

Jani Paananen

Ketjurattaiden valmistusprosessin kehittäminen

Opinnäytetyö

Kevät 2010

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Jani Paananen

Työn nimi: Ketjurattaiden valmistusprosessin kehittäminen

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 64

Liitteiden lukumäärä: 3

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää alumiinista valmistettavien ketjurattaiden valmistusprosessia. Kehitys toteutettiin valitsemalla soveltuvat työkalut, optimoimalla koneistuksessa käytettävät työstöarvot, parantamalla työkappaleen kiinnitystä sekä laatimalla CAD-malli tiedostot. Valmistusmenetelmänä käytettiin jysintään ja poraukseen soveltuvaa pystykarasta NC-työstökeskusta.

Valmistusmateriaalille ja käytettävälle menetelmälle suunniteltiin ja valittiin soveltuvat työkalut ja työstöarvot. Työstöarvojen vaikutusta kokonaiskoneistusaikaan analysoitiin simuloimalla koneistustapahtuma työkalutoimittajilta saaduilla suositusarvoilla. Työkappaleen kiinnitystä ja asemointia parannettiin olemassa olevan jigien muutoksilla mm. suunnittelemalla uudelleen kiinnityksessä käytettävät vestiraudat. Mallinnusta nopeutettiin laatimalla tiedosto joka sisältää valmiit CAD-mallit kolmelle yleisimmälle valmistuksessa käytettävälle ketjutyypille. Valmistuksen kehittämisen ohella työssä läpikäytiin moottoripyöräkäyttöön soveltuvan ketjurattaan valmistuksen eri vaiheet teorioineen.

Valmistusprosessia kehittävien toimenpiteiden avulla saatiin lyhentynyt kokonaiskoneistusaika, aikaisempaa luotettavampi ja taloudellisempi työkappaleen kiinnitys sekä nopeutunut CAD-mallin laatiminen. Yhteen liitettyinä näiden toimenpiteiden parantavat vaikutukset aikaansaavat selkeitä parannuksia ketjurattaan valmistusprosessissa. Huomioitavaa kuitenkin on kasvaneiden työstöarvojen mukanaan tuomat korottavat vaikutukset työkalujen hankintahintoihin. Toimenpiteiden vaikutukset summattiin ja pohdittiin niiden soveltuvuutta käytäntöön. Samalla arvioitiin työkalujen määrän vähentämisen mahdollisuutta jatkossa.

Avainsanat: lastuava työstö, tietokoneavusteinen valmistus, tietokoneavusteinen suunnittelu, mallintaminen

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Author: Jani Paananen

Title of the thesis: Development of the sprocket manufacturing process

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2010

Number of pages: 64

Number of appendices: 3

The aim of this thesis was to develop the preparation of the aluminum chainsprocket manufacturing process. The enhancement was made by selecting more appropriate tools, optimizing machining parameters, improving the workpiece attachment and making the CAD-model files. The manufacturing method was the Vertical Machining Center.

The material and methods of the manufacture were analyzed to identify the appropriate tools and the machining parameters. The parameter effects on the total machining time were analyzed by simulating the machining process by using the values of the tool suppliers obtained on the basis of the recommendation. The improvements to the workpiece fixture and the positioning were made by making the changes of the existing machining faster, for example redesigning the fastening clamps. Modeling was speeded up by making the files that contain the CAD models for the three most common used chain profiles. The work also deals with the various stages of the chainsprocket manufacturing process with the theories suitable for motorcycles.

The results are shown as a reduced total machining time, more reliable and costeffective fastening of the workpiece and accelerated CAD-modelling. As a conclusion, these more effective measures to enhance the effects are clear improvements in the manufacturing process. However, it must be noted that using the higher parameters tools, their purchase prices raise. The effects on the total development was summarized and also their suitability into the practice. At the same time the possibility to reduce the number of tools in the future was estimated.

Keywords: machining, computer aided manufacturing, computer aided design, modelling

SISÄLTÖ

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

THESIS ABSTRACT

SISÄLTÖ

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta.....	9
1.2 Rakenne ja tavoitteet.....	9
1.3 Rajaus.....	10
2 LÄHTÖTILANNE	11
2.1 Lähtötilanne ja kehitettävät osa-alueet.....	11
3 KETJURATAS JA KETJUKÄYTTÖ	12
3.1 Ketjuratas.....	12
3.2 Rullaketju.....	13
3.3 Ketjun koko ja merkintä.....	14
4 KETJURATTAAN MALLINTAMINEN	15
4.1 Yleistä.....	15
4.2 Mallintamisessa tarvittavat lähtötiedot ja niiden laskeminen.....	15
4.3 CAD-ohjelmisto.....	17
4.4 Mallintaminen Autodesk Inventor -ohjelmistolla.....	18
5 VALMISTUSMATERIAALI	22
5.1 Alumiini.....	22
5.2 Koneistettavuus.....	22
5.3 Työkalualumiinit.....	22
5.4 Alumiini 7075-T651.....	22
6 TYÖSTÖARVOT KONEISTUKSESSA	27
6.1 Yleistä.....	27
6.2 Työstöarvojen laskenta.....	28
6.3 Työstöarvojen määrittelyä.....	35

7 TYÖKALUT	37
7.1 Yleistä	37
7.2 Kierukkapora	38
7.3 Kärkiupotin	39
7.4 Varsijyrsimet.....	39
8 TYÖSTÖOHJELMA.....	40
8.1 Ohjelman rakenne.....	40
8.2 CAM-ohjelmisto.....	41
8.3 Työstöohjelman luominen SheetCAM-ohjelmistolla	41
8.4 Tiedonsiirto	43
9 TYÖKAPPALEEN KIINNITTÄMINEN.....	45
9.1 Työkappaleen kiinnittäminen jyrsittäessä.....	45
9.2 Kiinnittämisen periaate.....	45
9.3 Ketjuratasaihion kiinnittäminen	46
10 KEHITTÄVÄT TOIMENPITEET	47
10.1 Työstöarvojen optimointi	47
10.2 Kiinnityksen parantaminen	48
10.3 Mallitiedostot	51
11 TULOKSET.....	52
11.1 Työstöarvojen optimointi	52
11.2 Työkalujen valinta.....	55
11.3 Kiinnityksen parantaminen	57
11.4 Mallitiedostot	58
12 YHTEENVETO.....	59
13 POHDINTA	60
LÄHTEET.....	62
LIITTEET.....	64

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Abrasiivi	Materiaalissa olevia kovia partikkeleita, esim. karbidit, oksidit ja nitridit
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
DNC	Direct Numerical Control, tiedonsiirto työstökoneen ja tietokoneen välillä
dxf	Tiedostomuoto tallennettaessa sähköisiä tiedostoja
G-koodi	Työstökoneen ohjelmointikieli
Jigi	Työkappaleen kiinnitykseen suunniteltu kiinnitin
NC	Numerical Control, numeerinen ohjaus työstökoneissa
Offroad	Ei tieliikenteeseen tarkoitettu
PC	Personal Computer, henkilökohtainen tietokone
Sketch	Piirrosluonnos
3D	Kolmiulotteinen mallintaminen
π	Pii, likiarvo

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVIO 1. Rullaketjun rakenne..	13
KUVIO 2. Polkupyörä ja MP-ketjut..	14
KUVIO 3. Tiedostomuodon valinta.....	18
KUVIO 4. Sketchin luominen.....	19
KUVIO 5. Hammasprofiilin määrittäminen.....	19
KUVIO 6. 3D-malli.....	20
KUVIO 7. Keski-, kiinnitys ja kevennysreikien piirtäminen..	20
KUVIO 8. Valmis 3D-ketjuratas.....	21
KUVIO 9. Tallennus..	21
KUVIO 10. Irtosärmän muodostuminen..	24
KUVIO 11. 7h ajettu ketjuratas.....	26
KUVIO 12. Aarpora..	27
KUVIO 13. Jyrsintämenetelmästä johtuva tehontarpeen muutos	34
KUVIO 14. Kierukkapora-, kärkiupotin ja varsijyrsimet.....	38
KUVIO 15. Työkalun raaka-aine, kovuuden suhde sitkeyteen..	39
KUVIO 16. Esimerkki G-koodiohjelmoinnista.....	40

KUVIO 17. SheetCAM-näkymä.....	42
KUVIO 18. Koneistettavien muotojen ja työkalujen valinta..	42
KUVIO 19. Näkymä simulointitoiminnosta..	43
KUVIO 20. KwikDNC-ohjelmisto näkymä.....	44
KUVIO 21. Esimerkkejä työkappaleen kiinnittämisestä.....	46
KUVIO 22. Alkuperäinen jiggi.....	49
KUVIO 23. Uusi jiggi..	51
TAULUKKO 1. Alumiiniseosten suhteellinen lastuttavuus..	23
TAULUKKO 2. Karatehojen tarve..	35
TAULUKKO 3. Työkalujen hinnat ja kokonaistyöstöajat..	52
TAULUKKO 4. Soveltuvien työkalujen valinta.....	55
TAULUKKO 5. Todellisten ja simuloitujen koneistusaikojen vertailu.....	56

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Moottoripyöriin, mopedeihin sekä polkupyöriin erikoismitoitettuja ketjurattaita valmistavat kotimaiset yritykset ovat harvassa. Erikoismitoitettujen, välityssuhteeltaan merkittävästi alkuperäisestä poikkeavien ja yksilöllisten sekä omaperäisten ketjurattaiden saatavuuden hankaluus herätti kiinnostuksen valmistuksen aloittamista kohtaan. Kokeellisen valmistuksen taustalla on ajatus jonkintasoisen yritystoiminnan aloittamisesta. Potentiaaliset asiakkaat muodostuvat lähinnä moottoriturheilun harrastajista, rakentelijoista sekä entisöijistä. Valmistusmenetelmänä rattaille käytetään NC-jyrsintää ja porausta. Valmistukseen käytetään pystykaraista, automaattisella työkalun vaihdolla varustettua työstökeskusta.

1.2 Rakenne ja tavoitteet

Opinnäytetyössä keskityttiin offroad-käyttöön soveltuvien alumiinisten ketjurattaiden valmistusprosessiin ja sen avaintekijöiden kehittämiseen. Esimerkkinä työssä käytettiin 40-hampaista, tyyppimerkinnältään 520 moottoripyöräketjulle soveltuvaa ketjuratasta. Alkuosioissa käsiteltiin ketjurattaan valmistukseen liittyvien vaiheiden teoretietoja, esimerkiksi laskentakaavoja sekä CAD/CAM-ohjelmistoja. Työn toiminnallisissa osioissa keskityttiin ketjurattaiden valmistusta kehittäviin toimenpiteisiin. Työn tavoitteena oli koneistusaikojen tarkastelu ja tätä kautta soveltuvien työkalujen valinta, työstöarvojen optimointi ja kokonaiskoneistusajan lyhentäminen. Tavoitteena oli myös helppo ja nopea työkappaleen kiinnitys sekä CAD-mallintamisen nopeuttaminen. Opinnäytetyön yhteenvedossa kiteytetään tehdyt kehittävät toimenpiteet ja saadut tulokset.

Pohdintaosiossa käsitellään opinnäytetyön aikana syntyneitä ajatuksia ja niitä aiheita, joihin jatkossa voitaisiin kiinnittää huomiota.

1.3 Rajaus

Työstöarvoja käsiteltäessä päähuomio keskitetään työkalujen pyörimisnopeuksiin sekä pöytäsyöttöihin. Näiden lisäksi koneistukseen liittyy useita muita lopputulokseen vaikuttavia työstöarvoja sekä muuttujia, jotka on hyvä tuntea ja tiedostaa. Näistä esimerkkinä mainittakoon jyrksinnässä syntyvät lastuamisvoimat. Lastuamisvoimien esittäminen ja oikeellisuuden toteaminen on laaja osa-alue, joten niiden käsittely on jätetty vähemmälle.

Lastuavien työkalujen valmistajia ja toimittajia on markkinoilla useita, mistä johtuen soveltuvia työkaluja ja niiden pinnoittamisessa käytettyjä materiaaleja on myös lukuisa määrä. Jotta tarkasteltavien työkalujen lukumäärä ei muodostuisi liian suureksi, on työkalutoimittajien määrä rajattu kolmeen tunnettuun alalla toimivaan kotimaiseen yritykseen ja heidän edustamiinsa pikateräs- ja kovametallityökaluihin. Valmistuksessa käytettävän työstökoneen maksimi pyörimisnopeus, tukevuus, työkalukartion koko ja muut ominaisuudet ovat rajoittavia tekijöitä, jotka tulee huomioida valmistusta kehitettäessä. Edellä mainitut asiat vaikuttavat käytettäviin työstöarvoihin ja näin ollen esimerkiksi suurnopeus/tehotyökalut eivät tule kysymykseen.

Työkappaleen kiinnitykseen kohdistuvat kehittävät toimenpiteet kohdennettiin jo olemassa olevan jigin ja vestirautojen parantamiseen. Myös CAD/CAM-ohjelmistojen esittely kohdistettiin jo olemassa oleviin ohjelmistoihin.

Erikoismittaisten ja yksilöityjen ketjurattaiden valmistusmäärät ovat murto-osa massatuotantona valmistettavien rattaiden lukumäärään verrattuna. Työssä kuvataan ketjurattaan valmistuksen eri vaiheet ja menetelmät yhdellä tavalla toteutettuna. Menetelmät poikkeavat monelta osin ja merkittävästi massatuotantona valmistettavien ketjurattaiden valmistusprosessista.

2 LÄHTÖTILANNE

2.1 Lähtötilanne ja kehitettävät osa-alueet

Ketjurattaiden kokeellinen valmistus aloitettiin syksyllä 2009. Tarkoituksena on kehittää rattaiden valmistusprosessista yhtenäinen ja toimiva kokonaisuus. Valmistuksessa ilmenneitä puutteita on paranneltu olemassa olevien resurssien mukaan ja näitä parannuksia on tarkoitus tehdä myös jatkossa.

Koneistuksessa käytettävät työstöarvot ovat osoittautuneet sinällään toimiviksi eikä niistä johtuvia työkalurikkoja ole sattunut. Vaikka ketjurattaiden koneistaminen on onnistunut nykyisillä työstöarvoilla ja terämateriaaleilla, varmuutta niiden oikeellisuudesta ja tätä kautta tehokkuudesta ei ole.

Ketjuratasaihion kiinnitykseen käytettävä jigi on yksinkertainen ja sellaisenaan toimiva, mutta jäänyt valmistuksen aloittamisen vuoksi hieman keskeneräiseksi. Jigi vaatii viimeistelyä sekä pieniä parannuksia lähinnä työkappaleen asemointiin ja aihion kiinnittämiseen käytettäviin vestirautoihin.

Oleellinen osa ketjurattaan valmistusprosessia on hammasprofiilin mallintaminen. CAD-mallia hyödynnetään CAM-ohjelmoinnissa, jonka avulla työstöohjelma luodaan. Hammasprofiilin mallintamiseen liittyy CAD-piirtämisen lisäksi halkaisijoiden ja astelukujen laskentaa. Jos valmistettavaa profiilia ei ole aiemmin mallinnettu, joudutaan nämä aikaa vievät toimenpiteet suorittamaan aina ennen mallinnuksen aloittamista.

Keskittymällä näihin edellä mainittuihin osa-alueisiin ja kehittämällä niitä on mahdollista aikaan saada valmistusprosessia helpottavia ja parantavia tuloksia.

3 KETJURATAS JA KETJUKÄYTTÖ

3.1 Ketjuras

Usein hankittava ketjuras on tehdasvalmisteinen ja valmistusmateriaali on käyttötarkoituksesta riippuen karkaistu hiili tai nuorrutusteräs, teräsvalu, alumiini, muovi tai messinki. (Ansaharju, Ilomäki & Maaranen 1989, 208.)

Erilaisia ja erikokoisia moottoripyöräkäyttöön tarkoitettuja ketjurattaita on olemassa lukematon määrä. Kuitenkin merkittävästi alkuperäisestä välityssuhteesta poikkeavia, kiinnitykseltään sopivia rattaita on hankala löytää. Kun katsotaan jonkin tietyn moottoripyörävalmistajan malleihin sopivia ketjurattaita, havaitaan että päämitoiltaan samankaltaiset rattaat sopivat useaan eri malliin, yleensä tämä yhteensopivuus kulkee kuutiolavuusluokkien mukaan. Näin ollen jokaiseen eri malliin ei valmisteta omanlaista ketjurasista ja vaihtoehtoisten välitysten määrä on varsin rajallinen. Lähes poikkeuksetta ketjurattaista löytyy ulkonäköä ja painon säästöä silmälläpitäen tehtyjä kevennysmuotoja ja reikiä. Monesti nämä muodot ja reiät ovat varsin yksinkertaisia ja massatuotantona valmistettuina yksilöidyt kuvioinnit eivät tule kysymykseen.

Yleensä ketjurattaille suoritetaan kestävyttä ja ulkonäköä parantava pintakäsittely. Esimerkiksi alumiiniseoksesta valmistetut ketjurattaat, joille hyvin usein suoritetaan anodisointi. Anodisointi on sähkökemiallinen menetelmä, jossa anodisoitavan kappaleen pintaan muodostuu kova oksidikerros. Tämä oksidikerros parantaa esimerkiksi alumiinisen ketjurattaan kulutuskestävyyttä sekä ulkonäköä. (Valmet Oy 1985, 126.)

Ketjurattaalla on muutamia valmistuksen kannalta tärkeitä teknisiä mittoja, jotka tulee selvittää ennen valmistuksen aloittamista

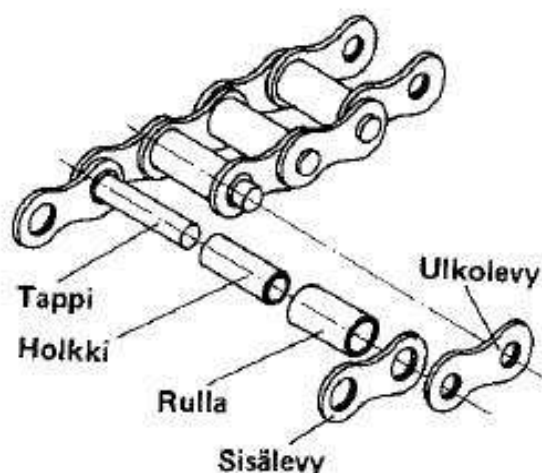
- hammasluvun ja käytettävän ketjun jaon mukaan määräytyvä ulkohalkaisija sekä jakohalkaisija
- hammasluvun mukaan määräytyvä yhden hampaan asteluku

- ketjurataan keskiöreiän halkaisija
- kiinnitysreikien lukumäärä, halkaisija sekä reikäpiirin halkaisija. Jos kiinnittämiseen käytetään kartiokantaisia pultteja, tulee kartion astelukku ja halkaisijamitta selvittää.

3.2 Rullaketju

Yleisimpiä tehonsiirtoketjuja ovat rullaketjut, jollaisia ovat myös moottoripyörien, mopediin ja polkupyörien ketjut. Rakenteeltaan rullaketju muistuttaa holkkiketjua, mutta siinä on lisäksi rulla holkin päällä. Näin ketjun ja ketjupyörän välillä ei tapahdu liukumista ja kitka on pienempi. Joitakin rullaketjuja voidaan käyttää jopa nopeudella $12-15\text{ m/s}$, mutta yleensä nopeudeksi suositellaan arvoa $v \leq 6\text{ m/s}$. (Ansaharju ym. 1989, 205.)

Oikein asennettuna ja voideltuna rullaketjun hyötysuhde on hyvä ja käynti on melko äänetön. Kuluminen ja kuluttavuus ovat rakenteesta johtuen hitaampaa kuin tappi- ja holkkiketjuilla. Yleensä rullaketjua jatketaan liitoslenkillä, mutta jos lenkkiluvun on oltava pariton, käytetään supistuslenkkiä. (Ansaharju ym. 1989, 205.)



KUVIO 1. Rullaketjun rakenne. (Ansaharju ym. 1989.)

3.3 Ketjun koko ja merkintä

Ketjun koko määräytyy ensisijaisesti jaon (p) mukaan. Jako ilmoitetaan standardin taulukoissa millimetreinä esim. $15,88\text{mm}$. Ilmoitetut mitat ovat osamillimetreinä siksi, että ne pohjautuvat tuumajärjestelmään. Merkinnässä käytetään jaon sijasta standardissa esiintyvää tunnusta. (Ansaharju ym. 1989, 206.)

Jaon ohella ketjun tärkeimpiä mittoja ovat sisäleveys (b_1) ja rullan halkaisija (d_1). Nämä mitat saadaan standardin taulukosta jaon tai tunnuksen perusteella. Ketjua tilattaessa on myös hyvä tietää tarvittava lenkkiluku ja minkä tyyppinen ketju on kyseessä. (Ansaharju ym. 1989, 207.)

Bicycle and Motorcycle Chain Dimensions				
Chain No.	Pitch	Roller Diameter	Roller Width	Sprocket thickness
Bicycle, with Derailleur	1/2"	5/16"	1/8"	0.110"
Bicycle, without Derailleur	1/2"	5/16"	3/32"	0.084"
420	1/2"	5/16"	1/4"	0.227"
425	1/2"	5/16"	5/16"	0.284"
428	1/2"	0.335"	5/16"	0.284"
520	5/8"	0.400"	1/4"	0.227"
525	5/8"	0.400"	5/16"	0.284"
530	5/8"	0.400"	3/8"	0.343"
630	3/4"	15/32"	3/8"	0.343"

KUVIO 2. Polkupyörä ja MP-ketjut. (Gizmology, [viitattu 19.11.2009].)

4 KETJURATTAAN MALLINTAMINEN

4.1 Yleistä

Ketjurattaan valmistus aloitetaan piirtämällä valmistettavasta rattaasta 3D-malli CAD-ohjelman avulla. Malli suunnitellaan ja piirretään annettujen lähtötietojen perusteella esimerkiksi ketjutyypin ja halutun hammasluvun mukaan. Kun työstöohjelma työstöratoineen luodaan käyttämällä CAM-ohjelmistoa, on malli piirrettävä ja tallennettava ohjelmistolle soveltuvassa muodossa. Työstöohjelman koodin voi kirjoittaa myös käsin suoraan työstökoneen ohjauspaneelin muistiin, mutta tämä tapa on kuitenkin työläs ja monimutkaisten muotojen ollessa kyseessä usein myös lähes mahdoton ja taloudellisessa mielessä kannattamaton.

4.2 Mallintamisessa tarvittavat lähtötiedot ja niiden laskeminen

Kuten jo aiemmin ilmeni, ketjurattaalla on muutamia valmistuksen ja mallintamisen kannalta välttämättömiä mittoja. Jotta mallintaminen voidaan suorittaa ja valmis ratas sopii käyttävän ketjun profiiliin, on selvitettävä laskemalla valmistettavan rattaan ulkohalkaisija, jakohalkaisija, yhden hampaan asteluku sekä rattaan vahvuus. Ulkohalkaisijan ja jakohalkaisijan mittaan vaikuttaa käyttävän ketjun lisäksi rattaan haluttu hammasluku, samoin kuin yhden hampaan astelukuunkin.

Ulkohalkaisijalla tarkoitetaan rattaan suurinta läpimittaa eli päähalkaisijaa. Ulkohalkaisija voidaan laskea kaavalla:

$$x = P \times (0,6 + \cot(180^\circ \div N)) \quad (1)$$

jossa P = käytettävän ketjun jako

N = rattaan haluttu hammasluku

Jakohalkaisijalla tarkoitetaan rattaan sitä halkaisijaa, jolle käyttävän ketjun ketjurullan keskiö asettuu ketjun ollessa rattaalla. Jakohalkaisija voidaan laskea kaavalla:

$$x = P \div \sin(180^\circ \div N) \quad (2)$$

jossa P = käytettävän ketjun jako

N = rattaan haluttu hammasluku

Ketjurattaan vahvuus voidaan laskea kaavalla:

$$x = 0,93 \times b1 - 0,006'' \quad (3)$$

jossa $b1$ = käytettävän ketjun ketjurullan leveys

Yhden hampaan asteluku lasketaan:

$$x = 360^\circ \div N \quad (4)$$

jossa N = rattaan hammasluku

esim. Lasketaan 40-hampaisen, 520:lle MP- ketjulle soveltuvan ketjurataan ulkohalkaisija, jakohalkaisija sekä rataan vahvuus. 520:en ketjun jako on 5/8" eli 15,875mm ja ketjurullan leveys 1/4" eli 6,35mm (Kuvio 2).

$$ulkohalk. = 15,875mm \times (0,6 + \cot(180^\circ \div 40)) \approx 211,236mm$$

$$jakohalk. = 15,875mm \div \sin(180^\circ \div 40) \approx 202,335mm$$

$$vahv. = 0,93 \times 6,35mm - 0,006" \approx 5,890mm$$

$$asteluku = 360^\circ \div 40 = 9^\circ$$

4.3 CAD-ohjelmisto

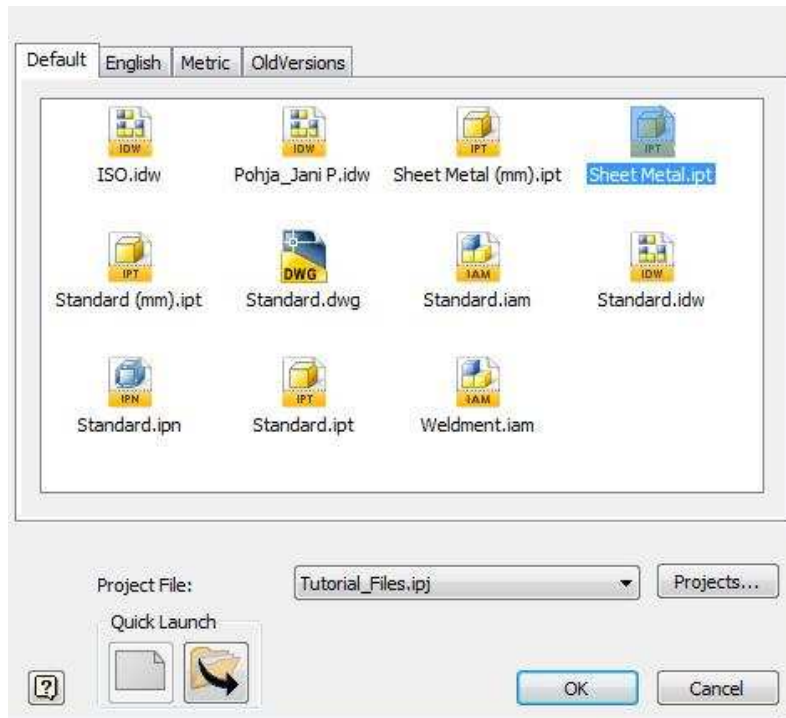
Rattaiden mallinnukseen käytettiin Autodesk Inventor 3D -ohjelmistoa. Autodesk Inventor on digitaalinen prototyyppi suunnittelu-ohjelmisto, jonka tuottaman tarkan 3D-mallin avulla suunnitelman muoto, sopivuus ja toimivuus voidaan varmistaa jo ennen valmistuksen aloittamista. (Autodesk, [viitattu 17.10.2009].)

Autodesk Inventorin keskeisiä ominaisuuksia

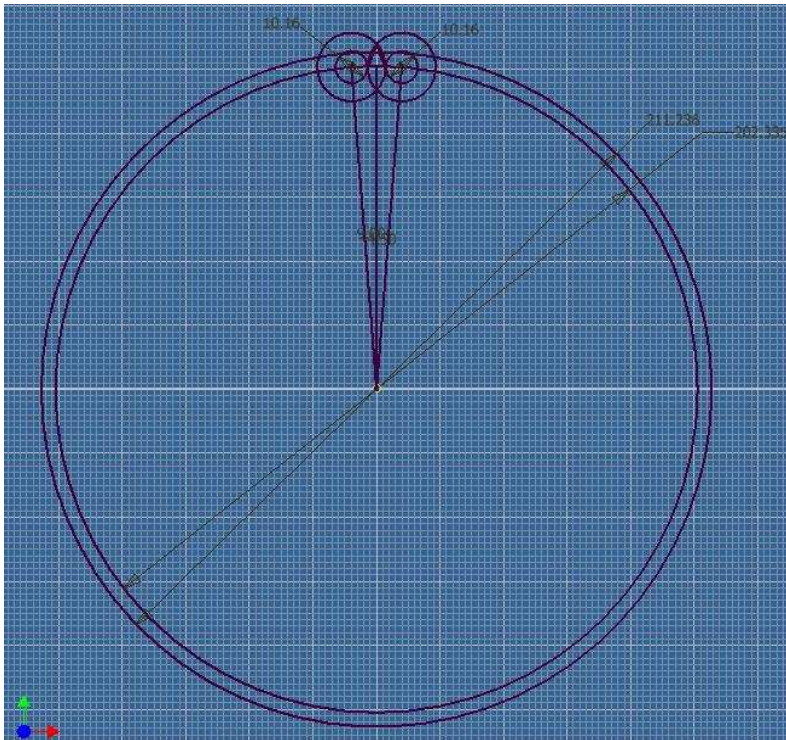
- layout ja järjestelmien suunnittelu
- muoviosien suunnittelu
- ohutlevyosien suunnittelu
- kokoonpanojen suunnittelu
- suunnittelu- ja tuotantodokumentit
- 3D-visualisointi ja suunnitelmien viestintä
- tiedonhallinta
- autoCAD-integrointi ja DWG-yhteiskäyttö
- alkuperäiset kääntäjät
- 3D CAD-oppimisresurssit
- räätälöinti ja automatisointi (Autodesk, [viitattu 17.10.2009].)

4.4 Mallintaminen Autodesk Inventor -ohjelmistolla

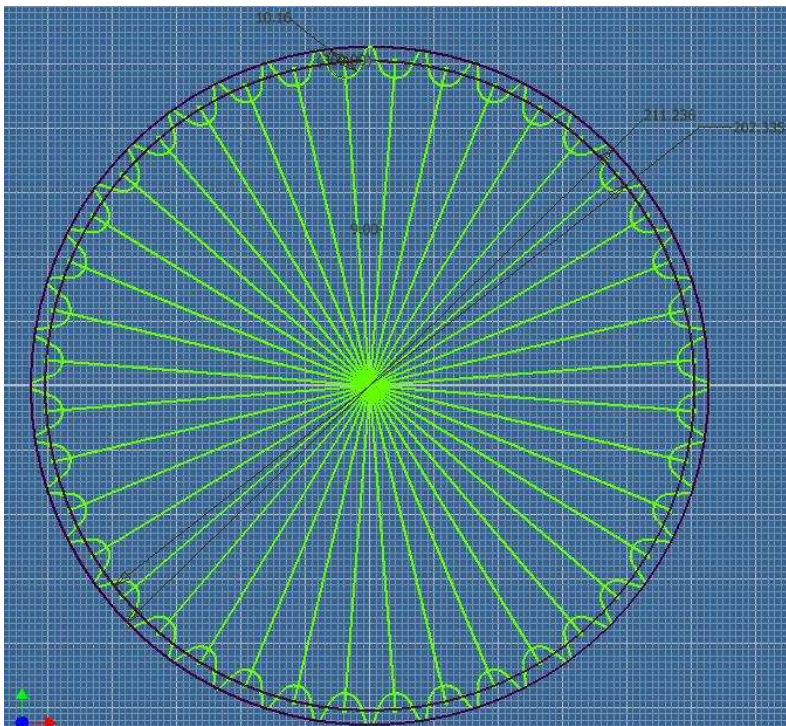
Ketjurattaan 3D-malli piirretään käyttämällä *Sheet Metal.ipt* -tiedostoa. Käyttämällä kyseistä tiedostomuotoa voidaan mallinteen tallennus suorittaa suoraan CAM-ohjelmistolle soveltuvaan muotoon (Kuvio 3). Tiedostomuodon valinnan jälkeen aloitetaan varsinaisen 3D-mallin piirtäminen. Rattaan profiili piirretään laskettujen lähtömittojen (kaavat 1,2,4) sekä ketju standardeista löytyvän, ketjurullan halkaisijan mukaan (Kuvio 4). Ketjurattaan hammasprofiilin muoto on tärkeä tekijä. Profiilin muodolla voidaan vaikuttaa merkittävästi ketjun jouhevaan kulkuun ja sitä kautta rattaan kulumiseen (Kuvio 5). Hammasprofiilin määrittämisen jälkeen valmis sketch-luonnos muunnetaan 3D-malliksi (Kuvio 6). 3D-malliin piirretään tarvittavan kokoinen keskireikä, kiinnitysreiät sekä kevennysmuodot ja esim. teksti kaiverukset (Kuvio 7). Valmis ketjuratas tiedosto tallennetaan *.dxf*-muotoon. CAM-ohjelmisto jolla koneistettavan rattaan työstöradat luodaan työstökoneetta varten lukee *.dxf*-tiedostomuotoa (Kuvio 9).



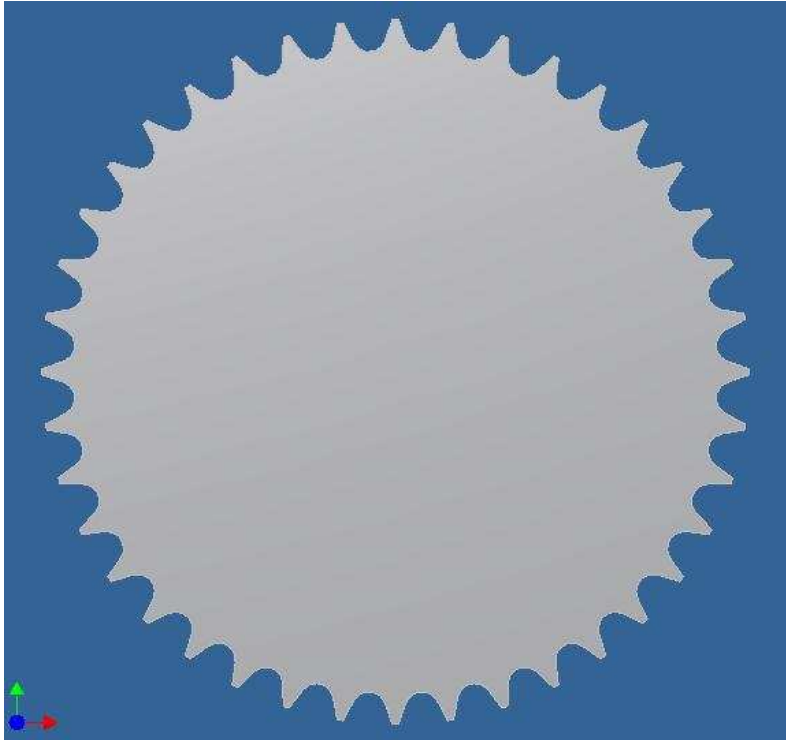
KUVIO 3. Tiedostomuodon valinta.



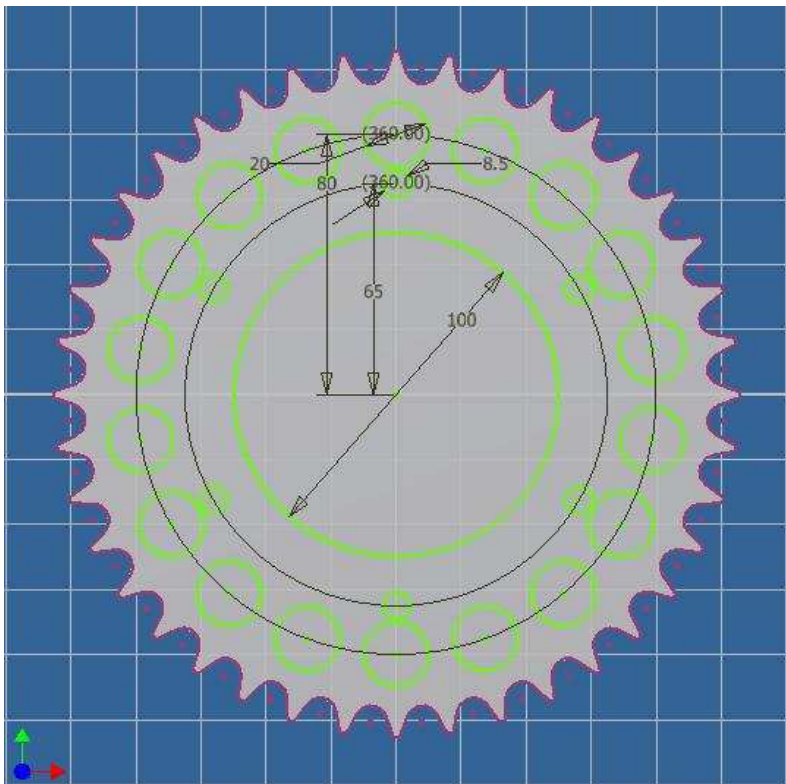
KUVIO 4. Sketchin luominen.



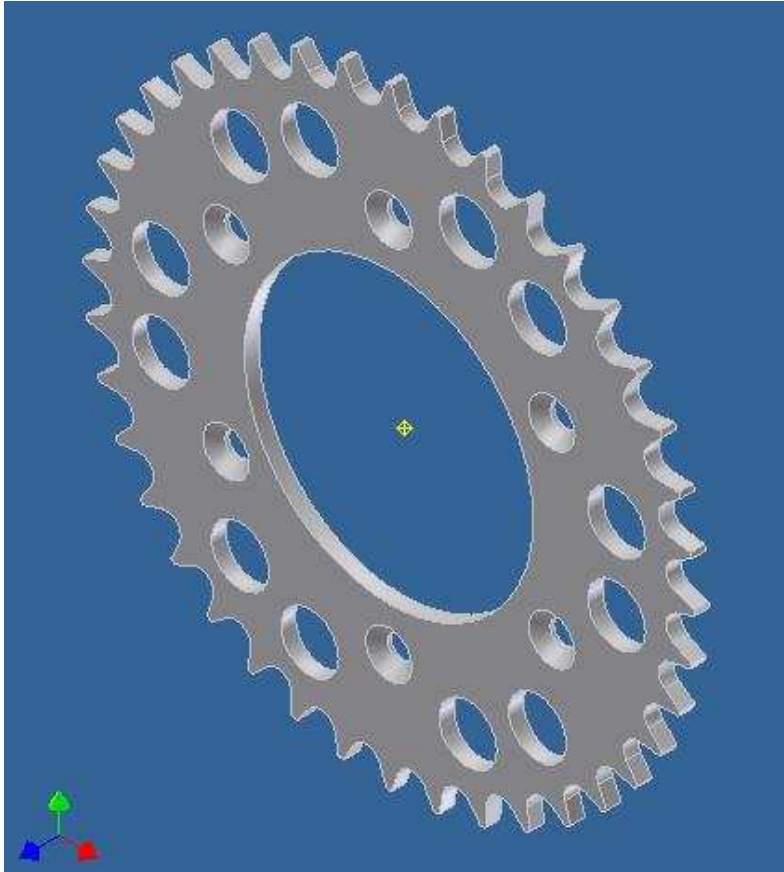
KUVIO 5. Hammasprofiilin määrittäminen.



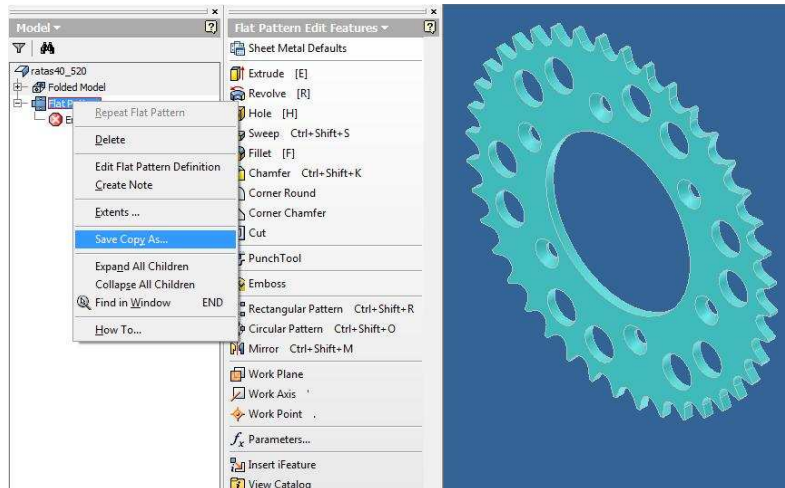
KUVIO 6. 3D-malli.



KUVIO 7. Keski-, kiinnitys ja kevennysreikien piirtäminen.



KUVIO 8. Valmis 3D-ketjuras.



KUVIO 9. Tallennus.

5 VALMISTUSMATERIAALI

5.1 Alumiini

Alumiini on kolmanneksi yleisin alkuaine maapallolla. Maankuoressa on alumiinia noin 8 %. Alumiini muodostaa yhdisteitä hapen ja muiden alkuaineiden kanssa ja se ei esiinny maassa puhtaana, vaan usein oksideina tai silikaatteina. Metallisen alumiinin valmistus alkoi vuonna 1886, kun kehitettiin elektrolyyttinen menetelmä alumiinin erottamiseksi. (Valmet Oy 1985, 91.)

Alumiinin tiheys on $2,7 \text{ kg} / \text{dm}^3$. Pääseosaineet ovat pii (*Si*), kupari (*Cu*) ja sinkki (*Zn*), näiden seosaineiden yhteydessä käytetään usein magnesiumia (*Mg*). (Aaltonen, Aromäki, Ihalainen & Sihvonen 2005, 37.)

Alumiinin käyttö erilaisissa ratkaisuissa lisääntyy jatkuvasti. Alumiinin suurimpia käyttäjiä ovat pakkaus, rakennus, sähkötarvike sekä koneenrakennus teollisuus. Koneenrakennusteollisuudessa hyödyt ovat helppo muokattavuus, lastuttavuus ja hyvä ulkonäkö. (Valmet Oy 1985, 91.)

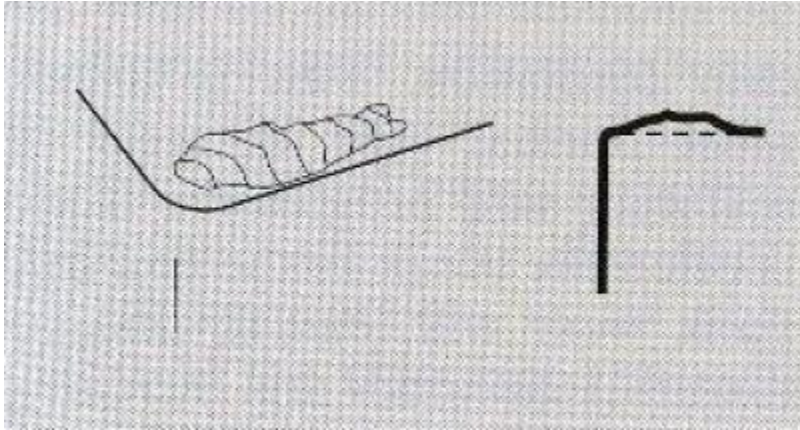
5.2 Koneistettavuus

Puhtaan alumiinin koneistaminen verrattuna koneistettavuudeltaan erinomaisiin työkalualumiineihin on hankalaa. Eri seosaineilla voidaan vaikuttaa merkittävästi alumiinin koneistettavuuteen. Aineet, jotka muodostavat alumiinin mikrorakenteeseen pehmeitä, ei abrasiiveja eli hiekkamaisia partikkeleita kuten esim. kupari, lyijy ja magnesium, parantavat koneistettavuutta. Aineet, jotka muodostavat mikrorakenteeseen kovia, terää hiovia abrasiivisia partikkeleita, kuten esimerkiksi pii, lyhentävät työkalun ikää ja huonontavat aikaansaataavaa pinnanlaatua. Alumiiniseoksista vaikeimpia koneistettavia ovat seokset, jotka sisältävät yli 10 % piitä. Suuri pii- pitoisuus aiheuttaa työkalun nopeaa kulumista ja huonontaa pinnanlaatua. (Tampereen kaupunki 2002.)

TAULUKKO 1. Alumiiniseosten suhteellinen lastuttavuus. (Valmet 1985.)

Seos	Toimitustila								
	Lastuttavuus paranee →								
Al99.5	o	H14	H18						
AlMg1		o	H14	H18					
AlMg3			o	H14	H18				
AlMgSi				T4		T6			
AlSi1Mg			o		T4	T6	T8		
AlZn5Mg1			o				T4	T6	T8
AlSi1MgPb									T6
Seosryhmät:	1) Ei- karkenevat muokattavat seokset ja karkenevat muokattavat pehmeäksihehkutettuna tilassa o								
	2) Karkaistut muokattavat seokset ja valuseokset, joiden Si- pitoisuus on alle 10%								
	3) Valuseokset, joiden Si- pitoisuus on yli 10%								

Yhdeksi ongelmaksi koneistettaessa huonosti lastuavia seoksia saattaa muodostua lastuavaan terään kiinni jäävä ns. irtosärmä. Irtosärmä syntyy työstettävästä materiaalista hitsautumalla työkaluun ja se muuttaa terän geometriaa, kasvattaa lastuamisvoimia sekä tekee lastuamisesta epästabiilia. Ajoittain murtuessaan irtosärmä huonontaa työstettävän kappaleen pinnanlaatua ja saattaa pahimmillaan aiheuttaa jyrsimen teräpalan lohkeamisen tai vaihtoehtoisesti varsijyrsimen tukkeutumisen. Ilmiötä voidaan ehkäistä valitsemalla geometrialtaan alumiinille soveltuva työkalu, nostamalla lastuamisnopeutta sekä huolehtimalla oikeanlaisesta jäähdytyksestä. Myös työkalun liukuominaisuuksia parantavilla monikerrospäällysteillä voidaan ennaltaehkäistä irtosärmän muodostumista. (Aalto-yliopisto, [viitattu 25.11.2009].)



KUVIO 10. Irtosärmän muodostuminen. (Kuosmanen 2009.)

5.3 Työkalualumiinit

Työkalualumiinit ovat muotti- ja työkaluteollisuutta varten jalostettuja seoksia. Työkalualumiinien ominaisuuksia ovat lujuus, keveys ja helppo lastuttavuus. Käyttökohteita ovat mm. työkalut, muotit ja erilaiset koneenosat. (ThyssenKrupp, [viitattu 31.10.2009].)

Työkalualumiinit omaavat erinomaiset lastuttavuusominaisuudet niiden oikeiden seosaineiden ansiosta. Lastuttavuutta parantavien seosaineiden kuten esimerkiksi kuparin ja magnesiumin vuoksi on mahdollista käyttää suuria lastuamisnopeuksia. Mahdollisuus käyttää suuria nopeuksia lastuttaessa, tarkoittaa samalla myös työstöaikojen lyhentymistä ja tätä kautta tuotannon kasvua. Lisäksi helppo lastuttavuus alentaa työkalukustannuksia niiden kestoiän pidentyessä. (ThyssenKrupp, [viitattu 31.10.2009].) Alumiinin jrsinnässä käytettävät lastuamisnopeudet vaihtelevat välillä 90–3000 m/min, syöttö välillä 0,03–0,1 mm/hammas riippuen seoksen pii-pitoisuudesta ja siitä, käytetäänkö jrsintään pikateräs vai kovametallityökalua. (Valmet Oy 1985, 159.)

Työkalualumiineja voidaan myös pintakäsittää. Pintakäsittelymenetelmänä voidaan käyttää esimerkiksi anodisointia. Pintakäsittelyllä vaikutetaan parantavasti materiaalin pintakovuuteen, kulutuskestävyyteen sekä ulkonäköön.

(ThyssenKrupp, [viitattu 17.10.2009].) Anodisoitaessa alumiinin luontaista $0,01 \mu\text{m}$:n oksidikalvoa paksunnetaan aina $50 \mu\text{m}$:iin asti. (Koivisto ym. 2006, 175.)

Aivan täsmällistä tietoa anodisointiprosessissa tapahtuvista mittamuutoksista ei voida antaa. Anodisoinnissa syntyvä oksidikerros kasvaa $2/3$ kappaleen sisään ja $1/3$ ulospäin. Edellisen teorian mukaan $10 \mu\text{m}$:n kerrosvahvuus kasvattaisi mittoja $0,003 \text{ mm}$. Yleensä prosessin alkuun kuuluu lipeäpeittäus, joka on syövyttävä ja sen vaikutus mittamuutoksiin riippuu lipeäseoksen vahvuudesta, lämpötilasta sekä pitoajan pituudesta. Suositeltavaa onkin että aina tarkoissa toleranssikohteissa suoritetaan koeanodisointi ennen varsinaisen valmistuksen aloitusta. (Janster Oy, sähköpostiviesti, [viitattu 26.3.2010].)

Jos anodisoitaessa päästään oksidikalvon maksimivahvuuteen, voidaan halkaisijassa tapahtuva muutos huomioida. Ketjurattaan toimivuuden kannalta mittamuutos on kuitenkin niin minimaalinen, ettei sillä käytännössä ole vaikutusta valmistusmittoihin.

5.4 Alumiini 7075-T651

Ketjurattaan valmistusmateriaaliksi valittu alumiiniseos on tyyppimerkinnältään 7075-T651. Tyyppimerkinnässä 7075 ilmoittaa seoksen ja merkintä T651 ilmoittaa lämpökäsittelytilan. 7075-T651 alumiinin seosaineita ovat pii, rauta, kupari, mangaani, magnesium, kromi, sinkki sekä titaani. Seosaineena olevan piin prosentuaalinen osuus on alle 10 % mikä edesauttaa materiaalin hyvää lastuttavuutta. Merkinnän T651 mukaan materiaalille on suoritettu lämpökäsittelyn jälkeinen jännityksenpoisto vetämällä. Alumiiniseoksen murtolujuus on $588 \text{ N} / \text{mm}^2$ myötölujuuden ollessa $519 \text{ N} / \text{mm}^2$. (ThyssenKrupp, [viitattu 17.10.2009].)

Valmistuksesta saatujen käytännön kokemusten mukaan materiaalin koneistettavuus on hyvä. Leikkuunesteenä koneistettaessa käytetään noin 8-prosenttista emulsiota. Muodostuva lastu on lyhyttä ja aikaansaatava

pinnanlaatu on hyvä, edellyttäen että käytettävät työkalut on geometrialtaan ehjiä ja teräviä. Edellä mainitut asiat sekä lisäksi kokemukset työkalujen hyvästä kestästä tukevat toimittajan lupauksia materiaalin ominaisuuksista. Hankintahinnaltaan 7075- sarjan alumiiniseosta voidaan pitää kalliina materiaalina esimerkiksi normaali teräkseen verrattuna. Määrämittaan sahattuna ja kohtalaisen pieniä määriä tilattaessa hinta on noin 10 €/kilo. 7075-sarjan alumiiniseos on yleisesti käytetty ketjuratas materiaali etenkin offroad-käytössä. Tärkeimpinä puoltavina ominaisuuksina materiaalin käytölle voidaan pitää sen keveyttä, helppoa koneistettavuutta sekä hyvää kulutuskestävyyttä. Valmistettujen ketjurattaiden kulutuskestävyyttä on testattu realistisissa käyttökohteissa kesä- ja talviolosuhteissa. Saadut tulokset toimivuudesta ja kulutuksenkestosta ovat olleet positiivisia.



KUVIO 11. 7h ajettu ketjuratas.

Anodisointi ominaisuuksiltaan 7075-sarjan alumiini ei ole paras mahdollinen. Värjätty pinta jää yleensä laikukkaaksi muistuttaen pilvitaivaan kuviota. Sen sijaan suoritettaessa anodisointi ilman värjäystä eli ns. luonnonväri anodisointi saadaan pinnasta siisti ja tummanharmaa.

6 TYÖSTÖARVOT KONEISTUKSESSA

6.1 Yleistä

Puhuttaessa koneistuksesta ja tehokkaasta materiaalin poistosta voidaan käytettävänä lastuavina menetelminä mainita jyrshintä, avartaminen, poraus sekä sorvaus. Menetelmien keskinäinen vertailu tehokkuus mielessä on vaikeaa. Kunkin menetelmän tehokkuus materiaalin poistossa riippuu senhetkisestä koneistustilanteesta. Vaikuttavista tekijöistä voidaan mainita esimerkiksi haluttu muoto, materiaali, työkalut, työstöarvot sekä käytettävän työstökoneen ominaisuudet.

Jyrsinnässä, pyörivää ja monihampaista työkalua hyväksikäyttäen voidaan valmistaa mm. erilaisia pintamuotoja, uria sekä hammastuksia. Työkappale on kiinnitettynä joko työstökoneen pöytään, jigiiin tai puristimeen. (Maaranen 2008, 173.) Avartamisessa käytettävät työkalut ovat pääasiallisesti samanlaisia kuin jyrsinnässäkin, suurin ero menetelmien välillä on työstettävien kappaleiden koko ja avartamiseen käytettävä työstökone eli aarpora. Jyrsinnän tapaan työstettävä kappale on kiinnitettynä työstökoneen pöytään, jigiiin tai puristimeen. (Maaranen 2008, 310.)



KUVIO 12. Aarpora. (Vossi Oy, [viitattu 29.3.2010].)

Porauksessa lastuamiseen käytetään tavallisimmin kierukkaporaa, joka pyöriessään työstää pyöreän, lieriömäisen reiän. Työkappale voidaan kiinnittää jysinkoneen tapaan joko suoraan porakoneen pöytään, jigiin tai puristimeen. (Maaranen 2008, 42.) Sorvaamalla valmistetaan tavallisesti kappaleita joilla on ympyrän muotoinen poikkileikkaus eli ne ovat pyörähdyskappaleita. Lastuavana työkaluna käytetään teräkelkkaan kiinnitettyä terää, joka suorittaa asetus- ja syöttöliikkeen. Yleisin työkappaleen kiinnitystapa sorvattaessa on kiinnittäminen 3-leukaistukkaan. (Maaranen 2008, 95.) Yhteistä kaikille edellä mainituille lastuaville menetelmille on ennen koneistuksen aloittamista suoritettava työstöarvojen laskenta. Seuraavassa kappaleessa läpikäydään jysinnässä ja porauksessa käytettävien työstöarvojen laskentakaavoja.

6.2 Työstöarvojen laskenta

Koneistuksessa käytettäviä työstöarvoja ovat

- pyörimisnopeus
- syöttö
- lastuamisnopeus
- hammaskohtainen syöttö
- lastuamissyvyys
- kosketusleveys (Maaranen 2008, 194.)

Edellä mainittujen lisäksi koneistukseen liittyvinä arvoina voidaan mainita

- lastuvirta
- karatehon tarve
- tangentiaaliset ja aksiaaliset lastuamisvoimat

Opinnäytetyössä päähuomio työstöarvoissa kohdistuu työkalujen pyörimisnopeuksiin ja syöttöarvoihin. Eroavaisuudet näissä arvoissa eri materiaalista valmistettujen työkalujen välillä vaikuttavat suoraan kokonaistyöstöaikaan. Mitä suurempaa pyörimisnopeutta sekä syöttöliikettä

koneistuksen aikana on mahdollista käyttää muiden muuttujien pysyessä vakiona, sitä lyhyempi on kappaleen valmistukseen käytetty kokonaistyöstöaika.

Työkalun pyörimisnopeus jyrksinnässä voidaan laskea kaavalla:

$$n = \frac{v \times 1000}{\pi \times d} \quad (5)$$

jossa n = pyörimisnopeus (r / min)

v = lastuamisnopeus (m / min), suositukset saadaan taulukoista

d = työkalun halkaisija (mm)

Syöttö jyrksinnässä voidaan laskea kaavalla:

$$s = n \times z \times s_z \quad (6)$$

jossa s = Syöttö (mm / min)

n = pyörimisnopeus (r / min)

z = työkalun leikkaavien särmien määrä

s_z = hammaskohtainen syöttö (mm), suositukset saadaan taulukoista

Lastuvirta jyrksinnässä voidaan laskea kaavalla:

$$V = a \times B \times s \quad (7)$$

jossa $V =$ lastuvirta (mm^3 / s)

$a =$ lastuamissyvyys (mm)

$B =$ kappaleen jyrksintäleveys (mm)

$s =$ syöttö (mm / s)

Lastuamisvoima jyrksinnässä voidaan laskea kaavalla:

$$M_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_s}{2\pi \times n} \quad (8)$$

jossa $M_c =$ lastuamisvoima (Nm)

$a_p =$ syvyys akselin suuntaan (mm)

$a_e =$ syvyys säteen suuntaan (mm)

$v_f =$ syöttö (mm / min)

$k_s =$ ominaislastuamisvoima (N / mm^2)

$n =$ pyörimisnopeus (r / min)

Karatehon tarve jyrsinnässä voidaan laskea kaavalla:

$$P_M = V \times k_s \times l / \eta \quad (9)$$

jossa $P_M =$ karateho (w)

$V =$ lastuvirta (mm^3 / s)

$k_s =$ ominaislastuamisvoima (N / mm^2)

$l =$ terän kosketuskulman kerroin

$\eta =$ karalaatikon hyötysuhde (%)

Syöttö porauksessa voidaan laskea kaavalla:

$$V_f = n \times f_n \quad (10)$$

jossa $v_f =$ syöttö (mm / min)

$n =$ pyörimisnopeus (r / min)

$f_n =$ syöttö/kierros (mm)

Syöttövoima porauksessa voidaan laskea kaavalla:

$$F_z = D \times \left(\frac{f}{2} \times \sin k\right)^{1-n} \times k_s \quad (11)$$

jossa $F_z =$ syöttövoima (N)

$D =$ poran halkaisija (mm)

$f =$ kierros syöttö (mm / r)

$\sin k =$ poran kärkikulma asteina

$n =$ ominaislastuamisvoiman muutospotenssi

$k_s =$ ominaislastuamisvoima (N / mm^2)

Karateho porauksessa voidaan laskea kaavalla:

$$P_M = F_z \times v_c \div \eta \quad (12)$$

jossa $P_M =$ karateho (Kw)

$F_z =$ syöttövoima (N)

$v_c =$ lastuamisnopeus (m / s)

$\eta =$ karalaatikon hyötysuhde

esim 1. Lasketaan halkaisijaltaan 10mm:n, 2-leikkuisen kovametalli varsijyrsimen pyörimisnopeus, syöttö, lastuvirta, lastuamisvoima sekä karatehon tarve. Työstettävä materiaali on 7075-sarjan alumiinia.

$$n = \frac{102m / \text{min} \times 1000}{(\pi \times 10mm)} = 3260r / \text{min}$$

$$s = 3260r / \text{min} \times 2 \times 0,043mm = 280mm / \text{min}$$

$$V = 3,5mm \times 4mm \times 4,67mm / s = 65mm^3 / s$$

$$M_c = \frac{3,5mm \times 5mm \times 280mm / \text{min} \times 625N / mm^2}{2\pi \times 3260rpm} = 149,5Nm$$

$$P_M = 65mm^3 / s \times 625N / mm^2 \times 1 / 80\% = 507,813W \approx 0,5Kw$$

esim 2. Lasketaan halkaisijaltaan 8,5 mm:n HSS+TiN kierukkaporan syöttö, syöttövoima ja karatehon tarve. Työstettävä materiaali on 7075-sarjan alumiinia.

$$V_f = 1360rpm \times 0,1mm \approx 135mm / \text{min}$$

$$F_z = 8,5mm \times \left(\frac{0,1mm / r}{2} \times \sin 59^\circ \right)^{1-0,18} \times 625N / mm^2 = 401,391N \approx 0,4kN$$

$$P_M = (0,4kN \times 0,6m / s) \div 0,8 \approx 0,3Kw$$

Tehontarve jyrinnässä riippuu mm. syöttönopeudesta, lastunsyvyydestä, jyrättävän alueen leveydestä sekä yhtäaikaaisesti leikkaavien teräsärmien lukumäärästä. Samoin tarvittavaan tehon määrään vaikuttaa käytettävän jyrin asetuskulma, 45° kulmassa leikkaavan jyrin kuormitus on noin 70 % verrattuna 90° kulmassa leikkaavaan jyrimeen nähden ohuemmassa lastusta johtuen. (Kuosmanen 2009, 18.)

Lieriöjyrsintä	Otsajyrsintä	Uran jyrsintä	Upottaminen	Kaivautuminen
				
Lastun paksuus säteen suuntaan tulisi olla alle 0.25 kertaa jyrin halkaisija.	Lastun paksuus säteen suuntaan tulisi olla alle 0.9 kertaa halkaisija ja akselin suuntaan alle 0.1 kertaa halkaisija.	Kiilaurien jyrsintä. Lastun paksuus säteen suuntaan on sama kuin halkaisija.	Työstettävää kappaletta voi porata vain jyrinellä, jossa on lastuava keskiö. Porattaessa syöttö puolitetään.	Jyrin kaivautuu kappaleeseen sekä akselin, että säteen suuntaan.

KUVIO 13. Jyrinmenetelmästä johtuva tehontarpeen muutos. (Dormer, [viitattu 27.4.2010].)

TAULUKKO 2. Karatehojen tarve.

		Tehontarve A	Tehontarve B
Työkalu	Pora 8,5mm		
Kierrokset	1360rpm	0.1Kw	0.35Kw
Syöttö	135mm/min		
Työkalu	2- leikk. Varsijyrsin 4mm		
Kierrokset	5520rpm	0.45Kw	0.55Kw
Syöttö	330mm/min		
Työkalu	2- leikk. Varsijyrsin 10mm		
Kierrokset	3260rpm	0.2Kw	0.37Kw
Syöttö	280mm/min		

A, Karatehon tarve kuormittamattomana

B, Karatehon tarve kuormitettuna

Ohessa olevaan taulukkoon (Taulukko 3.) on kirjattu koejyrsintöjen perusteella laskettuja karatehoarvoja. Arvot on laskettu vertaamalla työstökoneen näytön prosenttuaalisia kuormituslukemia jyrsinkaran 3,7 Kw:n maksimitehoon. Vertaamalla esimerkkien 1 ja 2 laskennallisia tuloksia koejyrsintöjen tuloksiin, voidaan todeta niiden olevan samansuuntaisia ja laskukaavojen olevan pääpiirteittäin oikeita. Epätarkkuus laskennassa johtuu mm. hyötysuhteesta η , ominaislastuamisvoiman lukemasta $625N/mm^2$ sekä ominaislastuamisvoiman muutospotenssista n . Tarkkoja arvoja näille muuttujille on vaikea löytää.

6.3 Työstöarvojen määrittelyä

Murto- ja myötölujuudeltaan alumiiniseos 7075-T651 poikkeaa muista alumiineista. Tämä tulee huomioida luettaessa työkalutoimittajien työstöarvotaulukoita, koska niissä esiintyvät alumiinien koneistukseen tarkoitetut työstöarvot eivät välttämättä sovellu sellaisenaan 7075-sarjan alumiiniseoksen koneistukseen.

Liitteenä olevaan taulukkoon (Liite 2.) on kerätty työkalutoimittajien suosittelemia teoreettisia työstöarvoja sekä hankintahintoja alumiinin työstämiseen soveltuvista työkaluista. Näitä arvoja voidaan käyttää lähtötietoina kartoitettaessa työstöarvoja ketjurattaan koneistuksessa käytettäville työkaluille. Työstöarvoihin vaikuttaa myös se kuinka monta leikkaavaa särmää käytettävässä työkalussa on ja onko työkalu tarkoitettu viimeistely koneistukseen vai rouhintaan. Taulukkoon kerätyt työstöarvot ovat varsijyrsimien osalta 2- tai 3-leikkuisten työkalujen arvoja. Käytettävä kärkiupotinmalli on 3-leikkuinen.

Työstöarvoja määriteltäessä tulee huomioida työstökoneen rakenteesta johtuvat rajoittavat tekijät. Jyrsinkaran maksimi pyörimisnopeus 6000 r/min, karateho 3,7 Kw, työkalun kiinnityskartion koko BT 30 sekä työstökeskuksen fyysinen koko. Runkorakenne ja tukevuus eivät ole verrattavissa isomman kokoisiin/tehoisiin keskuksiin.

Ketjurattaan koneistuksessa käytettävät työkalut ovat halkaisija mitoiltaan 4–25 mm ja jyrsinnän kertalastun syvyys rouhinnassa 3,5 mm. Koneen ominaisuudet karatehon ja tukevuuden osalta ovat näiltä osin riittäviä, mutta karan maksimi pyörimisnopeuden tulisi olla noin kaksi-nelinkertainen jotta saavutettaisiin suositeltavat pyörimisnopeudet alumiinin jyrsinnästä. Tähän liittyen tulee miettiä, onko järkevää ja tarkoituksen mukaista käyttää jatkuvaa 6000 r/min pyörimisnopeutta vai päästäänkö esimerkiksi 5000–5500 r/min mukaan lasketuilla syöttöarvoilla riittävän hyvään lopputulokseen, kun kuitenkin ei ole mahdollista saavuttaa arvoja, joita käytetään tehokkaassa alumiinin jyrsinnässä. Jatkuva maksimiarvoilla suoritettava jyrsintä lisää työstökoneen huoltotarvetta ja lyhentää käyttöikä.

7 TYÖKALUT

7.1 Yleistä

Tavallisesti jyrshintyökaluja kutsutaan jyrshimiksi. Yleensä jyrshintyökaluissa on useita leikkaavia teriä eli hampaita, jotka on valmistettu sitkeistä kulutusta kestävästä materiaaleista. Onnistuneen jyrshinnan edellytyksenä on osattava valita oikea työkalu ja lastuamisarvot kuhunkin työvaiheeseen, oikean työkalu valinnan lisäksi tulee työkalu myös kiinnittää oikeaoppisesti. (Maaranen 2008, 180.) Jyrshintyökalun kiinnittäminen voidaan suorittaa monella eri tavalla riippuen siitä millaista työkalua kulloinkin käytetään. Pyrkimyksenä on kiinnittää työkalu välyksettömästi käytettävään työkalukartioon niin, että pyöriessään sen liike on heitoton ja tukeva. Virheet kiinnityksessä näkyvät heikentyneenä laatuna esimerkiksi mittavirheinä, huonontuneena pinnanlaatuna sekä työkalurikkoina.

Jyrshimien tapaan myös useat erilaiset porat ovat olennainen osa lastuavaa työstöä. Poraamisessa käytetään lastuavana työkaluna yleensä kierukkaporaa tai vaihtopaloilla varustettua poraa, joka pyöriessään ja työkappaleeseen syötettynä työstää pyöreän, lieriömäisen reiän. (Maaranen 2008, 43.)

Kovametallin käyttö teräaineena on yhä yleisempää. Sen rinnalla käytetään pikaterästä ja lisääntyvässä määrin keraamisia teräaineita. (Maaranen 2008, 19.) Perinteisen pikateräksen kovuus, sitkeys ja kulumiskestävyys ovat kohtuullisen hyviä. Tästä syystä pikateräksestä valmistettuja kierretyökaluja, poria ja varsijyrshimiä voidaan käyttää laajalla käyttöalueella. Kovametalille ominaista on suuri puristuslujuus, kovuus sekä hyvä kulumiskestävyys, vastaavasti lujuus ja sitkeys ovat rajalliset. Perusaineena käytetään karbideja ja sidosaineena kobolttia. Kovametallia käytetään mm. kierretappien, varsijyrshimien sekä porien raaka-aineena. (Dormer, [viitattu 6.4.2010].)

Oikeilla työkaluvalinnoilla voidaan oleellisesti vaikuttaa kokonaistyöstöaikaan ja työkalukustannuksiin. Käyttämällä koneistettavalle materiaalille soveltuvia työkaluja, työkalujen kestoikä ja työstöarvot voidaan maksimoida. Huomioitavaa kuitenkin on, usein juuri alumiinin koneistuksen kohdalla työstökoneen asettamat rajoitukset esimerkiksi karan pyörimisnopeuden suhteen. Esimerkkinä voidaan mainita alumiinin suurnopeusjyrsintä, jossa lastuamisnopeus alue sijoittuu välille 2000–8000 m/min. Markkinoilla olevien standardikoneiden karanopeudet ovat noin 40 000 r/min. (Jäppinen 2008, 4-5.)

Työssä esiteltävän rattaan koneistamiseen on käytetty kolmea erityyppistä, lastuavaan työstöön tarkoitettua pyörivää työkalua. Poraukseen on käytetty HSS+TiN lieriövirtistä poraa, jyrsintään HSS-varsijyrsimiä.



KUVIO 14. Kierukkapora-, kärkiupotin ja varsijyrsimet.

7.2 Kierukkapora

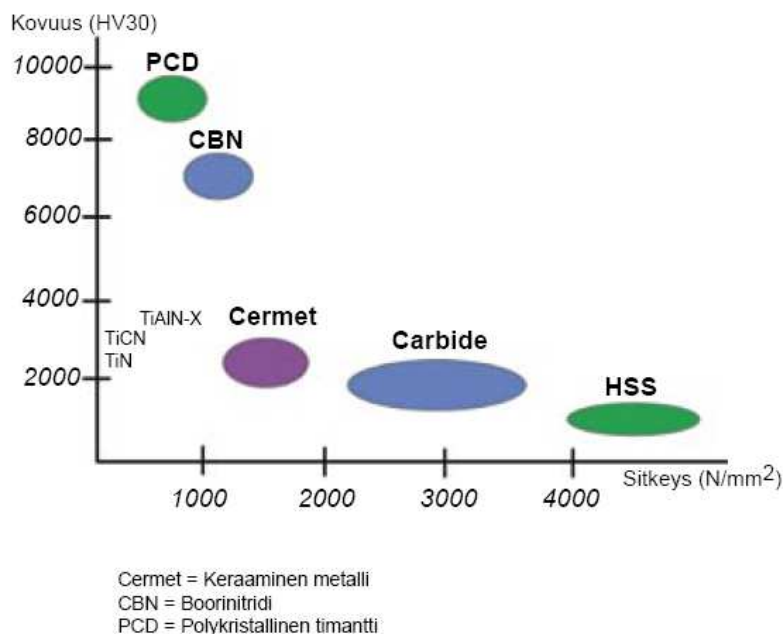
Ketjurattaassa olevat kiinnitysreiät voidaan koneistaa kierukkaporalla. Poria on sekä kartio- että lieriövirtisiä. Saatavana on pikäteräksestä sekä kovametallista valmistettuja poria, markkinoilla on myös erilaisia vaihtopaloilla varustettuja poria.

7.3 Kärkiupotin

Kärkiupottimella koneistetaan kiinnitysreikien suulle 90°:n viisteet. Kärkiupottimia on porien tapaan sekä kartio- että lieriövartisia. Saatavana on pikateräksestä valmistettuja sekä pinnoitettuja kärkiupottimia, markkinoilla on myös useita vaihtopaloilla olevia viisteiden koneistukseen tarkoitettuja jyrsimiä.

7.4 Varsijyrsimet

Ketjurattaan keskireikä, ulkomuoto ja kevennysreiät voidaan koneistaa käyttämällä varsijyrsimiä. Saatavana on pikateräksestä valmistettuja sekä kovametallista valmistettuja jyrsinteriä, markkinoilla on myös erilaisia vaihtopaloilla varustettuja varsijyrsimiä.



KUVIO 15. Työkalun raaka- aine, kovuuden suhde sitkeyteen. (Dormer, [viitattu 7.4.2010].)

8 TYÖSTÖOHJELMA

8.1 Ohjelman rakenne

NC-ohjelma koostuu lauseista, jotka on tallennettu joko työstökoneen, usb-tikun tai PC-tietokoneen muistiin. Työstön aikana koneen ohjaus lukee ja toteuttaa lauseet. Lauseet voi kuvitella pieniksi työvaiheiksi, joista muodostuu kokonaisuus. Ohjelman lauseet voivat koostua yhdestä tai useammasta komennosta. Jokaisessa komennossa on numero ja kirjainosa. Kirjainosa määrittää koneen toimintatavan ja kun lauseeseen lisätään numero-osa, siitä muodostuu toimintakoodi. Toimintakoodit ohjaavat täsmällisesti NC-työstökoneen toimintaa. G-koodikielellä ohjelmoitaessa on huomattava, että useat käskyt ovat ns. itsepidättyviä käskyjä. Ohjelmoitu käsky on voimassa niin kauan, kunnes ohjelmoidaan sen kumoava käsky. (Maaranen 2008, 264.)

Ohjelmoinnissa käytetään useita eri osoitteita määritettäessä koneen toimintoja. Tavallisimmat käytössä olevat osoitteet ovat

- **O** ohjelman numero
- **N** lauseen numero
- **G** valmisteleva käsky
- **T** työkalu käsky
- **x, y, z** pääliikeakselit. (Maaranen 2008, 265.)

```
N2470 M6 T5(TAPPI 4MM)
N2480 G54 G17 G21
N2490 G43 H5
N2500 M03 S2388
N2510 G00 X106.8167 Y-45.4882
N2520 G00 Z5.5000
N2530 G01 Z-3.5000 F30
N2540 G02 X109.4200 Y-43.7680 I2.6033 J-1.1098 F143.0
```

KUVIO 16. Esimerkki G-koodiohjelmoinnista.

8.2 CAM-ohjelmisto

Markkinoilla on useita jysintään soveltuvia CAM-ohjelmistoja. Monipuoliseen 3D-jysintään suunnitellut ohjelmistot edustavat CAM-teknologian huippua ja ovat hankintahinnaltaan kalliita investointeja.

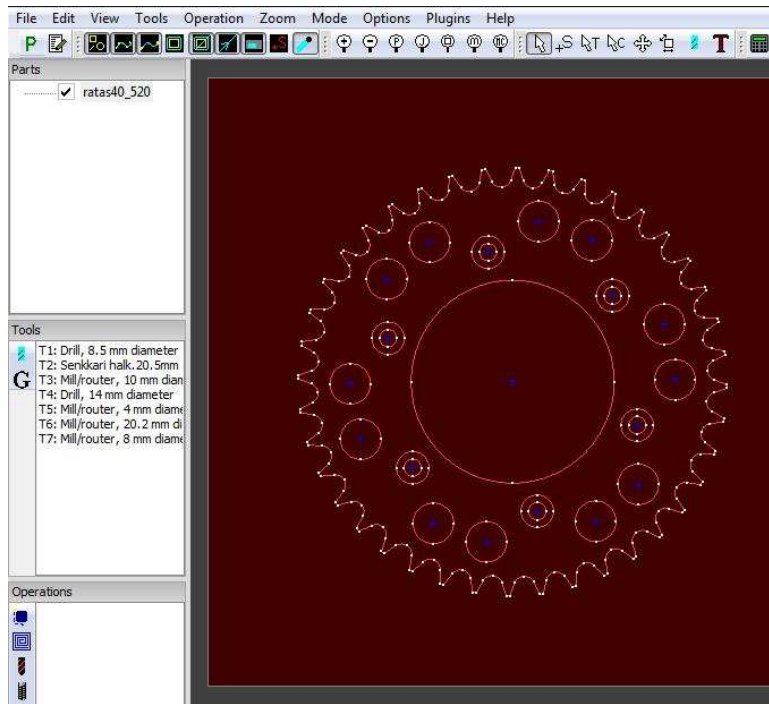
SheetCAM on edullinen ja monipuolinen 2D CAM-ohjelmisto, joka soveltuu hyvin esimerkiksi levyprofiilien jysintään. Ohjelmiston avulla voidaan luoda työstöradat G-koodikielellä NC-koneen ohjaukselle. (SheetCAM, [viitattu 12.11.2009].)

SheetCAM-ohjelmiston ominaisuuksia ovat

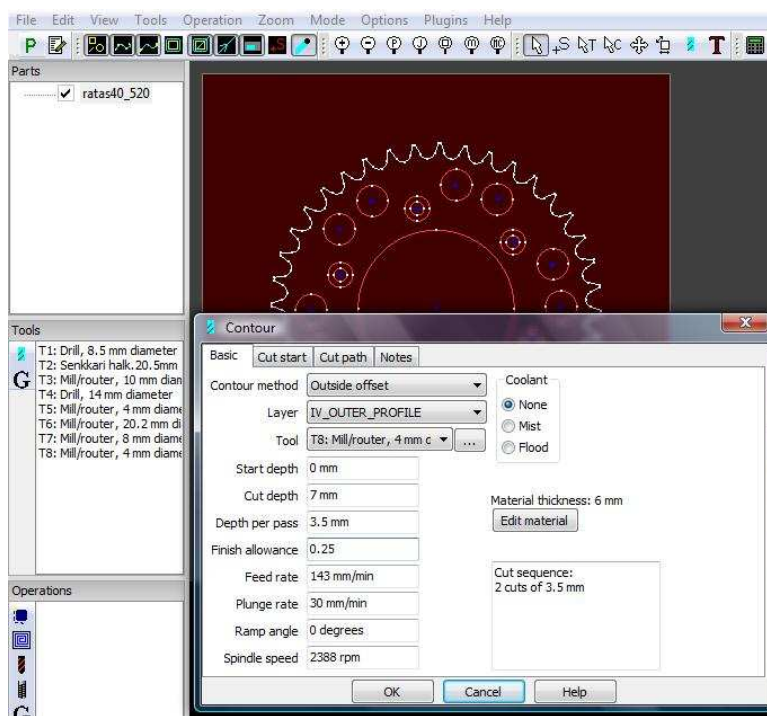
- erilaisten profiilimuotojen jysintä
- upotusten ja saarekkeiden jysintä
- poraus ja kierteytys -työkierrot
- työkalutiedot
- työstöratasimulointi. (SheetCAM, [viitattu 12.11.2009].)

8.3 Työstöohjelman luominen SheetCAM-ohjelmistolla

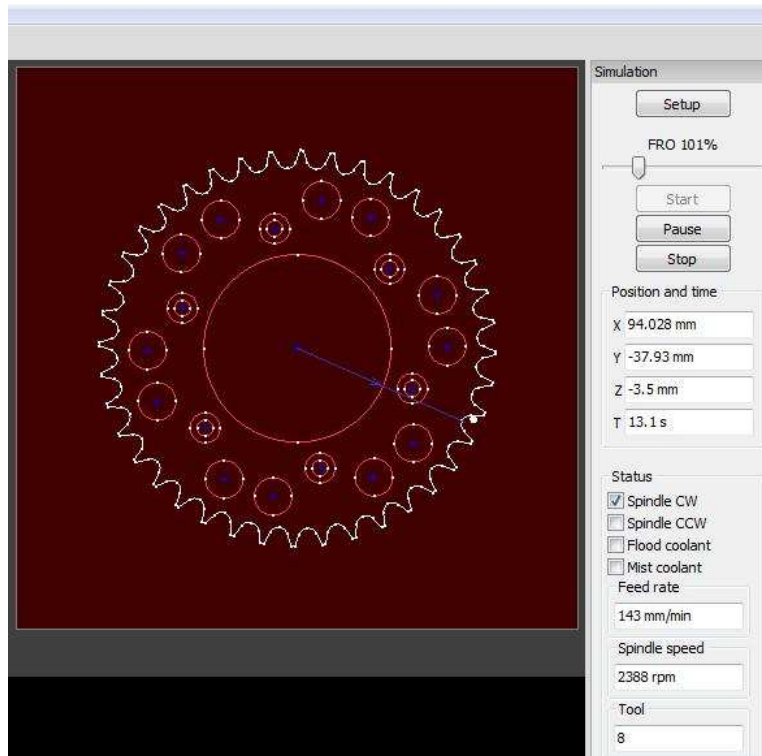
Ketjurattaan työstöohjelma luodaan käyttämällä SheetCAM-ohjelmistoa. Aiemmin CAD-ohjelmalla piirretty ja tallennettu ratasprofiili avataan CAM-ohjelmistossa työstöratojen laadintaa varten. (Kuvio 15.) Seuraavassa vaiheessa määritellään koneistettavat muodot, työkalut sekä työstöarvot käytettäville työkaluille. (Kuvio 16.) Simulointitoiminnon avulla voidaan tarkistaa määritetyt koneistusradat ja niille valittujen työkalujen toimivuus. Simulointinäkymästä on mahdollista seurata esimerkiksi yksittäisen työkalun työstöaikaa tai vaihtoehtoisesti käytettävien työkalujen kokonaistyöstöaikaa. (Kuvio 17.) CAM-ohjelmalla luodut, tarkistetut ja toimivat työstöradat sekä työkalutiedot postprosessoidaan. Konekohtaisessa postprosessoinnissa CAM-ohjelman tiedot käännetään NC-koneen ohjauksen ymmärtämään muotoon. Samalla ohjelma tallennetaan, minkä jälkeen se on käyttövalmiina ja siirrettävissä työstökoneelle.



KUVIO 17. SheetCAM-näkymä.



KUVIO 18. Koneistettävien muotojen ja työkalujen valinta.



KUVIO 19. Näkymä simulointitoiminnosta.

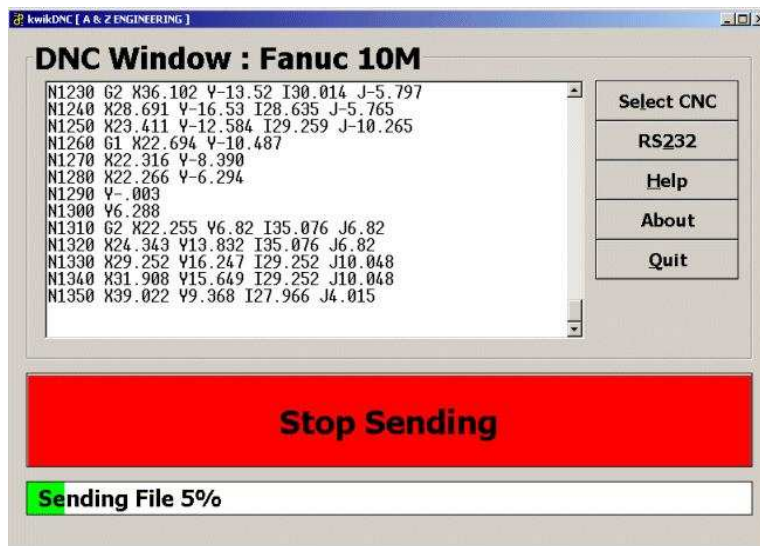
8.4 Tiedonsiirto

NC-ohjelma voidaan siirtää työstökoneelle mm. seuraavilla tavoilla

- käsin kirjoittamalla suoraan koneen ohjuspaneeliin
- siirtämällä aiemmin käsinkirjoitettu ja tallennettu ohjelma tiedonsiirtokaapelin avulla
- käyttämällä kiinteää tai langatonta DNC- tiedonsiirto ohjelmaa
- usb-tikun avulla. (Maaranen 2008, 269.)

DNC-ohjelmistossa tiedonsiirto perustuu ohjelmiston ja työstökoneen ns. keskusteluun. Tiedonsiirtoasetuksissa ei yleensä ole yhtä ainuttakaan oikeaa asetusta, vaan tiedonsiirtoasetukset täytyy vain olla samat sekä PC:llä että työstökoneella. Työstökoneelle siirtämisen jälkeen ohjelmaa on vielä mahdollisuus muokata ja korjata. (Vesämäki 2007, 48.)

Valmiin työstöohjelman siirto työstökoneelle suoritetaan käyttämällä kwikDNC-ohjelmistoa. Kun sekä vastaanottava työstökone että lähetävä tietokone ovat tiedonsiirtovalmiudessa, voidaan ohjelman siirto suorittaa. Ohjelman siirto työstökoneelta tietokoneelle suoritetaan käytännössä aivan samalla tavalla kuin lähettäminenkin, mutta vain päinvastoin.



KUVIO 20. KwikDNC-ohjelmisto näkymä. (kwikDNC, [viitattu 15.10.2009].)

9 TYÖKAPPALEEN KIINNITTÄMINEN

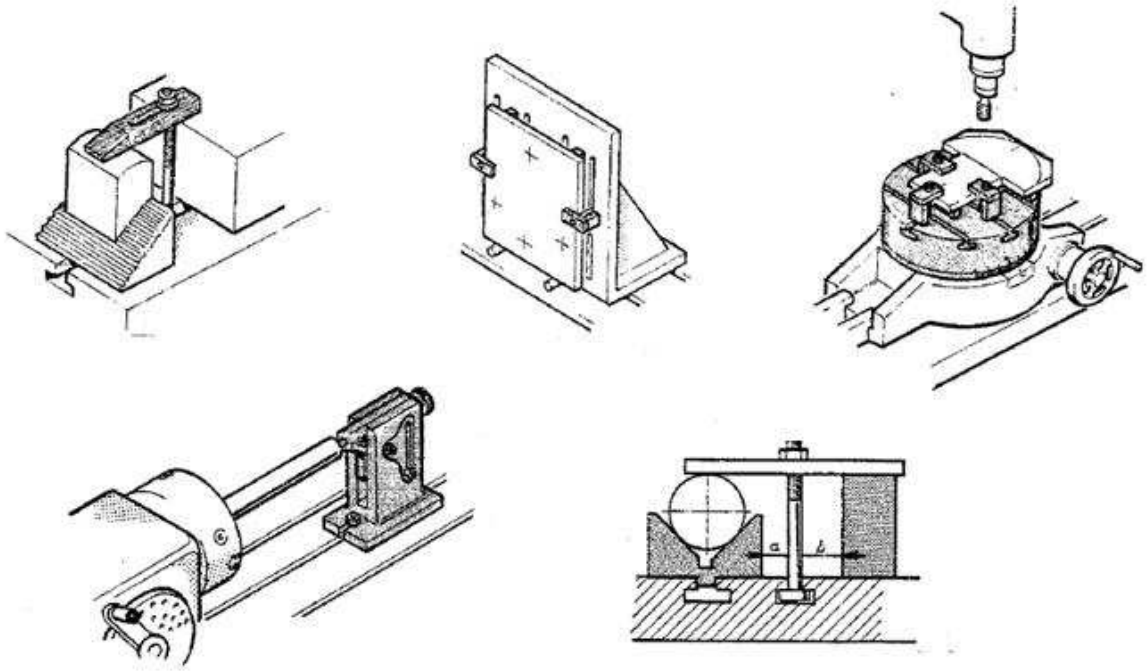
9.1 Työkappaleen kiinnittäminen jrsittäessä

Koneistettavan kappaleen kiinnittämisen katsotaan olevan koneistavissa yrityksissä merkittävä osa tuotantoprosessia. Tehokkaan työstön taustalla ovat tehokkaat ja tukevat koneistuskiinnittimet. Asetusaikojen ja kiinnityksen nopeutuessa sekä yksinkertaistuuessa lyhenevät vastaavasti työstökoneen tuottamattomat ajat. (Karhu 2009, 2–3.)

9.2 Kiinnittämisen periaate

Työkappaleen paikoittamisella tarkoitetaan sen sijainnin määrittämistä työkaluun nähden. Koneistettaessa kappaleen sijainnin tulee olla yksikäsitteisesti määrätty ja sen sijainti on säilyttävä siihen vaikuttavista lastuamisvoimista riippumatta. Esimerkkinä voidaan mainita 3-2-1 menetelmä. (Karhu 2009, 3.)

Työkappaleet on kiinnitettävä mahdollisimman tukevasti, sillä yleensä työstettäessä esiintyy suuria lastuamisvoimia, jotka pyrkivät liikuttamaan kappaletta. Kun työkappale on riittävän tukevasti kiinnitetty, vältetään haitallisilta värinöiltä ja voidaan käyttää oikeita sekä taloudellisia työstöarvoja. Tärkeää työkappaleen kiinnityksessä on sen nopea kiinnittäminen, irrottaminen ja nopea asemointi. Yleisimmät kiinnitystavat ovat koneruuvipuristimet, jigiti tai työkappaleen kiinnittäminen suoraan työstökoneen pöytään vestirautojen avulla. (Keinänen & Kärkkäinen 1999, 155.)



KUVIO 21. Esimerkkejä työkappaleen kiinnittämisestä.

9.3 Ketjuratasaihion kiinnittäminen

Ketjurattaat valmistetaan määrämittaan leikatusta, neliönmuotoisesta levyaihiosta. Aihio on vahvuudeltaan 4–7 mm ratasta käytävästä ketjutyypistä riippuen. Aihio kiinnitetään jigiiin neljän vestiraudan avulla, kokeellisesti määritellyllä 27 Nm suuruisella voimalla. Kiristykseen käytetään momenttiavainta, jolloin jokaisen vestiraudan kiristävä voima on samansuuruinen. Paikoitus on suoritettu silmämääräisesti jigiiin ulkoreunojen mukaan. Rattaiden koneistuksen yhteydessä esiintyvät sivuttaissuuntaiset ja pystysuuntaiset lastuamisvoimat eivät ole osoittautuneet ongelmallisiksi ja käytetty 27Nm:n suuruinen kiristysvoima on osoittautunut riittäväksi eikä aihion irtoamista kiinnityksestä ole havaittu.

10 KEHITTÄVÄT TOIMENPITEET

10.1 Työstöarvojen optimointi

Ketjurattaiden koneistuksessa käytetty terämateriaali on ollut pääasiallisesti pinnoittamatonta pikaterästä. Pikateräs on kovametalliin verrattuna edullinen työkalumateriaali, mutta vastaavasti kestoikä ja suositeltavat työstöarvot ovat huomattavasti alhaisempia kuin kovametallisilla työkaluilla.

Käytetyt pyörimisnopeudet ja syöttöarvot on laskettu aikaisempaan kokemukseen ja materiaalitoimittajalta saatuihin ns. ”varman päälle” tietoihin pohjautuen. Koneistuksen onnistuessa ilman suurempia ongelmia työstöarvojen oikeellisuuteen ei sittemmin ole kiinnitetty huomiota. Päähuomio on keskittynyt toimivien rattaiden aikaansaamiseen valmistuksen tehokkuuden sijaan. Näistä lähtökohdista oli hyvä aloittaa työstöarvojen optimointi sekä terämateriaalin valinta.

Työkaluihin ja työstöarvoihin liittyen laadittiin kyselykaavake. Kaavakkeeseen määriteltiin koneistuksessa käytettävät työkalut ja kohdat työkalujen valmistusmateriaalille, suositeltavalle pyörimisnopeudelle, syötölle, hammassyötölle sekä hankintahinnalle. Laadittu kaavake lähetettiin sähköpostitse kolmelle tunnetulle kotimaiselle lastuavia työkaluja myyväälle yritykselle, joista jokainen täydensi kaavakkeen edellä mainittujen arvojen osalta.

Koneistuksen kokonaistyöstöaika työkalujen osalta simuloitiin käyttämällä luvussa 8 esiteltyä SheetCAM-ohjelmiston toimintoa. Saaduissa kokonaisajoissa ei ole huomioitu työkappaleen kiinnittämiseen sekä työkalujen vaihtoihin kuluva aikaa. Työstöaika simuloitiin koneistuksessa käytetyillä työstöarvoilla sekä työkalutoimittajilta saaduilla vaihtoehtoisten työkalujen suositusarvoilla.

Valmistuksessa käytettävän työstökeskuksen maksimi pyörimisnopeus on 6000 rpm/min. Tämä rajoittava tekijä on huomioitu suhteuttamalla taulukossa (Liite 2.) esiintyvät syöttöarvot työstökoneen maksimi kierrosluvun mukaan, simuloinnissa käytetyt suhteutetut arvot löytyvät samaisesta taulukosta.

Työkaluilla suoritetaan seuraavat lastuavat toimenpiteet

- 8,5 mm:n poralla porataan ketjurattaassa olevat kiinnitysreiät, poraus suoritetaan kertaporauksena syvyydeltään 9mm:ä.
- Kärkiupottimella tehdään 90° viisteet kiinnitysreiän suulle, syvyydeltään 6mm:ä.
- 10 mm:n varsijyrsimellä koneistetaan rattaan keskireikä, ensin 0,3 mm:n viimeistelyvaralla, syvyydeltään 7mm kahdella 3,5 mm:n lastulla, lopuksi viimeistely syvyydeltään 7mm.
- 20 mm:n varsijyrsimellä valmistetaan rattaassa olevat kevennysreiät kertaporauksella syvyydeltään 7 mm.
- 4 mm:n varsijyrsimellä jyrsitään rattaan hammasprofiili, ensin 0,3 mm viimeistelyvaralla, syvyydeltään 7 mm kahdella 3,5 mm:n lastulla, lopuksi viimeistely syvyydeltään 7 mm.

Kaikkiaan simuloitiin viiden eri työkalun työstöradat kahdeksalla eri pyörimis- ja syöttöarvolla. Saatujen tuloksien perusteella voitiin selkeästi havaita suurempien työstöarvojen vaikutus kokonaistyöstöaikaan.

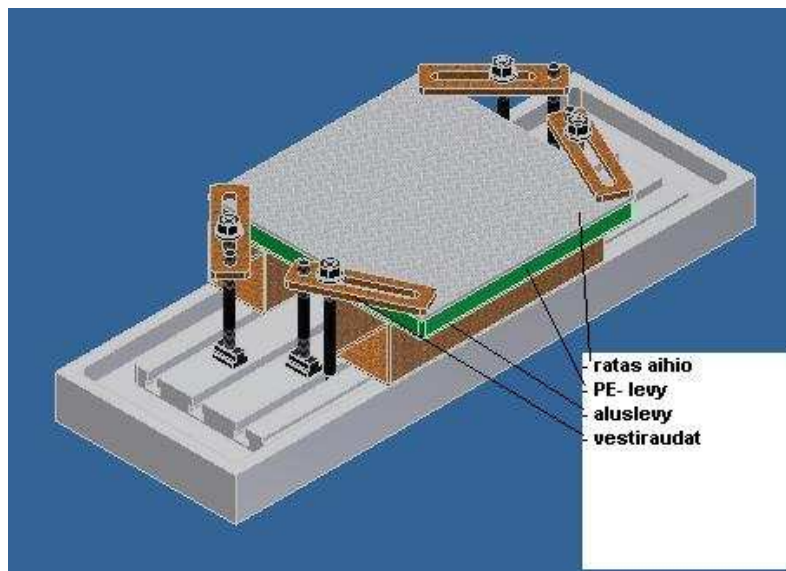
10.2 Kiinnityksen parantaminen

Ketjurattaiden kiinnitykseen tarkoitettu jigi oli valmistuksen aloittamisen jälkeen jäänyt hieman keskeneräiseksi ja viimeistelemättä.

Suurimpana ongelmana on ollut kiinnitykseen käytettävien vestirautojen hankalasti suoritettava asemointi. Vestirautojen sijoittelu on määräytynyt koneistettavan ketjurattaan halkaisijan mukaan. Koneistettaessa halkaisija mitoitaan lähellä työstökoneen maksimi liikerajoja ja levyaihion reunoja olevia ketjurattaita, on

vestiraudat jouduttu asemoimaan hyvinkin tarkasti ja lähelle aihion reunoja, joskus jopa siirtämään kesken koneistuksen sen vuoksi että työkalupidin pyöriessään mahtuisi kulkemaan osumatta vestirautoihin. Kiinnitysvoiman kohdistuessa pienelle alalle aivan aihion reunaan tapahtuu vääntymistä, jota tässä tapauksessa on pyritty ehkäisemään välttämällä aihion liiallista kiristämistä. Vestirautojen asemointia hankaloittaa työstöpöydän kiinnitysurat. Urien tulisi olla hieman eri kohdissa, jolloin vestirautojen asemointi suoraan ja lähemmäksi levyaihion reunoja olisi mahdollista. Lisäksi aihion asemointi jigiin on ollut silmämääräistä kiinteiden toppareiden puuttuessa.

Esiintyneiden ongelmien perusteella lähdettiin suunnittelemaan ja toteuttamaan parannuksia joilla edellä mainituista ongelmista päästäisiin eroon ja aihion kiinnitystä sekä asemointia saataisiin parannettua.

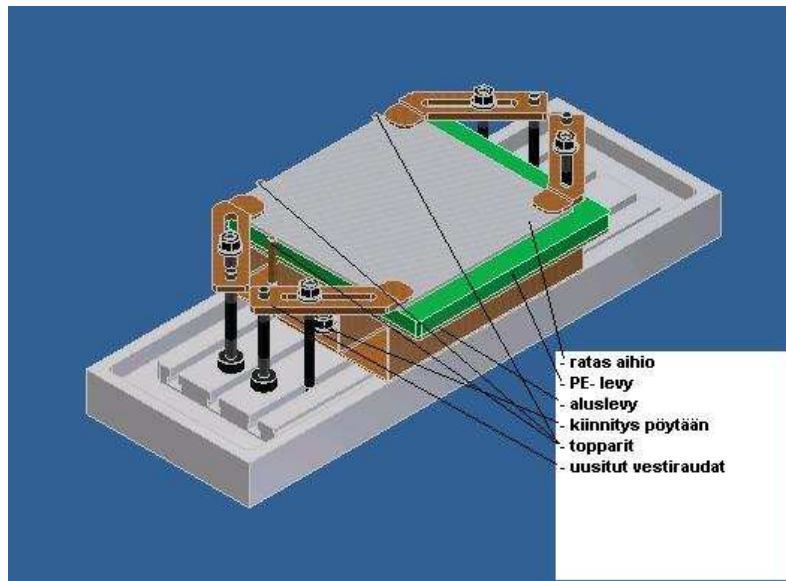


KUVIO 22. Alkuperäinen jigi.

Lähdettäessä parantamaan olemassa olevaa jigia ajatuksena oli toteuttaa 3-2-1 periaatetta siinä määrin kuin se on mahdollista ja tarkoituksen mukaista. Siinä työkappale tuetaan korkeussuunnassa kolmen tukipisteen varaan: kahden tukipisteen avulla asemoidaan kappale suoraan ja yhden tukipisteen avulla asemoidaan kappale oikeaan asemaan työkaluun nähden sekä pyritään estämään työkappaleen sivuttaissuuntainen siirtyminen koneistuksen aikana. Ketjuratas aihion ollessa suhteellisen ohut, vahvuudeltaan 4–7 mm:n levyaihio, korkeussuunnassa aihion alla käytetään 20 mm:n polyeteenilevyä liiallisen vääntymisen estämiseksi. Levyaihion asemoinnin nopeutta ja paikallaan pysyvyyttä parannettiin tekemällä jigiiin kiinteät topparit sivuttais- ja poikittaissuuntaan. Aihion paikka määräytyy työntämällä se vasten toppareita ja samalla ne vastustavat koneistuksen aikana syntyviä lastuamisvoimia.

Kiinnittämiseen käytettävät vestiraudat suunniteltiin uudelleen niin, että ne voitiin aiemmasta poiketen sijoittaa ulottumaan paremmin aihion päälle ja samalla väistämään työkalupidin koneistushetkellä. Uudet vestiraudat valmistettiin laser-leikkaamalla 8 mm:n teräslevystä ja niiden päätyosat koneistettiin 5 mm:n vahvuisiksi. Koneistamalla kevennykset työkalupidin mahtuu kulkemaan osittain vestiraudan ylitse siihen kuitenkaan osumatta.

Parannuksen yhteydessä aiemmin toisistaan irrallaan olleet jigii osat kiinnitettiin toisiinsa käyttämällä hitsisaumoja ja ruuviliitoksia. Samalla jigiiin lisättiin lattaraudat, joihin porattiin kiinnitysreiät joita käyttämällä jigii voidaan kiinnittää tukevasti pulttiliitoksella työstökoneen pöytään. Muutokset mallinnettiin ennen varsinaista toteutusta käyttämällä samaista 3D-ohjelmaa, jolla myös ketjurattaat mallinnettiin, jolloin voitiin tarkastella muutosten toimivuutta ennen niiden toteuttamista.



KUVIO 23. Uusi jigi.

10.3 Mallitiedostot

Ketjurattaan 3D-malli koostuu hammasprofiilista sekä valmistettavan rattaan muista yksityiskohdista. Jokaisesta ensimmäistä kertaa valmistettavasta rattaasta on piirrettävä mallinne. Riippuen rattaan hammasluvusta pelkästään hammasprofiilin mallintamiseen kuluu aikaa noin 10–15 minuuttia.

Ketjurattaiden mallintamista nopeutettiin tekemällä kolmelle yleisimmälle ketjutyypille valmiit mallitiedostot. Tiedostoihin mallinnettiin 3D-hammasprofiilit kunkin ketjutyypin yleisimmistä rattaista. Tarkoituksena on nopeuttaa ja helpottaa ketjurattaan mallinnusta poistamalla yksi vaihe. Jatkossa tiedostosta voidaan kopioida haluttu hammasprofiili ja siirtyä suoraan rattaan muiden yksityiskohtien suunnitteluun ja mallintamiseen.

11 TULOKSET

11.1 Työstöarvojen optimointi

TAULUKKO 3. Työkalujen hinnat ja kokonaistyöstöajat.

Alkuperäiset				
	rpm	mm/min	fz	s
Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	S.aika
HSS+TiN Pora 8.5	1236	123	0.05	45.8s
HSS V.jyrsin 4	2757	165	0.03	1250s
HSS V. jyrsin 10	1155	151	0.065	352.5s
HSS V.jyrsin 20	576	72	0.063	97.5s
HSS Kärkiupotin	500	100	0.07	39.8s

Kok.aika
1785.6s
Hinta
80.60 €

Työkalukeskus Oy				
	rpm	mm/min	fz	s
Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	S.aika
Kovam. Pora 8.5	4800	2016	0.21	18.8s
X-Power V.jyrsin 4	6000	240	0.02	884.8s
X-Power V.jyrsin 10	3260	280	0.043	213.8s
X-Power V.jyrsin 20	1680	170	0.05	58.5s
HSS+TiN Kärkiupotin	450	200	0.15	27.8s

Kok.aika
1203.7s
Hinta
426.00 €

Cronvall Oy

	rpm	mm/min	fz	s
Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	S.aika
Kovam. Pora 8.5	6000	4200	0.35	18.8s
Kovam. V.jyrsin 4	6000	264	0.022	795s
Kovam. V.jyrsin 10	6000	1332	0.111	71s
Kovam. V.jyrsin 20	3455	820	0.119	31.5s
Kovam. Kärkiupotin	1900	570	0.1	20.3s

Kok.aika
936.6s
Hinta
568.50 €

Teräskonttori Oy

	rpm	mm/min	fz	s
Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	S.aika
MNS0850S-DIN-C Pora 8.5	5620	3370	0.3	18.8s
AM2MRD0400A075 V.jyrsin 4	6000	360	0.02	614.8s
AM2MRD1000A060 V.jyrsin 10	6000	1620	0.09	64.3s
AM2MRD2000A100 V.jyrsin 20	6000	2880	0.16	28.5s
E6819 90° Kärkiupotin	380	170	0.15	29.3s

Kok.aika
755.7s
Hinta
484.00 €

Saaduista tuloksista (Taulukko 3.) voidaan selkeästi havaita, kuinka työstöarvojen kasvulla on suora kokonaistyöstöaikaa lyhentävä vaikutus, kuitenkin samalla työkalujen hankintahinta kasvaa huomattavasti.

Vertailtaessa alkuperäisten pikaterästyökalujen simulointiaikaa Teräskonttori Oy:n edustamien työkalujen aikaan, on tuloksena 58 % lyhyempi kokonaistyöstöaika jälkimmäisen eduksi. Vastaava prosenttiluku Cronvall Oy:n työkalujen kohdalla on 48 % ja Työkalukeskus Oy:n työkalujen kohdalla 32,5 %. Vastaavasti vertailtaessa työkalujen hankintahintoja voidaan todeta, että ero edullisimpien alkuperäisien työkalujen ja kalleimpien Cronvall Oy:n työkalujen välillä on 86 %. Hintaero edullisimman ja toiseksi kalleimman Teräskonttori Oy:n välillä on 83 %. Minuuteiksi muutettuna ero lyhimmän ja pisimmän kokonaiskoneistusajan välillä on noin 17 minuuttia ja työkalujen hankintahintojen erotus euroiksi muutettuna halvimman ja kalleimman vaihtoehdon välillä on noin 488 €.

Saatuja tuloksia tarkasteltaessa huomioitavaa ovat suuret erot työkalujen hankintahinnoissa ja suositeltavissa työstöarvoissa. Ottamalla vertailuun useampi markkinoilla toimiva työkalutoimittaja olisi soveltuvien työkalujen tarjonta saatu laajemmaksi ja monipuolisemmaksi.

Kokonaiskoneistusajasta merkittävä osa kuluu ketjurataan hammasprofiilin jysintään 4 mm:n varsijysimellä. Simulointiajoista laskettuna prosentuaalinen osuus kokonaisajasta liikkuu 70–84 %:n välillä. Myös 10 mm:n varsijysimellä suoritettavaan rataan keskireiän jysintään kuluu aikaa 8–20 % kokonaisajasta. Ketjurattaiden valmistuksen ollessa koeluontoista ja määrien pieniä ei ole perusteltua lähteä vaihtamaan jokaista käytettävää työkalua hankintahinnaltaan kalliiseen kovametalliseen työkaluun. Keskittymällä kokonaiskoneistusaikaan eniten vaikuttavien työkalujen valintaa sekä valitsemalla työstöarvot saatujen kokemusten perusteella yhdessä työkalutoimittajien ohjearvojen kanssa on mahdollista saada huomattavia ja tällä hetkellä riittäviä parannuksia kokonaiskoneistusaikaan.

11.2 Työkalujen valinta

TAULUKKO 4. Soveltuvien työkalujen valinta.

Valinta					
Materiaali	rpm	m/min	mm/min	fz	s
	P.nopeus	L.nopeus	Syöttö	H.syöttö	S.aika
HSS+TiN Pora 8.5	1360	36	135	0.05	41s
AM2MRD0400A075 V.jyrsin 4	5520	69	330	0.02	663.9s
X-Power V.jyrsin 10	3260	102	280	0.043	213.8s
HSS V.jyrsin 20	635	40	80	0.063	87.8s
HSS Kärkiupotin	500	39	100	0.07	39.8s

Kok.aika
1046.3s
Hinta
157.05€

Valituilla työkaluilla (Taulukko 4.) aikaansaadaan noin 41,5 %:n ja ajaksi muutettuna noin 12 minuutin parannus kokonaiskoneistusaikaan. Hankintahinnaltaan valitut työkalut ovat aika tarkalleen puolet kalliimpia kuin alkuperäiset työkalut. Kokemusten perusteella voidaan olettaa kovametallisten työkalujen kestoiän olevan selvästi pidempi kuin pikateräksisten. Tästä näkökulmasta katsottuna pidempään kestävien, suuremmat työstöarvot sallivien ja tätä kautta kokonaiskoneistusaikaa merkittävästi lyhentävien työkalujen hankinta on perusteltua.

4 mm:n 3-leikkuinen varsijyrsin valittiin Teräskonttori Oy:n tarjoamien työkalujen valikoimasta. Toimittaja suosittelee jyrsimen leikkuunopeudeksi 250 m/min, pyörimisnopeudella 20000 r/min ja työkalun hankintahinta on 33 €/kpl. Työstökoneen maksimi pyörimisnopeudella 6000 r/min leikkuunopeudeksi

saadaan 75 m/min. Työstökeskus huomioiden simuloinnissa on käytetty pyörimisnopeutta 5520 r/min, leikkuunopeuden arvon ollessa 69 m/min.

10 mm:n 2-leikkuinen varsijyrsin valittiin Työkalukeskus Oy:n tarjoamien työkalujen valikoimasta. Toimittaja suosittelee jyrsimen leikkuunopeudeksi 102 m/min pyörimisnopeudella 3260 r/min, työkalun hankintahinta on 59 €/kpl.

Käytettävistä työkaluista 8,5 mm:n pora, 20 mm:n tappijyrsin ja kärkiupotin ovat pysyneet samoina. Kuitenkin niin, että lukuun ottamatta kärkiupotinta työstöarvoja on korotettu 10 %:lla alkuperäisistä arvoista. Poran leikkuunopeus kasvoi arvosta 33 m/min arvoon 36 m/min, syötön kasvaessa arvosta 123 mm/min arvoon 135 mm/min. Vastaavasti tappijyrsimen leikkuunopeus kasvoi arvosta 36 m/min arvoon 40 m/min syötön kasvaessa arvosta 72 mm/min arvoon 80 mm/min.

Tuloksissa olevissa kokonaissimulointiajoissa ei ole huomioitu työkalunvaihtoihin kuluvaa aikaa. Simuloinnin oikeellisuuden varmistamiseksi suoritettiin kokeelliset koneistukset, ensin alkuperäisillä työstöarvoilla ja sen jälkeen valituksi tulleiden työkalujen työstöarvoilla. Tuloksista voidaan päätellä simulointituloksen olevan oikeansuuntainen.

TAULUKKO 5. Todellisten ja simuloitujen koneistusaikojen vertailu.

Kokonaisaika	Todell.aika	Simul.aika	Tk.vaihto
Alkuper. työstöarvot	33min57s	29min46s	*4min11s
Uudet työstöarvot	21min15s	17min26s	*3min49s
	Erotus	Erotus	
	12min42s	12min20s	

* työkalujen vaihtoon kulunut aika

11.3 Kiinnityksen parantaminen

Jigiin tehtyjen parannusten ansiosta aikaansaatii selkeitä parannuksia levyaihion kiinnittämiseen ja asemointiin sekä samalla ketjuratasaihion kokoa voitiin pienentää.

Kiinteiden toppareiden ansiosta aihion asemointi nopeutui ja samalla ne varmistavat aihion paikallaan pysymistä ja vastaanottavat jyrkässä syntyviä sivuttaissuuntaisia lastuamisvoimia.

Uudelleen suunnitellut vestiraudat mahdollistavat nopeamman ja varmemman aihion kiinnityksen. Kiinnityspinta-alan kasvun myötä kiinnitysvoima jakaantuu isommalle alalle vähentäen materiaalin vääntymistä eikä rautojen asemointi ole niin tarkkuutta vaativaa kuin aiemmin. Vestirautojen päihin koneistettujen tasojen ansiosta työkalupidin mahtuu kulkemaan osittain raudan ylitse ilman törmäysvaaraa. Tasojen ansiosta myös ketjuratasaihion maksimi kokoa voitiin pienentää aiemmasta 300 mm*300 mm koosta kokoon 270 mm*270 mm.

Liittämällä yhteen aiemmin erillään olleet osat saatiin tulokseksi yhtenäinen ja aiempaa tukevampi jigi, joka on helppo kiinnittää ja irroittaa työstökoneen pöydästä.

Ajallisesti mitattuna jigiin tehtyjen parannusten vaikutus on noin 30 sekunnin luokkaa/kiinnitetty aihio. Erikoisvalmisteinen ketjuratas ei ole massa/sarjatuote, joten ajallista parannusta parempana tuloksena voidaan pitää kiinnityksen luotettavuuden parantumista sekä aihion ulkomittojen pienentymisen kautta saatavaa materiaalikustannussäästöä. Yleisimmän, vahvuudeltaan 6 mm:n levyaihion kohdalla tämä tarkoittaa 19 %:n säästöä materiaalikustannuksissa/ratas.

11.4 Mallitiedostot

Mallitiedostojen valmiit 3D-mallit nopeuttavat selkeästi ketjurattaaan CAD-mallin piirtämistä. Nopeuttava vaikutus on noin 10–15 minuuttia/ketjuratas. Samalla voidaan ehkäistä CAD-piirtämisessä syntyviä virheitä, joita saattaa esiintyä, kun mallintaminen aloitetaan aina alusta ja siihen sisältyy mittojen laskentaa sekä mitoitusta. Tarkistetuilla ja tallennetuilla mallinteilla piirtämisen virheitä voidaan ehkäistä.

12 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä kehitettiin alumiinisten ketjurattaiden valmistusprosessia. Toistaiseksi valmistus on koeluontoista ja valmistusmäärät pieniä. Pääsääntöisesti valmistettavat rattaat menevät offroad- eli jäärata-, motocross- ja endurokäyttöön, lisäksi rattaita on valmistettu polkupyörien entisöijille ja rakentajille.

Valmistusta kehitettiin valitsemalla materiaalille soveltuvat työkalut ja työstöarvot työstökeskuksen suorituskyky huomioiden. Työstöarvomuutosten vaikutusta kokonaiskoneistusaikaan tarkasteltiin simuloimalla työstötapahtuma CAM-ohjelmistolla sekä työstökeskuksella suoritettujen kokeellisten koneistuksien avulla. Valmistusta kehitettiin myös parantamalla työkappaleen kiinnitystä sekä luomalla CAD-mallitiedostot. Työkalujen ja työstöarvojen vertailussa apuna käytettiin kolmelta kotimaiselta työkalutoimittajalta saatuja tietoja. Työkappaleen kiinnitystä parannettiin tekemällä muutoksia jo olemassa olevaan jigiiin. Parannukset tehtiin lisäämällä asemointia helpottavat topparit sekä kiinnittämällä aiemmin toisistaan erillään olleet osat kiinteästi yhdeksi kokonaisuudeksi. Samalla suunniteltiin ja valmistettiin uudet paremmin kiinnitykseen soveltuvat vestiraudat. CAD-piirtämistä nopeutettiin tallentamalla kolmen yleisimmän offroad-käyttöön soveltuvan ketjutyyppin hammasprofiilit.

Tehtyjen valmistusprosessia kehittävien toimenpiteiden tuloksena aikaansaatiin noin 12 minuuttia lyhempi kokonaiskoneistusaika. Tuloksena saatiin myös parantunut työkappaleen kiinnitys ja sen seurauksena 19 %:n materiaalikustannus säästö/ketjuratas sekä nopeutunut rattaiden hammasprofiilien CAD-mallinnus. CAD-tiedostot nopeuttavat 3D-mallin laadintaa noin 10–15 minuuttia/ratas, jos lähtökohdانا on uusi ennen valmistamaton malli.

13 POHDINTA

Työtä tehdessä ja eri lähteisiin tutustuessa tuli selkeästi esille, että työstöarvot lähtötilanteessa olivat aivan liian alhaiset alumiinin koneistukseen. Osittain tämä olikin tiedossa, mutta materiaalina 7000-sarjan työkalualumiini oli vieras ja tästä syystä työstöarvot asetettiin ns. ” varman päälle ”. Työssä lähteenä käytetyn Valmetin raaka-ainekäsikirjan mukaan leikkuunopeudet alumiinin työstössä vaihtelevat välillä 90–3000 m/min. Käytettävät leikkuunopeudet riippuvat siitä onko kyseessä rouhinta vai viimeistelyjyrsintä sekä siitä millaisia työkaluja käytetään, esimerkiksi pikateräksisiä tai kovametallisia työkaluja. Käytössä olevan työstökeskuksen maksimi pyörimisnopeus on 6000 r/min. Pyörimisnopeuden kaavasta saadaan ratkaisemalla leikkuunopeuden maksimiarvo. Jos esimerkiksi otetaan 4 mm:n varsijyrsin ja tavoitteeksi asetetaan leikkuunopeuden arvo 90 m/min, saadaan vaadituksi pyörimisnopeudeksi noin 7200 r/min. Tuloksesta huomataan, että vaadittuun leikkuunopeuteen ei ole mahdollista päästä pienillä työkaluhalkaisijoilla eli työstökoneen kierrosalue ei ole riittävän laaja. Toisena esimerkkinä voidaan mainita Cronvall Oy:n suosittama 10 mm:n kovametallinen varsijyrsin. Leikkuunopeus suositus on 250 m/min, laskettaessa pyörimisnopeuksia saadaan tulokseksi noin 7950 r/min. Esimerkkien ja aiemman kokemuksen pohjalta voidaan todeta, että valmistukseen käytettävä työstökeskus ei ole ominaisuuksiltaan paras mahdollinen kone tehokkaaseen alumiinin koneistukseen. Tämä tulee huomioida työstöarvoja laskettaessa sekä käytettäviä työkaluja valittaessa. Periaatteessa on turha ostaa kallista työkalua jos suositeltaviin työstöarvoihin ei ole mahdollista päästä, järkevämpää on tyytyä soveltuvaan edullisempaan vaihtoehtoon. Opinnäytetyötä tehdessä vertailussa oli mukana kolmen työkalujälleenmyyjään edustamia työkaluja. Lukumäärä oli rajattava pieneksi, jotta työmäärä käytettävään aikaan nähden ei ylittyisi. Ottamalla mukaan useita jälleenmyyjä ja suorittamalla yksityiskohtaisempia vertailuja muodostuisi soveltuvien työkalujen määrä paljon suuremmaksi ja mahdollistaisi esimerkiksi kilpailuttamisen.

Kiinnitys jigiiin ja vestirautoihin tehdyt muutokset ja parannukset ovat osoittautuneet toimiviksi ja käytettävyyttä parantaviksi ratkaisuuksi. Samoin

valmiiden CAD-mallien ansiosta suunnitteluvaiheessa voidaan siirtyä suoraan kiinnitysreikien ja muiden yksityiskohtien mallintamiseen aikaa vievän ja puuduttavan hammasprofiilin piirtämisen sijaan.

Tulevaisuudessa on mahdollista, että käytettävien työkalujen määrä vähenee nykyisestä. Käytettävien työkalujen määrän voisi vähentää kolmeen käytettävään työkaluun, poraan, kärkiupottimeen ja 4–6 mm:n varsijyrtimeen. Käytännössä se on täysin mahdollista, mutta vaatisi olemassa olevien työstöohjelmien uudelleen tekoa. Vähentämällä ylimääräisten työkalujen lukumäärä minimiin saadaan säästöjä työkaluhankinnoissa sekä esimerkiksi työkaluvaihtoajoissa.

Tehdyt toimenpiteet ovat yhdenlainen esimerkki siitä kuinka valmistusta voidaan kehittää. Tehokkaaseen koneistukseen liittyy todella paljon eri muuttujia, jotka jokainen osaltaan ja omalla tavallaan vaikuttavat lopputulokseen. Kaikkiin näihin osatekijöihin perehtyminen ja sen oppiminen millä tavoin ne vaikuttavat lopputulokseen, vaatii vankkaa pitkäaikaista perehtymistä asiaan sekä ymmärrystä monelta eri osa-alueelta.

Teräksiin verrattuna alumiinin koneistukseen liittyvistä asioista on hankala löytää luotettavaa tietoa. Jatkossa voitaisiin syventyä alumiinin koneistukseen oleellisesti vaikuttavien asioiden tarkkaan tutkimiseen sekä esimerkiksi alumiinille käytettävien työkalujen kulumiseen ja sen mukanaan tuomiin vaikutuksiin työkalujen käyttöikänsä.

Opinnäytetyön kirjoittaminen ja teorian tiedon kokoaminen oli haasteellista ja opettavaista. Työssä käsitellään monia eri osa-alueilta mutta kokonaisuuden hallinnan vuoksi paljon yksityiskohtaista aiheeseen liittyvää tietoa piti jättää käsittelemättä.

LÄHTEET

- Aalto-yliopisto. Ei päiväystä. [www-sivusto]. [Viitattu 25.11.2009]. Saatavana:https://noppa.tkk.fi/.../lastuavat_valmistusmenetelmat_ope tusmoniste.doc
- Aaltonen, K. Aromäki, M. Ihalainen, E & Sihvonen, P. 2005. Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Ansaharju, T. Ilomäki, O. & Maaranen, K. 1989. Asennustekniikka. Porvoo: WSOY.
- Autodesk. Ei päiväystä. [www-sivusto]. [Viitattu 17.10.2009]. Saatavana:<http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/index?siteID=448412&i d=12510918>
- Dormer. Ei päiväystä. Yleistietoa. [www-sivusto]. [Viitattu 6.4.2010]. Saatavana:[http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s00359 2.nsf/Alldocs/Product*2DMachiningSolutions*2ATH*2DPDFsu/\\$file/1Y leistietoa.pdf](http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s00359 2.nsf/Alldocs/Product*2DMachiningSolutions*2ATH*2DPDFsu/$file/1Y leistietoa.pdf)
- Gizmology. Ei päiväystä. [www-sivusto]. [Viitattu 19.11.2009]. Saatavana: <http://www.gizmology.net/sprockets.htm>
- Jäppinen, M. 2009. Suurnopeusjyrsintä. [www-sivusto]. [Viitattu 29.3.2010]. Saatavana:<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/4254 4/nbnfi-fe200810272037.pdf?sequence=3>
- Karhu, M. 2009. Koneistuskiinnitimen suunnitelu ja käyttötarkastelu. [www-sivusto]. [Viitattu 24.11.2009]. Saatavana: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/44619/nbnfife200903311281 .pdf?sequence=3>
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 1999. Konetekniikan perusteet. 2. painos. Porvoo: WSOY.
- Koivisto, K. Laitinen, E. Niinimäki, M. Tianen, T. Tiilikka, P & Tuomikoski, J. 2006. Konetekniikan materiaalioppi. 10. –11. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Kuosmanen, S. 2009. Ongelmat rouhintasorvauksessa ja jyrinnässä. [www-sivusto]. [Viitattu 21.1.2010]. Saatavana: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/46875/nbnfife200908242055 .pdf?sequence=3>
- Kwikdnc. Ei päiväystä. [www-sivusto]. [Viitattu 15.10.2009]. Saatavana: <http://www.kwikdnc.com/>
- Maaranen, K. 2008. Koneistustekniikat. 1.-3. painos. Porvoo: WSOY.

Paananen, J.<xxx.xxx@xxx.fi> 23.11.2009. Työkalukysely.
[Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Marko Mölsä.
[Viitattu 1.12.2009].

Paananen, J.<xxx.xxx@xxx.fi> 23.11.2009. Työkalukysely.
[Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Juha Rissanen.
[Viitattu 7.12.2009].

Paananen, J.<xxx.xxx@xxx.fi> 23.11.2009. Työkalukysely.
[Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Arto Rantanen.
[Viitattu 10.12.2009].

Paananen, J.<xxx.xxx@xxx.fi> 24.3.2010. Kommenttia
anodisoinnista. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja:
Christer Sundström. [Viitattu 26.3.2010].

Pirkanmaan työkalukeskus Oy. Ei päiväystä. [www-sivusto]. [Viitattu
9.11.2009]. Saatavana: <http://www.tyokalukeskus.fi/>

Sheetcam. 2007. [www-sivusto]. [Viitattu 12.11.2009]. Saatavana:
<http://www.sheetcam.com/index.shtml>

Tampereen kaupunki. 2002. [www-sivusto]. [Viitattu 25.11.2009].
Saatavana:<http://koulut.tampere.fi/materiaalit/valimo2/materiaalit10.htm>

ThyssenKrupp Aerospace. [www-sivusto]. [Viitattu 31.10.2009].
Saatavana: <http://www.thyssenkrupp.fi/tyokalualumiinit.html>

Valmet Oy. 1985. Raaka-ainekäsikirja 3. Kuparit-kevytmetallit. 1.
painos. Tampere: Satapaino.

Vesämäki, H. 2007. Lastuavan työstön NC- ohjelmointi. 3. painos.
Helsinki: Kopio- Niini Oy.

Vossi Oy. Ei päiväystä. [www-sivusto]. [Viitattu 29.3.2010].
Saatavana:http://www.vossi.fi/vaihtokoneet/avarruskoneet/kuvat/tos_wnh138_2.png

LIITTEET

Liite 1. Kyselykaavake

Liite 2. Työkalujen vertailutaulukko

Liite 3. Työkalujen pintakäsittelyt ja pinnoitteet

LIITE 2. Työkalujen vertailutaulukko (Mölsä, Rissanen, Rantanen 2010.)

NYKYISET

Pora 8.5mm

	rpm	mm/min	fz	€
Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS+TiN	1236	123	0.05	3.80 €

V.jyrsin 4mm

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	2757	165	0.03	6.40 €

V.jyrsin 10mm

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	1155	151	0.065	9.15 €

V.jyrsin 20mm

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	576	72	0.063	24.25 €

K.upotin 25mm

3- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	500	100	0.07	37.00 €

Edullisin hinta

Keskiv. Hinta

Kallein hinta

Yht.

80.60 €

TYÖKALUKESKUS

Pora 8.5mm

	rpm	mm/min	fz	€
Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS+TiN	1125	337	0.15	3.80 €
HSS EX+TiN	1550	682	0.22	19.00 €
Kovametalli	4800	2016	0.21	40.00 €

V.jyrsin 4mm

2- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	2200	55	0.01	6.40 €
Tank-Power	3400	155	0.02	13.00 €
X-Power	7560/6000	300/240	0.02	31.00 €

V.jyrsin 10mm

2- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	900	90	0.05	9.15 €
Tank-Power	1700	230	0.07	22.00 €
X-Power	3260	280	0.043	59.00 €

V.jyrsin 20mm

2- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	450	90	0.1	24.25 €
Tank-Power	750	145	0.09	59.00 €
X-Power	1680	170	0.05	223.00 €

K.upotin 25mm

3- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS	380	170	0.15	37.00 €
HSS+TiN	450	200	0.15	73.00 €

Edullisin hinta

Keskiv. Hinta

Kallein hinta

Yht.

80.60 €

150.00 €

426.00 €

CRONVALL**Pora 8.5mm**

Materiaali	rpm P.nopeus	mm/min Syöttö	fz H.syöttö	€ Hinta
HSS	1385	554	0.2	3.85 €
Kovametalli	4000	1280-1920	0.16-0.24	23.40 €
Kovametalli	9400/6000	6580/4200	0.35	118.56 €

V.jyrsin 4mm

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
Kovametalli	11940/6000	480/240	0.02	9.80 €
Kovametalli	13850/6000	500/215	0.018	41.25 €
Kovametalli	11940/6000	525/264	0.022	43.30 €

V.jyrsin 10mm

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
Kovametalli	7960/6000	800/600	0.05	18.40 €
Kovametalli	9460/6000	2100/1332	0.111	69.50 €
Kovametalli	7960/6000	1115/840	0.07	93.30 €

V.jyrsin 20mm

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
Kovametalli	2390	480	0.1	75.00 €
Kovametalli	3455	820	0.119	95.30 €
Kovametalli	2700	650	0.12	280.10 €

K.upotin 25mm

3- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
HSS- E	950	285	0.1	32.50 €
Kovametalli	1900	570	0.1	151.80 €

Edullisin hinta

Keskiv. Hinta

Kallein hinta

Yht.

139.55 €

261.95 €

568.50 €

TERÄSKONTTORI

Pora 8.5mm

Materiaali	P.nopeus rpm	Syöttö mm/min	H.syöttö fz	Hinta €
MNS0850S-DIN-C	5620	3370	0.3	97.50 €

V.jyrsin 4mm

3- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
AM2MRD0400A075	20000/6000	1200/360	0.02	33.00 €

V.jyrsin 10mm

3- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
AM2MRD1000A060	15000/6000	4000/1620	0.09	62.00 €

V.jyrsin 20mm

3- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
AM2MRD2000A100	8000/6000	3800/2880	0.16	254.00 €

K.upotin 25mm

3- leik.

Materiaali	P.nopeus	Syöttö	H.syöttö	Hinta
E6819 90°	380	170	0.15	37.50 €

Edullisin hinta

Keskiv. Hinta

Kallein hinta

Yht.

484.00 €

LIITE 3. Työkalujen pintakäsittelyt ja pinnoitteet (Dormer Oy.)



Yleistietoa

PINTAKÄSITTELYT



Höyrypäästö

Höyrypäästössä syntyy työkalun pinnalle musta, huokoinen oxidikerros, joka tehostaa voitelua ja vähentää irtosärmän muodostumista. Käsittelyn aikana työkalusta poistuu sisäisiä, hionnassa syntyneitä, jännityksiä. Kaikki kirkkaat työkalut voidaan höyrypäästää, mutta yleensä käsittely tehdään vain porille ja kierretapeille.



Pronssi

Pronssipinta on ohut oxidikalvo, joka tehdään usein koboltti- ja vanadiiniseosteisten pikaterästyökalujen pinnalle.



Nitraus (FeN)

Nitraamalla saadaan pikaterästyökaluille kova musta pinta, joka parantaa kulumiskestävyyttä. Käsittely sopii erityisesti hiovien aineiden, kuten esim. valuraudan ja bakeliitin, työstöön tarkoitetuille kierretapeille. Nitraamalla voidaan parantaa myös porien ohjausreunojen kulumiskestävyyttä.



Kovakromaus (Cr)

Kovakromaamalla työkalun pinnan kovuudeksi voidaan saada jopa 68 Rc. Käsittely sopii erityisesti rakenne- ja hiiliteräksien, messingien, kuparien ja seostettujen kuparien kierteitykseen tarkoitetuille kierretapeille.

PINNOITTEET



Titaaninitridi (TiN) pinnoite

TiN on kullanvärinen PVD-menetelmällä tuotettu keraaminen pinta. TiN-pinta on kova ja liukas. Se vähentää irtosärmän muodostumista ja parantaa kulumiskestävyyttä. Pinnoittamattomaan työkaluun verrattuna voidaan lastuamisnopeutta nostaa tai saavuttaa huomattavasti pidempi elinikä. TiN-pinnoitusta käytetään lähinnä porien ja kierretappien pinnoitteena.



Titaanicarbonitridi (TiCN) pinnoite

PVD-menetelmällä tuotettu tumma TiCN-pinta on ohuempi ja kovempi kuin TiN-pinta ja sen kitkakerroin on pienempi. TiCN-pinnoitteen ominaisuudet, kovuus, sitkeys ja kulumiskestävyys, tekevät siitä erityisen sopivan jyrsimien pinnoittamiseen.



Titaanialumiininitridi (TiAlN) pinnoite

TiAlN on PVD-menetelmällä tuotettu keraaminen monikerros-pinnoite, joka parantaa työkalun kovuutta, sitkeyttä ja lämmönsietokykyä. TiAlN-pinnoitetut työkalut ovat sopivia suurille työstöarvoille ja samalla voidaan saavuttaa pitkä elinikä. TiAlN-pinnoite sopii porien ja kierretappien pinnoitteeksi ja sitä suositellaan erityisesti kun halutaan työstää kuivana.



TiAlN - X pinnoite

TiAlN – X on Titaanialumiininitridi-pinnoite, jonka alumiinipitoisuutta on lisätty. Korkea Al-pitoisuus parantaa kovuutta ja sitkeyttä ja sallii erittäin korkean työstölämpötilan. TiAlN-X on ihanteellinen pinnoite jyrsimille, joilla aiotaan työstää kuivana tai kovia aineita.



Krominitridi (CrN) pinnoite

CrN-pinnoitetut työkalut sopivat erittäin hyvin seostettujen alumiinien ja niukkaseosteisten teräksien työstöön. Niitä voidaan käyttää myös seostettujen titaanien ja nikkeliä työstöön. CrN-pinnoite vähentää irtosärmän muodostumista.



Super-R (Ti, C, N) pinnoite

SUPER-R sopii erityisesti jyrsimien pinnoittamiseen. Sen sisäiset jännitykset ovat erittäin pienet, se on sitkeä ja kestää kulumista. Pinnoitteella on korkea hapettumislämpötila, joten se kestää hyvin myös korkeita työstölämpötiloja.



Super G (AlCrN) pinnoite

Super G on alumiinikrominitridi-pinnoite, jolla pinnoitetaan pääasiassa jyrsimiä. Pinnoitteen kuumakovuus ja korkea hapettumislämpötila ovat sen tärkeimmät ominaisuudet. Kun työstöolosuhteissa syntyy suuria mekaanisia ja lämpöjännityksiä, muuntuvat nämä voimat erittäin hyväksi kulumiskestävyydeksi.



Zirconiumnitridi (ZrN) pinnoite

ZrN on PVD-menetelmällä tuotettu keraaminen pinnoite. Siinä yhdistyvät korkea hapettumislämpötila ja alhainen kitkakerroin. ZrN-pinnoitetut kierretapit sopivat hyvin alumiinien ja seostettujen alumiinien kierteilykseen.



Dialub (Timantinkaltainen pinnoite, DLC)

Dialub on amorfinen timanttipinnoite, jolla on erittäin pieni kitkakerroin ja suuri kovuus. Tämä suomalainen pinnoite on kehitetty erityisesti alumiinien ja vähän seostettujen alumiinien kierteilykseen ja ruostumattomien teräksien poraukseen.



Super B (TiAlN+WC/C) pinnoite

Super B-monikerrospinnoitettuja työkaluja käytetään kovaan työstöön ja ne ovat erittäin käyttövarmoja. Pinnoitteen pieni kitkakerroin ja suuri kovuus tekevät siitä sopivan vaikeasti työstettävien ja pitkäeläisten aineiden, esim. ruostumattomien ja haponkestävien teräksien työstämiseen.



Timantti

Kiderakenteista timanttipinnoitetta käytetään erityisesti grafiitin ja raudattomien aineiden työstämiseen tarkoitettujen työkalujen pinnoitteena. Pinnoite parantaa dramaattisesti työkalun kovuutta ja kulumiskestävyyttä. Timanttipinnoitetta käytetään vain täyskovametallityökalujen ja erityisesti jyrsimien pinnoitteena.