi. Alle 0,2 Ra-arvo alkaa olla jo tarpeettoman hyvä vaatimuksiin nähden, mutta visuaalisuuden takia meidän täytyy pyrkiä näin hyviin pinnanlaatuihin. Tässä mittauksessa ei juuri näy pinnankarheuden muutos, joka saadaan käyttämällä timattipäätä, mutta taulukon 5 Rz arvoissa se näkyy jo selvästi.

Taulukko 4: Pinnankarheusmittaus (Rz) Liite 1, s.1

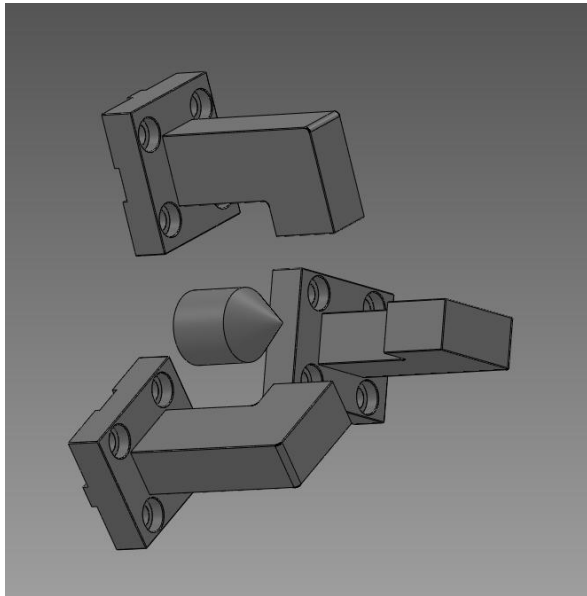
Kaula	Mittaus 1 (μm)	Mittaus 2 (μm)	Mittaus 3 (μm)
1	1,07	1,36	1,12
2	1,93	2,86	1,97
3	0,55	0,45	0,45
4	1,07	1	1,02
5	1,34	1,27	1,29

Rz-arvoihin asiakkaillamme ei ole vaatimuksia, mutta mittasin Rz-arvot lähinnä sen takia, että näemme timanttitapin käytön hyödyn myös lukuina. Jostain syystä 2. kaulan pinnanlaatu on heikompi kuin muiden kaulojen, mutta siitä huolimatta sallittujen arvojen sisässä. Kaulojen 3 ja 4 arvojen välien ero kertoo selvästi pinnanlaadun paranemisen, joka saavutetaan timanttitappia käyttämällä, ja kaulassa 3 Rz-arvo on puolet pienempi kuin kaulassa 4. Näiden mittausten nojalla voin todeta, että paremmasta Rz-arvosta huolimatta timanttitapin käyttäminen muualla kuin tiivistepinnoissa on ainakin tällä erää tarpeetonta, koska sopivilla työstöarvoilla saavutetaan tavoitetta parempi pinnankarheus ja pinta on myös visuaalisesti hyvä.

5 Uuden leukajärjestelmän suunnitleminen

5.1 Kappaleen kiinnitysperiaate ja vanhat leuat

Olemme tiedostaneet ongelmakohdan, joka liittyy työstökoneen istukan leukoihin. Sivulla 15 mainitsin, että lähes jokaiselle halkaisijalle tarvitaan omat leuat ja varsinainen ongelma-kohta on niiden vaihtaminen. Jokainen leuka on kiinnitetty istukkaan neljällä kuusiokoloruuvilla, mikä johtaa turhan monen ruuvin aukaisemiseen ja kiristämiseen leukojen vaihdon yhteydessä. Tästä johtuen totesimme koneen käyttäjien kanssa, että leukoja täytyy jalostaa käyttäjäystävällisemmiksi. Kuviossa 17 on havainnollistettuna asetelma, jossa leuat ja kärki ovat istukassa kappaleen ollessa kiinnitettynä.



Kuvio 17: Kokoonpanokuva leuoista ja kärjestä

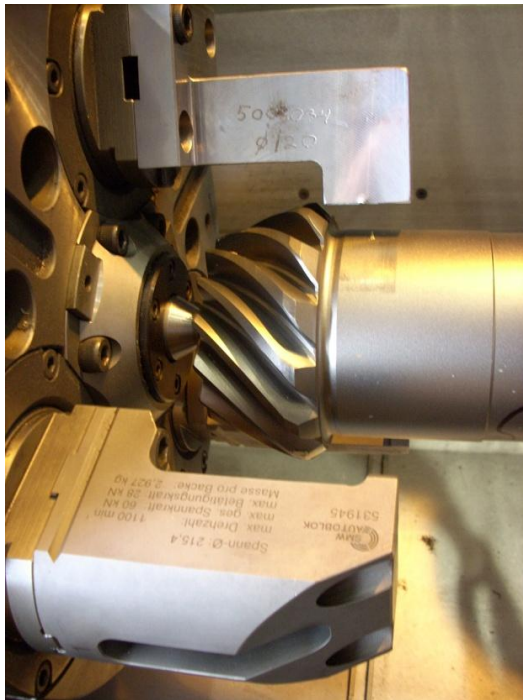
Istukka on rakenteeltaan sellainen, että leukojen kiinnityskohdat keinuvat yhteensä 6° , joten millimetreissä liikkuvuus riippuu leukojen pituudesta. Liikkuvuus 120 mm pitkillä leuoilla on 12,5 mm ja tämä voidaan laskea kaavalla 1.

$$x = \sin 6^\circ \cdot r \quad (1)$$

Kaavassa 1 r on leuan kärjen etäisyys istukasta ja x on leuan liikkuvuus.

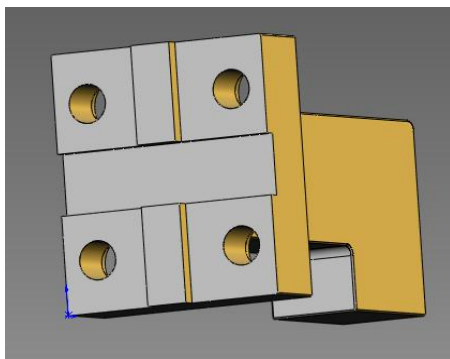
Leuille soveltuvan kappaleen halkaisija määräytyy leuan kärjen ja keskiön välisen etäisyyden mukaan siten, että leuan kärjen etäisyys keskiökärjestä on työstettävän kappaleen säde. Leukoja suunniteltaessa täytyy siis huomioida, että kun kuviossa 18 näkyvän leuan kärjen alapinnasta poistetaan 10 mm, työstettävän kappaleen halkaisija kasvaa 20 mm.

Aiemmin teettämäni leuat olivat pinionin pään halkaisijoille 120, 140, 160, 180 ja 200 mm, mutta leuan kokonaispituus eli leuan pään etäisyys pakasta oli jokaisessa 120 mm. Sorvilla käytetään koekappaleina hylättyjä kappaleita. Seuraaviksi koekappaleiksi tulleet pinionit vaativat leuat, jotka ovat halkaisijalle 120-140 mm ja leukojen kokonaispituus saisi olla ainoastaan 80 mm (kuvio 18).



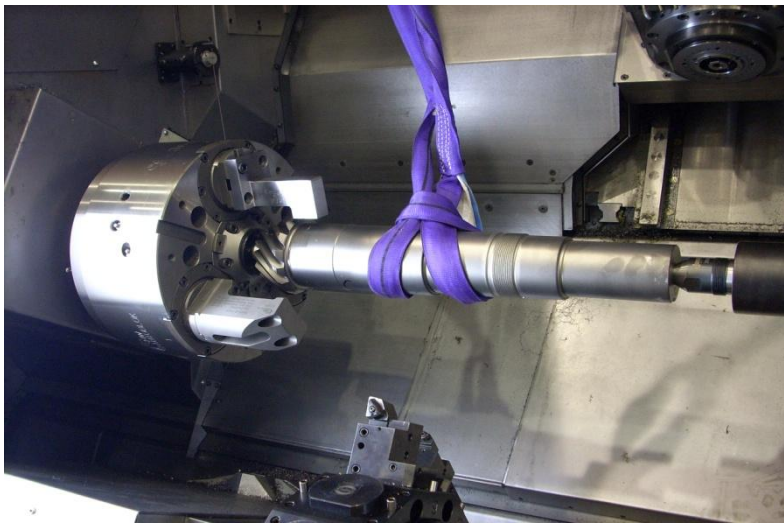
Kuvio 18: Leukojen pituusongelma

Kiinnitystapaa pitää joka tapauksessa kehittää näppärämmäksi ja meidän tulee teettää uudet leuat pieniä pinioneita varten, joten otin kiinnitystavan kehittämisen heti työn alle. Kuviossa 19 on esitettyä kesällä teettämieni leukojen takaosa havainnollistamaan leukojen kiinnitystapaa.



Kuvio 19: Leuka istukan puolelta kuvattuna

Kuviossa 19 näkyvä pinta on kiinteästi istukkaa vasten, ja pohjassa näkyvä kiilaura ja kiilat ottavat vastaan kappaleen pyörittämisestä aiheutuvat voimat. Pultit siis ainoastaan pitävät leuat paikoillaan. Kappaleen vaihtokin helpottuu kaksiosaisten leukojen ansiosta, ja kuviossa 20 voidaan huomata leuan olevan tiellä, kun pinionia nostetaan koneesta pois. Koneistajan on pyöryttävä pinionia nostoliinan varassa nostaessaan sen pois koneesta ja tämä aiheuttaa riskin tuotteen kolhiintumiselle, mikä ei laadun kannalta ole hyvä asia.



Kuvio 20: Kappaleen vaihdon havainnollistaminen

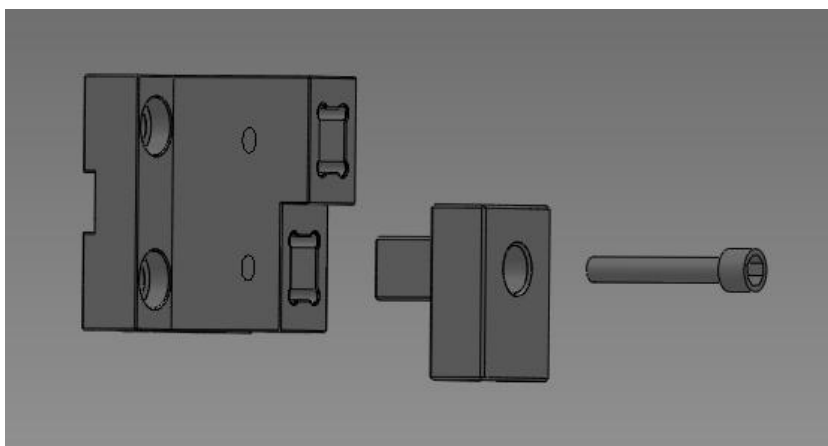
Toinen vaihtoehto kappaleen pyöryttämiselle on siirtää koneen oikeanpuoleista keskiökärkeä tarpeeksi kauas, jotta pinioni saadaan sitä kautta pois, mutta nosturin takia koneen ovien on oltava auki, jolloin kärjen liikenopeus on huomattavan pieni. Näistä syistä irrotettava leuan kärki tekee kappaleen vaihdosta hieman nopeampaa ja kappaleen kannalta turvallisempaa.

5.2 Uuden leukatyypin suunnitleminen

Uusia leukoja suunniteltaessa lähtökohtana oli koneistajien idea, että leuat koostuisivat kahdesta osasta. Neljällä pultilla kiinni olevasta runko-osasta tehtäisiin yleismalli, jotta sitä ei tarvitsisi irrottaa kovin usein, ja kärkiosasta pitäisi saada helposti vaihdettava sen mukaan, millainen työstettävän kappaleen halkaisija on. Kärkiosalla saataisiin säädettyä myös leuan kokonaispituutta.

Pohdimme koneen käyttäjien kanssa leukoihin erilaisia kiinnitystapoja, muun muassa lohensyrstöä ja t-uraa. Loppujen lopuksi tuli mieleen, voisiko leuat laittaa sisäkkäin ja pultilla painaa ne toisiaan vasten. Se olisi leukojen valmistuksen kannalta helpoin ja halvin tapa, mutta samalla myös hyvin tukeva.

Hetken hahmoteltuamme vaikuttavia voimia ja riittäviä ainevahvuuksia päätimme, että lähden tältä pohjalta suunnittelemaan uusia leukoja. Kuviossa 21 on kokoonpanokuva lopputuloksesta ja liitteenä 3 on osien tekniset piirustukset ja suuntaa antavat lujuusopilliset tarkastelut.



Kuvio 21: Leukojen kokoonpanokuva

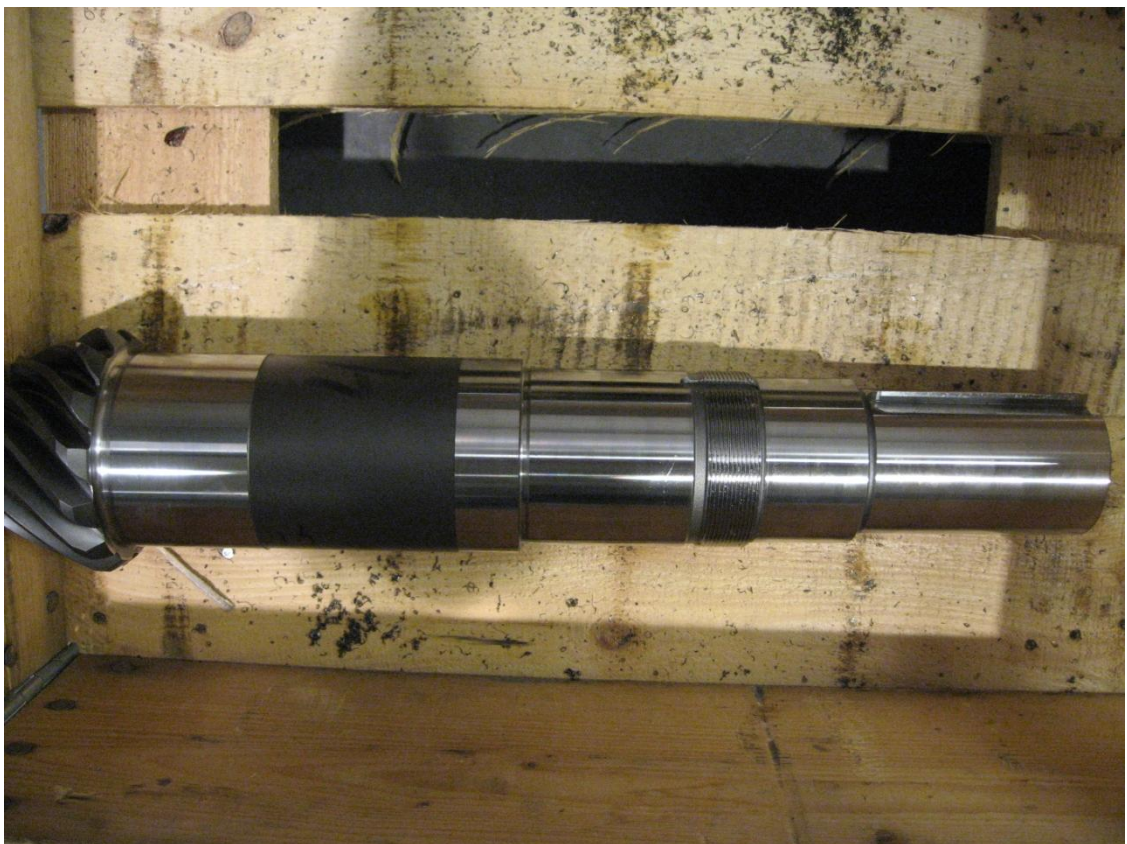
Piirsin leukojen runkoon kaksi vaihtoehtoista kärjen kiinnityspaikkaa. Tämä siitä syystä, että saamme samoilla rungoilla kaksi eri halkaisijaa irrottamatta leukaa istukasta. Lisäksi saamme samoilla leuoilla 10 mm lisää pituutta kokonaisuuteen pelkästään kääntämällä leuat toisin päin. Tällä ratkaisulla pyrin saamaan samoilla osilla mahdollisimman monta eri halkaisijaa ja pituutta. Samalla säästetään säilytystilaa ja rahaa, koska erilaisia leukoja ei tarvitse teettää niin monia.

Leukojen mitoittamisessa on tiettyjä seikkoja, joihin tarvitsee kiinnittää erityistä huomiota. Runko-osan pohjan tolerointi ja pinnanlaadut ovat keskeinen asia leukojen istuvuuden kannalta ja istuvuus taas vaikuttaa suoraan siihen, kuinka suurelle pinta-alalle kappaleen pyörittämisestä aiheutuvat voimat jakautuvat. Voimien tasainen jakautuminen vaikuttaa suoraan leukojen kestävyYTEEN ja ehkäisee muodonmuutosten syntymistä ja leukojen tai istukan osien rikkoutumista. Näistä syistä johtuen laitoin pohjaan kohtalaisen tiukat geometriatoleranssit ja kiilaan, sekä kiilauraan tiukat mittatoleranssit. Ulkoneva kiila on toleroitava muutama sadasosamillimetri pieneksi ja kiilaura saman verran suureksi.

Runkoleuan poteroiden seinät ja kärkiosan kiinnitystapin olen mitoittanut kohtalaisen järeiksi ja toleranssit sen verran tiukoiksi, että leuat eivät pääse liikkumaan ja ovat mahdollisimman kestäväT. Näihin poteroihin on merkattu R2,5 –kevennykset. Leukojen toimivuuden kannalta ne ovat tarpeettomat, mutta tuollainen potero on tehtävä jyrsimällä, joten olen piirtänyt ne jyrksintää helpottamaan. Kevennysten paikoitus ei ole tarkka, joten en ole niiden paikkoja määrännyt.

6 Viiden kappaleen koe-erän testiajo ja mittaukset

Koe-erä koostui viidestä kuviossa 22 esitetyistä pinionista ja testin tarkoituksena oli tehdä piirustuksen mukainen kappale mitoilleen ja sillä tavalla testata koneen mittatarkkuutta ja mittalaitteen kompensointitoimintoa, sekä käyttämäämme menetelmää.



Kuvio 22: Koe-erän kappale

6.1 Testierään käytetyt työkalut ja menetelmät

6.1.1 Mittalaite

Kone ja mitta-anturi muodostavat koordinaattimittauslaitteen ja sitä ohjataan koneen omalla ohjauksella. Laitteella mittaamme kappaleen työvarat väliviimeistelyn jälkeen ennen viimeistelylastua, ja kone tekee automaattisesti tarvittavat työkalukompensoinnit tavoitemitan saavuttamiseksi.

6.1.2 Työstäminen

Kappaleiden kokonaiskoneistukseen kuuluu sorvausta, jyrsimistä, porausta ja mittausta. Työstäminen aloitetaan sorvaamalla kaikkien kaulojen pinnasta rouhintalastu siten, että pintaan jää noin 0,2 mm työvara. Toisella terällä sorvataan 0,1 mm paksu lastu, minkä jälkeen suoritetaan kappaleen kaulojen halkaisijoiden mittaukset. Mittaus tehdään kaulojen molemmista päistä, jotta saadaan myös kartiomaisuus huomioitua kompensaatiossa. Lopuksi otetaan samalla terällä noin 0,1 mm paksu viimeistelylastu, jossa on huomioitu mittaustuloksista johtuva kompensointi. Kahdessa viimeisessä lastussa käytetään samaa terää mittatarkkuuden varmistamiseksi.

Viimeistelysorvaukseen kuuluu kaulojen viimeistelyn lisäksi myös kierteiden avaus tai kierteiden tekeminen. Kierteet eivät saa kestävyytensä takia olla hiillettynet, koska kova kierre on samalla hauras ja altis murtumaan. Kierteet suojamaalataan ennen karkaisua, mikä estää kierteiden hiillettymisen, ja lisäksi kierteisiin on pehmeänä jätetty pienet työvarat, jotta ne voidaan viimeistelyssä sorvata mitoilleen. Kierteen avaus on kohtalaisen kömpelö ja aikaa vievä työvaihe, koska terä täytyy kohdistaa käsin kierteen alkuun, ettemme vahingossa sorvaa kierteitä pilalle. Lopuksi kappaleeseen jyrsitään kiilaura. Näissä koekappaleissa oli valmiiksi kiilaura, joten me otimme ainoastaan viimeistelylastun niistä.

6.1.3 Käytetyt työkalut

Olemme pitkin ylösajoa tehneet erilaisia teräpala- ja jysintestejä, mutta kerron niistä tarkemmin kappaleessa 8. Tässä kappaleessa esittelen vain hyvin lyhyesti näihin viiteen kappaleeseen käyttämämme työkalut.

Laitoimme mittaukseen kaksi kappaletta viidestä siitä syystä, että saimme ainoastaan nämä kaksi kappaletta ajettua alusta loppuun ilman, että työkalu rikkoutui. Teimme samalla teräpalatestiä ja kahdessa kappaleessa teräpala rikkoutui kierteiden päällä olevaan lukitusuraan.

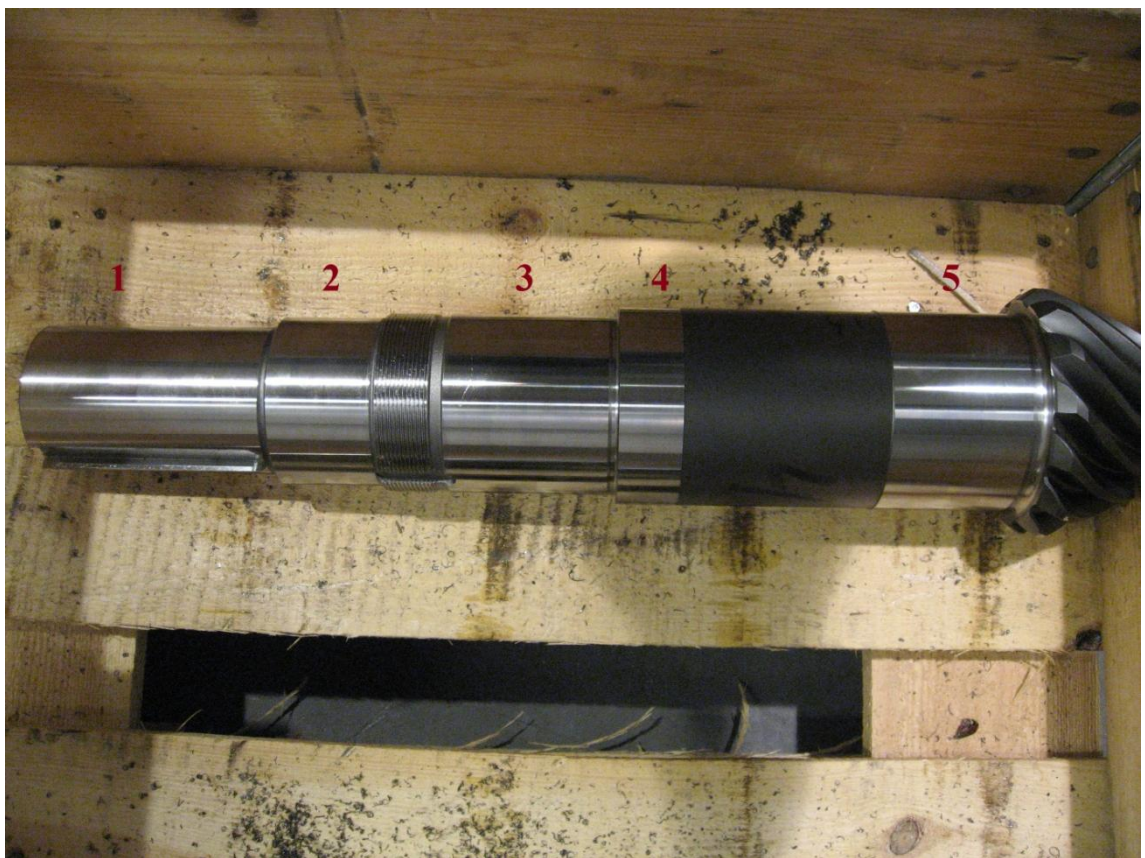
Teimme teräpalatestiä Iscarin ja Mitsubishin cbn-paloilla, ja ensimmäinen kappale on sorvattu Mitsubishin wiper-palalla. Lukitusuran rikottua palan testasimme toiseen kappaleeseen ensin Iscarin wiper-palaa, mutta sekin rikkoutui lukitusuraan. Seuraavaksi kokeilimme Iscarin pyöreänirkkoista palaa lastunmurtajalla, ja murtajan ansiosta teräpala ei rikkoutunut kapeaan uraan, mutta työstöarvot olivat pienet. Wiper-paloihin ei toistaiseksi ole saatavilla lastunmurtajaa, mutta tavoitteenamme on tehdä kaikki urat vasta sorvauksen jälkeen, jolloin emme tarvitsisi lastunmurtajallista teräpalaa lainkaan.

Kierteen aukaisu on työvaihe, johon emme ole vielä panostaneet, koska sitä tullaan jatkossa tekemään vain harvoin. Ostimme heti alussa Iscarilta kierreterä-pitimen ja paloja, joilla olemme tähän asti tehneet onnistuneesti tämän työvaiheen. Lopuksi jysimme kiilauran kyljet kuusileikkuisella täyskovametallisella jysintapilla.

6.2 Testierän mittaustulokset

6.2.1 Halkaisijamittaus

Kappaleiden halkaisijat mitattiin koordinaattimittauskoneella, ja liitteenä 5 ovat mittaustulokset. Kuviossa 23 on testierän kappale, ja olen selkeyden vuoksi numeroinut mitatut kaulat.



Kuvio 23: Testierän kappale

Liitteenä 4 ovat kappaleiden mittaustulokset kauloista 1 ja 2. Kappaleiden kokonaispituus on noin 500 mm, ja niiden asettaminen mittakoneeseen siten, että pystyisimme kaikki kaulat mittaamaan, olisi ollut kovin vaikeaa. Siksi mittasimme kappaleista ainoastaan kaksi kaulaa ja teimme johtopäätökset niiden perusteella.

Liitteen 4 sivulla 1 on ensimmäisen kappaleen ensimmäisen kaulan mittaustulokset. Tässä kaulassa olemme joutuneet ajamaan kiilauran ylitse hakkaavaa työstöä ja se heijastuu mittaustuloksen kuvassa selkeästi. Joka mittauksessa on selkeä muutos äärirajalta toiselle kuvaajan oikeassa alareunassa. Voimme olettaa sen johtuvan kiilaurasta, koska mittakoneessa kiilaura oli x-akselin kohdalla. Uran päältä ei luonnollisesti halkaisijamittausta tehty, joten x-akselin kohdalla näkyvät mittauksesta puuttuvat kohdat. Aikaisemmassa testikappaleessa oli kartiokkuudessa 0,02 mm:n heitto, mutta tässä kappaleessa sitä ei enää ole.

Havainnollistaaksemme kiilauran vaikutusta työstämiseen voimme ajatella kappaleen olevan z-akselin suuntainen sylinteri, jota lastutaan vastapäivään. Projekti-insinööri Janne Hyvösen kanssa mietimme kuvien avulla terän käyttäytymistä ja tulimme siihen lopputulokseen, että urasta johtuva isku aiheuttaa ensin terän pakenemisen, jolloin ollaan halkaisijan huippukohdassa. Seuraavaksi terä ”haukkaa” paksun lastun, jolloin terä sukeltaa kappaleen keskiöön päin, ja siitä johtuen mennään hyvin nopeasti halkaisijamittauksen pienimpään mittaan. Kappaleen pyörimisnopeus on 700-800 kierrosta minuutissa, joten kaikki tuo tapahtuu todella nopeasti.

Tavoitehalkaisija kaulassa oli 75 mm toleranssilla m6, eli käytännössä 75,01-75,03 mm, ja mittausraportista voimme huomata halkaisijan osuvan toleranssialueelle jokaisessa mittauskohdassa. Akselin suoruus kaulassa on 0,0008 mm, mikä on erittäin hyvä tulos, koska absoluuttisen suoraa ei ole mahdollista tehdä. Pyöreiden puolesta kiilaura aiheuttaa heittoa, joten meidän tarvitsee vielä tehdä lisää kiilauran yli ajamiseen liittyviä testiajoja eri teräpaloilla.

Kaulassa 2 (liite 4, sivu 2) tavoitehalkaisija oli 85h9, eli 84,913-85,000 mm. Mittausraportin mukaan tähän toleranssiin päästiin koko kaulan matkalta, ja alinta kuvaajaa lukuun ottamatta kaikki kuvaajat näyttävät oikein hyviltä. Pyöreysheitotkin yhtä lukuun ottamatta ovat alle 0,003 mm.

Neljäs kappale sorvattiin Iscarin pyöreänirkkoisella cbn-palalla lukitusuran takia, ja liitteen 4 sivuilla 3 ja 4 ovat mittaustulokset kauloista 1 ja 2. Tällä palalla ajetuissa mittaustuloksissa ei ole mitään suuria muutoksia verratuna Mitsubishiin. Pyöreys on hieman huonompi, keskimäärin noin 0,0075 mm, mutta mitat ovat toleranssien sisällä.

4. sivun alimmassa kuvaajassa on huomattava muutos vasemmassa reunassa, mutta virhe ei toistu muissa kohdissa. Mittatarkkuus on tässäkin kaulassa huippuluokkaa, ja halkaisijan heitot ovat vain 0,0023 mm. Tällä teräpalalla ajamista koetettiin ainoastaan lukitusuran takia ja on hyvä huomata, että meillä on jo keino siihen. Hitauden takia aiomme jatkossa tutkia uusia menetelmiä lukitusuran varalle, mutta se ei ole tällä hetkellä kaikista akuutein asia. Tärkeintä tässä mittauksessa oli havainto koneen ja mittalaitteen kyvystä tehdä mittatarkka ja suora tuote.

6.2.2 Pinnankarheusmittaus

Näistä kappaleista mittasin myös pinnankarheudet, ja alla ovat taulukot 6 ja 7, joissa tulokset on esitetty. Taulukoissa on myös leikkuunopeus ja syöttö, jotta nähdään wiper-geometrian ja pyöreän nirkon konkreettinen ero, sillä taulukon 5 pinioni on ajettu wiper-geometrialla ja taulukon 6 pinioni pyöreänirkkoisella teräpalalla. Pinnanlaadun puolesta molemmat kappaleet ovat riittävän hyviä.

Taulukko 5: Kappaleen 1 pinnankarheusmittaus ja työstöarvot (kuvio 23)

Kaula	Leikkuunopeus (m/min)	Syöttö (mm/kierros)	Mittaus 1 (Ra)	Mittaus 2 (Ra)
1	200	0,2	0,26	0,3
2	200	0,2	0,37	0,34
3	200	0,2	0,33	0,31
4	200	0,2	0,34	0,33
5	200	0,2	0,35	0,35

Taulukko 6: Kappaleen 4 pinnankarheusmittaus ja työstöarvot (kuvio 23)

Kaula	Leikkuunopeus (m/min)	Syöttö (mm/kierros)	Mittaus 1 (Ra)	Mittaus 2 (Ra)
1	120	0,1	0,29	0,3
2	180	0,08	0,26	0,24
3	120	0,1	0,36	0,34
4	180	0,1	0,36	0,35
5	180	0,1	0,36	0,35

Sivun 18 kuviossa 11 on esitettyä geometrioiden erot ja samassa kuviossa havainnollistetaan, että wiper-geometrialla on mahdollista saavuttaa tuplasti parempi pinnanlaatu/ajaa tuplasti suuremmalla syötöllä. Verrattaessa taulukon 5 ja 6 työstöarvoja voimme todeta kuvion pitävän paikkaansa.

Pyöreänirkkoisella terällä on voitu ajaa parhaimmillaan vain 0,1 mm:n syötöllä ja leikkuunopeuskin on ollut kauttaaltaan pienempi kuin wiper-palassa. Wiper-palalla on ajettu kohtalaisen kovilla työstöarvoilla, ja pala kesti tämän ensimmäisen kappaleen hyvin, mutta toisessa kappaleessa lukitusuran loppu rikkoi nirkon. Tämän kaltaisessa työstämisessä, missä teräpalan nirkon rikkoutuminen voi pahimmillaan aiheuttaa kappaleen hylkäämisen, on pakko pelata varman päälle ja ajaa vain yksi kappale yhdellä nirkolla.

7 Ensimmäisen tuotantoerän valmistaminen

7.1 Tuotantoerältä vaadittavat piirteet

Ensimmäisen hyväksytyin pinionin valmistuttua teimme Juho Pyhälän kanssa päätöksen, että valmistamme seuraavaksi tuotantoerän ja kokeilemme uutta vaiheistusta käytännössä. Tämä edellytti tietysti koe-erän onnistumista, koska muuten emme uskaltaisi lähteä asiakastyötä sorvaamaan, mutta näillä kokemuksilla voimme luottavaisin mielin lähteä sitä valmistamaan.

Olenneimpia asioita erän valitsemisessa oli aikataulut. Aikataulu ei saisi olla liian kireä, koska työtä valittaessa koe-erä oli vielä ajamatta, mutta toisaalta liian pitkälle menevä aikataulu aiheuttaisi turhaa odottamista, jota halusimme välttää. Eräkoon puolesta toivottavaa oli, että erässä olisi useampi hammaspyöräpari. Vaatimukset täyttävä erä löytyi työlistan selaamisen ja suunnittelun kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen ja se saatiin sujuvasti vaiheistettua uuden menetelmän mukaan.

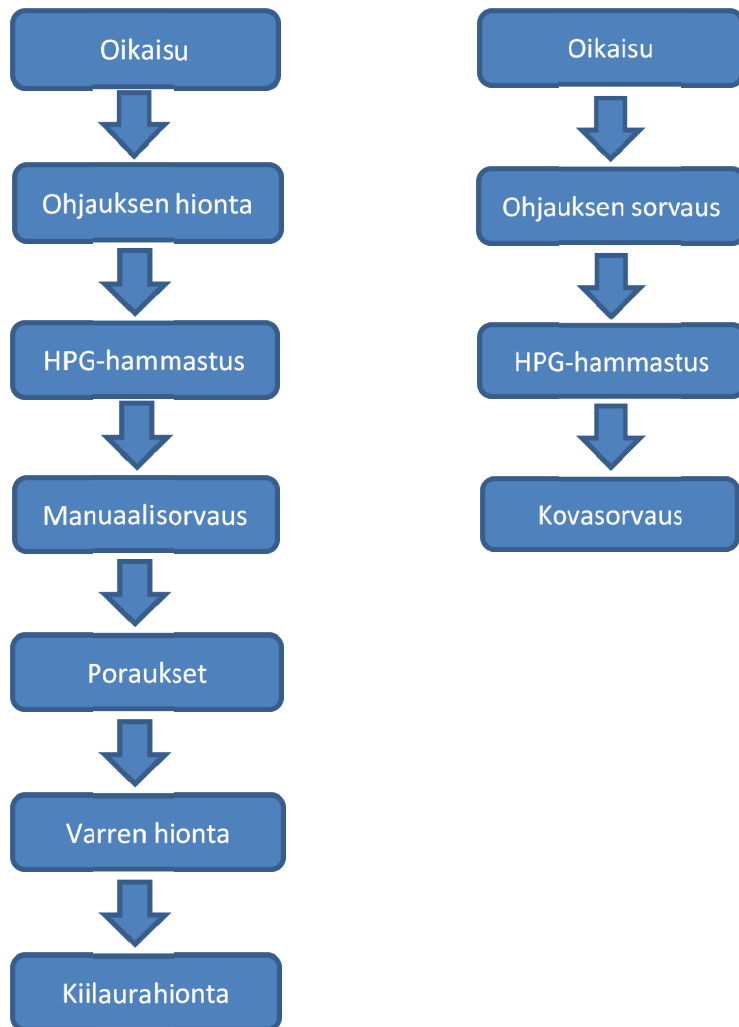
7.2 Uuden menetelmän vaikutus tuotannon vaiheistukseen

Liitteen 5 sivulla 1 on piirustus valitsemastamme viiden kappaleen erästä, ja sitä tarkastelemalla voi havainnollistaa vaiheistukseen tulleet muutokset ja sorvauksen kannalta huomioitavat asiat. Piirustuksessa on merkattu sinisellä mitat ja muodot jotka tehdään pehmeänä, mustalla lopulliset mitat ja punaisella kohdat, jotka suojamaalataan karkenemisen estämiseksi.

Hammaspäässä noin 100 mm:n päässä kärjestä on suojamaalattu muoto, joka on hammastuskoneen ohjaus. Ohjauksen kaulassa halkaisija on 120,6 mm ja ulkopuolisen kierteen halkaisija on 120 mm. Hammastuskoneissa käytetään hammastusholkkeja, jotka ovat tarkasti ohjauksen kaulan paksuisia, ja pinioni laitetaan holkin läpi ohjausta vasten.

Tämä aiheuttaa näille kyseisille kappaleille tilanteen, jossa kierteet täytyy tehdä pehmeänä, suojamaalata ja avata loppusorvauksessa. Mikäli ohjauksen kaulan halkaisija olisi joitain millimetrejä suurempi, niin jättäisimme hieman yli hiilleyssyvyyden verran materiaalia kierteiden kohdalle, jolloin me vain poistaisimme kovan materiaalin pinnasta ja tekisimme kierteet pehmeään materiaaliin. Tämä erä ei siis aiheuta pehmeäsorvaukseen muita muutoksia, kuin kiilauran tekemättä jättämisen.

Uuden sorvin myötä vaiheet vähenevät huomattavasti. Ohjauksen sorvaus on kovasorvauksen lisäksi työvaihe, joka jatkossa tehdään Gildemeisterilla. Näitä työvaiheita ei kuitenkaan voida yhdistää, koska ohjausta tarvitaan hammastamisessa ja viimeistelyä ei voi tehdä ennen ohjauksen poistamista. Tästä huolimatta kappaleen uudelleenkiinnitykset, siirrot ja odotusajat vähenevät huomattavasti. Sivun 46, kuvioista 24 voi verrata uutta ja vanhaa vaiheketjua.



Kuvio 24: Vanha ja uusi työvaiheistus

Taulukoissa 7 ja 8 on esitettyä kovatyöstön läpimenoajat uudella ja vanhalla vaiheistuksella. Taulukko on samasta työstä, kuin taulukon 1 vaiheistus ja taulukoiden avulla on helppo vertailla vanhan ja uuden vaiheistuksen läpimenoaikoja.

Taulukko 7: Uuden vaiheistuksen läpimenoaika

Vaihe	pvm.
Oikaisu	10.02.
Ohjauksen sorvaus	11.02
Hammastus (HPG)	12.02
Viimeistelysorvaus	17.02

Taulukko 8: Vanhan vaiheistuksen läpimenoaika

Vaihe	pvm.
Oikaisu	10.9.
Ohjauksen hionta	15.9.
Hammastus (HPG)	21.9.
Poistosorvaus	16.10.
Hionta	19.10.
Viimeistelysorvaus	20.10.

Taulukoiden perusteella läpimenoaika lyheni uuden vaiheistuksen myötä noin viisi viikkoa ja vaiheet vähenivät kuudesta neljään. Sorvin vaikutukset tuotannon nopeutumiseen ovat huomattavat ja lyhyemmät toimitusajat parantavat asiakastyytyväisyyttä.

7.3 Tuotantokappaleiden työstäminen

7.3.1 Ohjauksen ja mittauspinnan tekeminen

Ensimmäinen työvaihe tuotantokappaleisiin oli ohjauksen ja samankeskeisyyden mittakellolla mittaamiseen käytettävän mittauspinnan sorvaaminen. Siinä työstetään ohjauksen ulkohalkaisija mittauspinnaksi ja oikaistaan hammastusholkkia vasten tuleva ohjauksen oikea reuna, jonka muototoleranssi on 0,02 mm. Näiden pintojen työstäminen sujui ongelmitta, mutta heitottomuuden tarkistaminen tuotti pieniä ongelmia, koska meillä ei sillä hetkellä ollut käytössämme kunnollista kärkipukkia. Laitoimme kappaleen ensin erään toisen sorvin kärkien väliin, mutta sen kärjet eivät olleet tarpeeksi tarkat, ja mittasimme sadasosamillien heittoa kappaleesta.

Tämän jälkeen halusin vielä varmistaa todellisen heiton ja tuotin saman kappaleen kantatehtaamme oikaisupuristimelle. Tämä siksi, että oikaisupuristimessa mittaukselle ei tule vääristymiä kärkien kunnan takia ja saamme luotettavan tuloksen. Oikaisupuristimella mittasimme heitoksi alle sadasosamillin, mikä on todella hyvä tulos, koska käytännössä ei ole mahdollista saada absoluuttisen heitotonta kappaletta.

7.3.2 Viimeistelysorvaus

Viimeistelysorvaus tehtiin samalla tavalla kuin aikaisemmat harjoituskappaleetkin, eli ensin rouhintalastu, sitten mittalastu ja lopuksi viimeistelylastu. Pienet työvarat aiheuttivat rouhintaan pientä lisätyötä, koska emme saaneet yhdellä 0,1 mm:n lastulla kappaletta puhtaaksi, vaan kauloihin jäi kohtia, joista ei materiaalia lähtenyt lainkaan. Hyvin ohuilla lisälastuilla saimme pinnan kauttaaltaan puhtaaksi ja samalla keskiöihinsä nähden pyöreiksi, mutta tästä syystä jouduimme tekemään hieman ylimääräistä työtä ja jatkossa tulemme hieman lisäämään työvaroja. Työstöarvot erän koneistuksessa olivat lastuamisnopeutta 160 m/min ja syöttöä 0,15 - 0,2 mm/r.

Syy miksi kappale täytyy saada puhtaaksi ennen mittalastua on se, että tarkassa työstössä lastunpaineen pitää pysyä tasaisena ja siitä syystä lastun täytyy olla tasapaksua koko kaulan matkalta. Lastunpaineen päästessä vaihtelevaan terä pääsee helposti ”elämään” kappaleen pinnassa aiheuttaen epätarkkuuksia.

Vaikeuksia sorvaamisessa aiheutti pinnanlaatu. Jostain syystä emme olleet saaneet pinnankarheutta edes arvoon Ra 0,4. Käyttämämme teräpalat olivat Mitsubishi -merkkisiä, joilla on aiemmin saatu pinnanlaadun ja kestävyuden puolesta hyviä tuloksia, mutta näissä kappaleissa jouduimme laskemaan syötön arvoon 0,15 mm/kierros, jotta pääsimme alle Ra 0,4. Ensin epäilimme teräpalojen olevan viallisia ja laitoimme tilalle Iscarin teräpalan, joka on myös ollut testimme kärkipäässä, mutta sillä ei päästy lähellekään Ra 0,4 -pinnankarheutta.

Ongelmista huolimatta saimme kappaleen vaadittavien toleranssien sisään ja aloimme selvittää syytä huonoon pinnanlaatuun. Ensimmäiseksi mittasimme kappaleiden kovuuden, koska cbn-palat eivät toimi hyvin liian pehmeässä materiaalissa. Sen jälkeen teimme pikaisen Barkhausen-mittauksen nähdäksemme mahdolliset poikkeamat materiaalissa. Kovuus oli kauttaaltaan noin 60 HRc. ja Barkhausen-mittaustulos oli 40-50, joten vikaa ei löytynyt näiden mittausten perusteella.

Päätin tehdä uusia testejä Gildemeisterillä nähdäkseni, löytyykö vian aiheuttajaa sieltä. Ensin ajoimme koekappaletta samalla nirkolla, jolla ajoimme viimeisen tuotantokappaleen, mutta emme päässeet riittävän hyvään pinnanlaatuun, mikä johtui luultavasti palan kuluneisuudesta. Vaihdoin toiseen pitimeen vastaavan Mitsubishin palan, jolloin pääsimme jo alle Ra 0,2 –pinnanlaatuun.

Epäilyt kohdistuivat käyttämäämme pitimeen, ja laitoimme saman palan tuotantoerässä käyttämäämme pitimeen, jolla saimme jälleen mitattua alle Ra 0,2. Lopuksi testasimme vielä tuotantoerässä käyttämäämme Iscarin teräpalan toista nirkkoa, jotta näkisimme kyseisen teräpalan laadun ja pinnankarheus oli alle Ra 0,2. Tämä osoittaa, että vika on jossain muualla kuin koneessa, työkaluissa tai menetelmässä, ja jatkossa tulemme seuraamaan tilannetta.

Alussa työstämisessä oli pientä hiomista ohjelman ja koneen käytettävyyden kanssa, mutta lopulta pääsimme viimeiset kappaleet ajamaan sujuvasti. Kappaleen tahtiaika lattialta lattialle oli yksi tunti ja viisi minuuttia, josta työstöä oli 35-40 minuuttia. Pitkä asetusaika tulee lähinnä ylimääräisestä pinnankarheuden mittaamisesta, ja olen varma, että työstämisen tultua rutiininomaisemmaksi pääsemme alle tunnin tahtiaikoihin.

7.3.3 Kiilauran jyrsiminen

Kappaleessa oli 235 mm pitkä kiilaura ja alkuperäinen tarkoituksemme oli jyrsiä se trokoidi-menetelmällä, mutta ohjelman työstöajaksi tuli yli seitsemän minuuttia, joten valmistimme kiilauran käyttäen Sandvikin työkalumyyjien ehdottamaa menetelmää. Tällä keinolla säästimme noin kaksi minuuttia kiilaurajyrsinnästä. Kiilauran jyrsinnän menetelmät esittelen kappaleessa 8.2.

7.4 Mittaustulokset

Teimme kappaleisiin mittauksia koordinaattimittauskoneessa, tarkastamossa sekä koneistajan toimesta työstön aikana. Koneistaja teki halkaisijamittauksia mikrometrillä varmistaaksemme koneen mittalaitteen mittausten oikeellisuuden. Lisäksi hän mittasi jokaisen mittalastun jälkeen vielä pinnanlaadun, jotta tiesi tarpeen vaatiessa muuttaa syöttöä pienemmäksi. Tämä oli tarpeellista lähinnä pinnanlaatuun liittyvien ongelmien takia, mutta muutenkin oli järkevää edetä varovaisemmin näin alkumetreillä, jotta välttäisimme hylättävät kappaleet.

7.4.1 Kiilauran mittaustulokset

Liitteen 5 sivuilla 1 ja 2 ovat koordinaattimittauslaitteella kahdesta kappaleesta mitattujen kiilaurien mittaustulokset. Mittaus suoritettiin vain kahdesta kappaleesta siksi, että koneen toistotarkkuus on hyvä ja kahden kiilauran ollessa kohdallaan voimme olettaa muidenkin olevan hyviä, koska poikkeamia ei ole aiemminkaan ilmaantunut. Kiilauran leveydet on joka kappaleesta tarkastettu jo Gildemeisterillä.

Kiilauran mittausraportista saadaan kiilauran maksimi- ja minimileveydet sekä keskeisyys akseliin nähden. Molemmissa kappaleissa kiilauran leveys osuu hyvin annetun toleranssin keskivaiheille ja leveyden ääriarvojen erotus on vain hieman yli sadasosamillimetri. Keskeisyys ilmaisee, kuinka keskelle akselia kiilaura osuu ja sen toleranssi on $\pm 0,05$ mm. Molempien kiilaurien keskeisyys on 0,03 mm:n ja 0,04 mm:n välissä, joten kiilauran osalta kappale on vaatimusten mukainen.

7.4.2 Kaulojen halkaisija- ja pyöreysmittaustulokset

Erästä mitattiin yhden kappaleen kaulat koordinaattimittakoneella, koska meillä ei ole ollut aikaisemminkaan minkäänlaisia ongelmia koneen mittatarkkuuden ja toistettavuuden kannalta. Siitä syystä uskoimme, että jos yhden kappaleet kaulat ovat hyvät, niin loput voimme jättää mittaamatta koordinaattimittakoneella. Jokaiselle kappaleelle tehdään kuitenkin tarkistusmittaus käsin ennen asiakkaalle toimittamista. Tästä syystä päätimme olla näiltä osin kuormittamatta koordinaattimittakonetta enempää ja dokumentoida vain yhden pinionin mittaustulokset, jotka ovat liitteessä 5 s. 3.

Mittaustulosten kuvaaja on varsin sekava, mutta luvut kertovat kappaleen halkaisijamittojen olevan aivan toleranssien alarajoilla, vaikka koneistettaessa mitattiin halkaisijat ylärajoille. Koneistajan kanssa olemme varmoja, että tämä johtuu lämpötilaeroista, ja suoritimme lämpötilaerojen mittauksia koneen sisässä ja ulkopuolella. Mittauksien avulla huomasimme, että työstökoneen sisällä on muutaman asteen lämpimämpää kuin ulkopuolella, joten meidän täytyy jatkossa ohjelmoida kone työstämään kappale muutama tuhannesosamilli toleranssin keskikohtaa paksummaksi.

7.4.3 Kappaleen keskeisyyden mittaus

Lopuksi koordinaattimittakoneella mitattiin kappaleen hammaspään keskeisyys akselin keskiöihin nähden. Liite 5 s. 4 on mittauspöytäkirja, josta voimme tutkia kappaleen hammastuksen keskeisyyttä. Asiakas antaa meille tietyt tarkkuusvaatimukset, joiden mukaan meidän on tuotteet valmistettava.

Käytännössä tässä mittauksessa mitataan hampaiden jakovirhettä f_p , josta nähdään myös f_u , joka tarkoittaa suurinta vierekkäisten mittapisteiden erotusta. Lisäksi saadaan laskennallisesti summajakovirhe F_p , sekä säteisheitto Fr . Näiden lukujen yksikkö on μm .

Näiden mittausten perusteella standardin DIN 3965 mukainen tarkkuusluokka, joka mittauspöytäkirjassa on ilmaistu kirjaimella Q. Luokituksen asteikko on 1 – 12, ja asteikossa pienempi luku on parempi, joten me olemme onnistuneet tekemään myös luokituksen puolesta onnistuneen kappaleen. Asiakkaan vaatimus tarkkuusluokasta on joka kohdassa arvo 6, ja meidän kappaleemme tarkkuusluokka ylittää arvoille 4 - 5.

8 Työkalu- ja menetelmävalintoja

8.1 Sorvaaminen

8.1.1 Teräpalat

Pitkin koneen ylösajoa olemme testanneet lukuisia erilaisia teräpaloja. Osaa on testattu työkalumyyjien ohjeistuksella ja osan olen vain ostanut meille itsenäisiä testejä varten. Liitteenä 7 on tekemämme vertailu eri teräpaloista ja niiden kulumisesta, lisäksi suurimpaan osaan teräpaloista nettohintamme, jotta voimme vertailla myös hintoja. Kaikissa testeissä ei ole merkattu pinnankarheutta, ja se tarkoittaa Ra-arvon olleen riittävän hyvä eli alle 0,4.

Palavalinnassa painotamme tuottavuutta ja luotettavuutta. Parhaan mahdollisen tuottavuuden tavoittelu on luonnollista, mutta luotettavuuden, eli käytännössä teräpalan keston pitää olla sillä tasolla, että voimme varmasti koneistaa yhden pinionin yhdellä nirkolla. Hinta ja toimitusaika ratkaisevat vain, jos teräpalat ovat tuottavuudeltaan ja luotettavuudeltaan tasavahvoja.

Teräpalatestissä nousi kestoajan puolesta parhaimmaksi Tungaloy'n valmistama cbn-wiper-pala liite 6, s. 6 ja Sandvikin normaalia pidemmillä wiper-särmillä varustettu pala, jonka palaute on viimeisenä liitteessä 6, s. 2. Selvästi huonoimmaksi osoittautui Sumitomon teräpala, jonka hinta oli kymmeniä euroja kalliimpi, kuin muiden valmistajien. Myöhemmin testasimme vielä muutamaa muuta Sumitomon teräpalaa, mutta jostain syystä niitä ei saatu toimimaan (liite 6, s. 3 – 4).

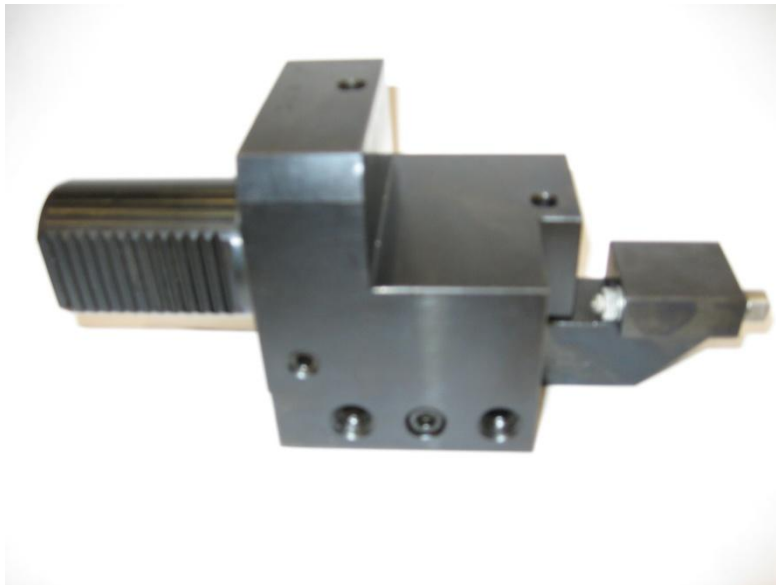
Secon teräpala oli tuottavuudeltaan paras ja jatkoa ajatellen tulemme testaamaan lisää työstöarvojen noston vaikutuksia terän keston, jotta saamme heti tarvittaessa nostettua kapasiteettiamme ja tällöin tutustun Secon paloihin vielä tarkemmin.

Näiden testien nojalla olen päättänyt ottaa ensisijaiseksi paloiksemme Secon ja Tungaloy'n teräpalat, koska niiden palat toimivat verrattaen hyvin, ja niin suurilla koneistusmatkoilla uskallamme työstää luotettavasti yhden kappaleen Hinnoiltaan Secon ja Tungaloy'n terät olivat koko tarjonnan halvimmasta päästä, ja toimitusaika Secolle yksi päivä ja Tungaloy'n pala on niin uusi tuote, että sitä ei ole vielä riittävästi tarjolla.

8.1.2 Työkalunpidinjärjestelmän osittainen uusiminen

Mittatarkkuuden takia sorvin työkalu mitataan aina ennen koneeseen asetusta, kun terän nirkko vaihdetaan. Toisin sanoen jokaisen kappaleen aikana joudutaan käymään mittaamassa työkalu, koska yhdellä nirkolla ajetaan vain yksi kappale.

Viimeistelysorvaus on tarkoitus tehdä alarevolverilla, jossa on VDI-40-pidinjärjestelmä (kuvio 25). Kuviossa 25 on aiemmin mainitsemani timanttitappi, mutta se ei perusrakenteeltaan eroa lastuavan työkalun pitimestä.



Kuvio 25: VDI-pidin ja työkaluvarsi

VDI-pitimissämme on kiinni irrallinen terävarsi, jossa teräpala on kiinni, ja pidin on varsin raskas ja kömpelö käyttää. Siksi päätin ostaa adapterien avulla revolveriin kiinnitettävän Capto-4 pidinjärjestelmän (Kuvio 26). Kyseinen pidintyyppi on kevyt ja nopea käyttää. Lisäksi Capton uudelleenasetus on hyvin tarkka $\pm 2\mu\text{m}$, mutta VDI-pitimen uudelleenasetustarkkuudesta ei ole tarkkaa tietoa, joten on varmempaa käyttää Sandvikin Capto -pitimiä. (Sandvik Tekninen käsikirja 2010, G9)



Kuvio 26: Capto-pidinjärjestelmä

Kuviossa 26 on vasemmanpuoleisena Capto-4-työkalunpidin ja keskellä ”klamppi”, joka kiinnitetään työkalurevolveriin. ”Klampit” saavat olla paikoillaan, ja vaihdamme ainoastaan vasemmanpuolisen Capto-pään, joka on kevyt ja tarkka käyttää sekä vie vain vähän säilytystilaa. Oikeanpuoleisena on vielä työkalunpidin kokonaisuutena, tuollaisen pitimen kokonaispituus on noin 150 mm, josta kolmannes on revolverissa sisällä.

Yksi etu Capto-pitimessä on vakiona pitimen läpi kulkevat nestekanavat, joiden lävitse saamme vaivattomasti paineilman jäähdyttämään teräpalaa ja –pidintä. Ennen oppinäytetyöni aloittamista olimme todenneet työkalun kuumenevan työstämisessä niin paljon, että se aiheuttaa huomattavaa epätarkkuutta. VDI-pitimiin koneistajat ovat joutuneet itse taittelemaan sopivan pätkän putkea, jotta paineilma saataisiin puhaltamaan suoraan työkaluun, joten myös tässä suhteessa Capto-pitimet puolustavat paikkaansa.

8.2 Kiilauran jyrshintä

Kiilauran jyrshintään olemme miettineet kahta erilaista menetelmää. Toinen vaihtoehto on tehdä kiilaura kahdella erilaisella täyskovametallisella jyrshintapilla käyttäen trokoidi-menetelmää. Trokoidi-menetelmässä kiilauran rouhinta tehdään koko syvyydeltään 4-leikkuisella jyrshintapilla, edeten pyörivin liikkein ottaen jyrshintapin kyljellä 1 mm:n lastu joka kierroksella. Viimeistely tehtäisiin 6-leikkuisella täyskovametallitapilla ajaen suoraan reunoja pitkin.

Toinen vaihtoehto on tehdä kiilaura monimutkaisemmalla, mutta hieman taloudellisemmalla tavalla, joka on Sandvikin työvälinemyyjien antama idea. Tässä menetelmässä ajetaan ensin 4-leikkuisen suurnopeusjyrshintapin kyljellä kova pinta pois, jonka jälkeen pinionia käännetään 90° z-akselin suhteen ja ajetaan samalla tapilla vielä kaksi millimetriä uran pinnasta, jotta saadaan kaikki kova materiaali poistettua. Seuraavaksi otetaan käyttöön vaihtopää-jyrshin, jolla rouhitaan ajamalla kiilaura edestakaisin viimeistelyvaroilta, ja lopuksi kiilaura viimeistellään samalla tavalla kuin aikaisemmassa menetelmässä.

Taloudelliseksi tämän menetelmän tekee vaihtopääjyrsin, jossa runko on koko ajan sama, ja vain kulunut pää vaihdetaan. Vaihtopään hinta on vain puolet jyrsintapin hinnasta, joten tämän avulla saisimme hieman säästettyä työkalukustannuksissa, mutta pitää vielä vertailla työstämiseen kuluva aikaa, koska trokoidi-menetelmä tuntuisi olevan nopeampi lyhyiden (n.100 mm:n) kiilaurien tekemiseen, kun Sandvikin tapa tuntuisi olevan nopeampi kiilauran pidetessä yli 100 mm:n. Tästä ei ole vielä tehty varsinaista tutkimusta löytääksemme ajallisen raja-arvon pituuden suhteen, mutta tulemme jatkossa kiinnittämään myös tähän asiaan huomiota.

9 Yhteenveto

Saimme Gildemeister-kovasorvin saatettua osaksi tuotantoa ja prosessista luotettavan, mikä oli työni tavoite. Työssä tekemäni ratkaisut eivät ole lopullisia, vaan tämän kaltaiseen työhön kuuluu jatkuva parantaminen. Näillä ratkaisuilla saimme tuotantolinjan itsenäiseksi, mutta tulevaisuuden tavoitteisiimme kuuluu kapasiteetin nostaminen ja sitä kautta menetelmien kehittäminen. Sorvin käyttöönoton taloudelliset vaikutukset on laskettu liitteessä 7, mutta tämä liite pidetään ainoastaan yrityksen sisäisessä käytössä.

Tämän kaltainen hiontaa korvaava viimeistelysorvaaminen tulee yrityksissä varmasti yleistymään, koska esimerkiksi meidän tapauksessa työstöaikojen puolesta tämä on vanhaan tapaan verrattuna noin neljä kertaa nopeampi. Läpimenoajan puolesta viiden viikon lyheneminen on todella huomattava parannus ja vaiheiden supistumisen myötä myös kappaleiden visuaalinen laatu paranee, koska kappaleet ovat samassa kiinnityksessä koko viimeistelyn ajan.

Lähteet

- Pyhälä, Juho, Tuotannon Kehityspäällikkö Ata Gears Oy, keskustelut marras-
maaliskuussa 2009 - 2010
- Toimela, Erkki, Linjapäällikkö Ata Gears Oy, keskustelu marraskuussa 2009
- Lahti, Risto, Linjapäällikkö Ata Gears Oy, keskustelu marraskuussa 2009
- Koppanen, Pentti, Tehdaspäällikkö, Ata Gears Oy, keskustelu marraskuussa 2009
- Vilavuo, Toivo, Laatupäällikkö Ata Gears Oy, keskustelu marraskuussa 2009
- Hyvönen, Janne, Projekti-insinööri Ata Gears Oy, keskustelut joulukuusta – helmikuussa
2009 - 2010
- Vesänen, Taina, Talouspäällikkö Ata Gears Oy, keskustelu maaliskuussa 2009
- Koutonen, Timo, Tekninen myyjä Sandvik Coromant Oy, keskustelut joulukuusta –
tammikuussa 2009 - 2010
- Sandvik Coromant, Tekninen käsikirja, 2010
- Seco, PCBN Technical Guide version 4, 2009
- Valmet Oy, Raaka-ainekäsikirja: muokatut teräkset, 1. painos, 1984

Liitteet

- 1 Testipinionin kuva ja Barkhausen mittaustulokset
- 2 Testipinionin koordinaattimittaustulokset
- 3 Uusi leukajärjestelmä
- 4 Koe-erän koordinaattimittaustulokset
- 5 Asiakaserän piirustus ja mittaustulokset
- 6 Teräpalatestien tulokset
- 7 Talouslaskelmat