

5-akselinen koneistuskeskus hammaspyörävalmistuksessa

Kokonaiskoneistuksen käyttöönotto

Jussi-Matti Hannula

Opinnäytetyö
Tammikuu 2012
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

JUSSI-MATTI HANNULA:

5-akselinen koneistuskeskus hammaspyörävalmistuksessa
Kokonaiskoneistuksen käyttöönotto

Opinnäytetyö 32 sivua, josta liitteitä 3 sivua
Syyskuu 2012

Tämä opinnäyte on Ata Gears Oy:n tilaama selvitys uuden koneistuskeskuksen käyttöönottoon liittyvistä seikoista keskittyen akselimaisten kaarevahampaisten kartiohammaspyörien kokonaiskoneistukseen. Sen tarkoituksena oli dokumentoida käyttöönotossa ilmenneet ongelmat, ja tavoitteena selvittää ratkaisut näihin ongelmiin. Ongelmia tiedettiin tulevan sekä vaiheistuksen, suunnittelun että menetelmien parissa. Näihin kuuluivat niin vaiheistetun kappaleen vaihdeltavuus muiden viimeistelymenetelmien kanssa, vaatimukset pehmeäkoneistusmuodoilta kuin tiettyjen työvaiheiden menetelmien uudelleensuunnittelu vastaamaan ja tukemaan kokonaiskoneistuksen vaatimuksia ja etuja. Työn tekijä oli tiiviisti mukana uuden koneistuskeskuksen käyttöönotossa.

Opinnäytetyön aikana käytiin suunnittelun kanssa läpi sen vaatimat tarpeet ja sovittiin pelisäännöistä kokonaiskoneistettavien kappaleiden suunnittelussa. Työn aikana suunniteltiin uusi kiinnitystyökalu koitoskoneeseen. Siinä selvitettiin myös tuotannonsuunnittelun näkökulma kokonaiskoneistuksen käyttöönottoon.

Opinnäyte antaa tarkan kuvauksen sekä vanhasta että uudesta työvaiheistuksesta ja niiden vaihtoehtoisista toteutustavoista. Se alleviivaa työn menetelmien tarkkaa suunnittelua alusta loppuun ennen koneistusten aloittamista. Tärkeänä pidetään kaikkien suunnittelun ja valmistuksen portaiden yhteistyötä työn toteutuksen suunnittelussa.

Opinnäytetyön liitteet on tilaajan vaatimuksesta julistettu salaisiksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems

JUSSI_MATTI HANNULA
5-axis Machining Centre in Gearproduction
Implementing One-phase Machining

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 3 pages
September 2012

This thesis concerns implementing 5- axis machining in manufacture of spiral bewel gears. It specifies problems encountered during start-up of new machine and process. This thesis can be used as code of practice in execution of one-phase machining.

Thesis analyzes pros and cons of one-phase machining of pinion. Impacts of these are dealt from viewpoint of design, production scheduling and manufacturing.

Specific problems are dealt with more profound manner. One of these is the testing of gears, which had to have a new tool designed.

This thesis underlines close co-operation between all stages of production from design to manufacturing the part. It can be used in this particular project but also in other similar projects.

Author of the thesis has worked closely on launch-phase of the new machine and methods, and all conclusions are based on practice.

Key words: spiral, bewel, gear, 5-axis

SISÄLLYS

1	ERITYISSANASTO	5
2	JOHDANTO.....	6
3	YRITYSESITTELY	7
4	TUOTTEEN ESITTELY JA NYKYISET MENETELMÄT	8
4.1	Tuotteen esittely.....	8
4.2	Nykyinen työvaiheistus ja työvaiheiden esittely	10
4.2.1	Sahaus ja aihionlaskenta	10
4.2.2	Pehmeäsorvaus.....	10
4.2.3	Pehmeähammastus	10
4.2.4	Karkaisu	11
4.2.5	Kovatorvaus.....	11
4.2.6	Kovaporaus	11
4.2.7	Uritus kovana ja urituksen mittaus.....	11
4.2.8	Ohjauksen hionta.....	12
4.2.9	Kovahammastus	12
4.2.10	Viimeistelysorvaus.....	13
4.2.11	Pyöröhionta	13
4.2.12	Profiilimittaus, magnaflux, lopputarkastus ja luokitus	14
4.3	Nykyisten työvaiheiden heikkoudet.....	14
4.3.1	Heikkoudet työstämisen kannalta	14
4.3.2	Laatunäkökulma.....	15
4.3.3	Läpimenoaika ja tuotannonohjaus.....	15
5	UUSI TYÖSTÖKESKUS: OKUMA MULTUS.....	17
5.1	Koneen käyttötarkoitus Atassa	17
5.2	Tarkkuus	18
6	SUUNNITTELU	19
6.1	Nykyisten työvaiheiden vaatimat piirteet	19
6.2	Pehmeäkoneistusvaiheet	19
6.3	Uusi menetelmä	20
6.4	Vaiheistusmuutokset.....	20
6.4.1	Vaiheistusvaihtoehto 1	20
6.4.2	Vaiheistusvaihtoehto 2.....	21
7	KOITOS	23
7.1	Kiinnitys hammastuskoneeseen	23
7.2	Uuden vaiheistuksen luoma ongelma	23
7.3	Uuden koitosholkin suunnittelu	24
7.3.1	Pinnoitus.....	24
7.3.2	Vaihtoehtoinen holkkimateriaali.....	24
7.3.3	Polyamidiholkki	25
7.3.4	Koitoskoneet	26
8	POHDINTA.....	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET	29
	Liite 1. Työpiirustus, esimerkkipinioni	30
	Liite 2. Kokoonpanokuva koitosmenettelystä	31
	Liite 3. Polyamidiholkki, piirustus	32

1 ERITYISSANASTO

pinioni	akselimainen, hammaspyöräparin vähemmän hampaita käsittävä osa
HPG	High Precision Gearing, hampaan viimeistelymenetelmä
Ata	Ata Gears Oy, opinnäytteen tilaaja
5-akselinen	koneistuskeskus, jossa on viisi eri liikeakselia
C-akseli	koneistuskeskuksen kappaletta pyörittävä akseli
magnaflux	magneettijauh tarkastus
koitos	hammaspyöräparin hammastusten yhteensopimisen varmistaminen

2 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata 5-akselisen koneistuskeskuksen käyttö kaarevahampaisen kartiohammaspyöräparin pinionin valmistuksessa. Lisäksi tarkoituksena oli koneen ylösajon aikana havaittujen ongelmien dokumentointi ja ratkaisujen etsiminen näihin ongelmiin.

Tavoitteena oli tuottaa kattava selvitys 5-akselisen koneistuskeskuksen eduista ja ongelmista erittäin erikoistuneessa kappalevalmistuksessa. Tämä opinnäytetyö listaa sekä suunnittelun, valmistuksen että tuotannonohjauksen kannalta niitä etuja, haittoja ja huomioonotettavia seikkoja ratkaisuihin, mitä selvitystyön aikana on käynyt ilmi.

Työ toteutettiin seuraamalla tiiviisti koneen käyttöönottoa ja osallistamalla prosessin ylösajoon henkilökohtaisesti. Ilmenneet ongelmat dokumentoitiin ja niille etsittiin ratkaisuja laaja-alaisesti.

Tämä opinnäytetyö antaa ehdotuksia ongelmien ratkaisuun ja sitä voidaan käyttää tuotannon kehittämiseen sekä kyseessäolevalla työstökeskuksella että tulevaisuudessa mahdollisissa samanlaisissa hankkeissa. Se ei kuitenkaan toimi suoranaisena, kirjaimellisena ohjeena.

Kaikki tässä työssä ilmikäyvä tieto perustuu opinnäytteen laatijan omaan havainnointiin, ellei erikseen ole muuta mainittu.

3 YRITYSESITTELY

ATA Gears Oy on vuonna 1937 perustettu tamperelainen perheyritys. Vuosien saatossa se on useilla konepajateollisuuden osa-alueilla ja valmistanut tuotteita autojen varaosista lumiauroihin. Jo ensimmäinen kokonaisen vuoden toimintakertomus vuodelta 1938 mainitsee kuitenkin yhdeksi keskeiseksi tuotteeksi hammaspyörät. Tehdas sijaitsi alkuun Sorinahteella mutta koska puolustusvoimat oli alusta asti ollut Atan vakioasiakkaita, siirrettiin tehdas sodan uhan alta silloisen Teiskontien varteen. Myöhemmin kyseistä aluetta alettiin kutsua Atalaksi.

Jo vuonna 1942 Ata sai ostettua Saksasta ensimmäisen hammaspyöräjärsinkoneen, ja muutamaa vuotta myöhemmin toisen hammastuskoneen. Tästä eteenpäin Atan tuotanto suuntautui entistä voimakkaammin hammaspyörrien valmistamiseen.

70-luvun puolivälissä Atan liikevaihdosta jo puolet tuli vientikaupasta. Tähän oli päästy muuttamalla yritys tuotantokeskeisestä asiakashakuiseksi ja investoimalla voimakkaasti uuteen tekniikkaan sekä työstökoneissa että lämpökäsittelyssä. 1980-luvun koittaessa Ata oli kansainvälistynyt ja tunnustettu sekä luotettu kartiovaihteiden toimittaja ympäri maailman. Nykyään Ata toimittaa hammaspyöriä kaikille mantereille (Korhonen 1987, 6 – 8, 14, 39) .

Seuraavat vuosikymmenet Ata on jatkanut investointeja sekä konekantaan että uusiin tuotantotiloihin, viimeisimpänä 5-akselitekniikan käyttöönotto hammaspyörrien valmistuksessa vuonna 2007 ja Hautalankadun verstaan käyttöönotto vuonna 2009.

Nykyään Ata Gears valmistaa 13 000 hammaspyöräparia vuodessa. Näistä 70% viedään ulkomaille ja 68% toimitetaan meriteollisuuteen, loput erilaisiin teollisuussovelluksiin kuten kaivoslaitteisiin. Liikevaihto vuonna 2011 oli 43 miljoonaa euroa ja henkilökuntaa töissä oli 190 henkeä. Ata Gears on Det Norske Veritaksen ISO 9001 luokittama toimija (Ata Gears strategiakirja 2012).

4 TUOTTEEN ESITTELY JA NYKYISET MENETELMÄT

4.1 Tuotteen esittely

Ata Gears Oy valmistaa kaarevahampaisia kartiohammaspyöräpareja lähinnä laiva- ja ajoneuvoteollisuuden sekä yleisen koneenrakennusteollisuuden tarpeisiin. Hammaspyörät valmistetaan aina pareittain, jotta tarvittava tarkkuus hampaiden kosketuspinnolle täyttyy. Pariin kuuluu osina lautanen, eli hammaspyörä jonka hammasluku on suurempi sekä pinioni, akselimainen hammaspyörä, jonka hammasluku on vastaavasti pienempi (kuva 1).

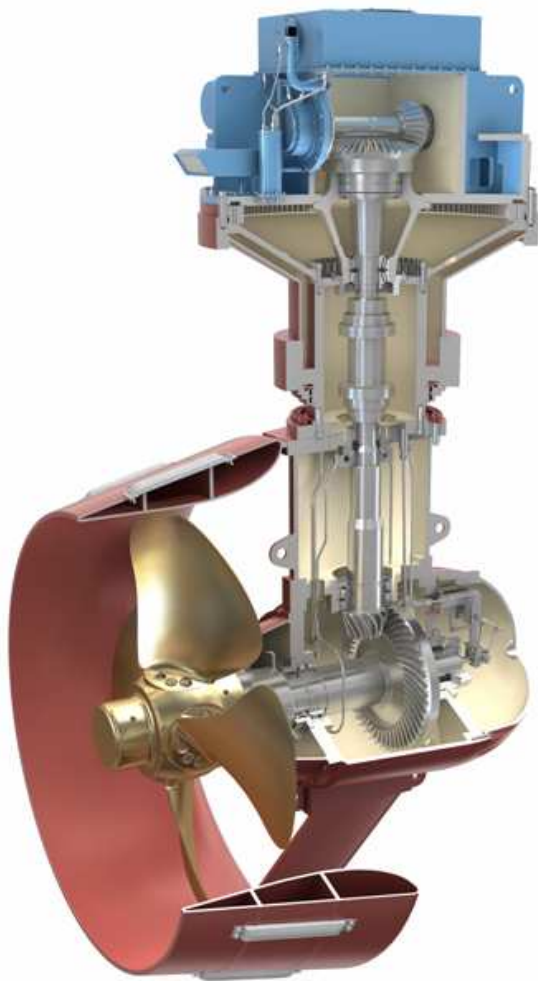


KUVA 1. Kaarevahampainen kartiohammaspyöräpari

Erikoistapauksissa yhtä lautasta kohti voidaan valmistaa myös kaksi tai useampia pinioneita tai pinionia kohden useampia lautasia.

Hammasgeometria määräytyy käyttökohteen mukaan ja se optimoidaan käyttökohteen olosuhteiden mukaan. Näin voidaan valmistaa mahdollisimman hyvin asiakkaan tarpeita vastaava tuote, jonka lujuusominaisuudet, kuorman aiheuttamien voimien suunnat ja erikoisvaatimukset kuten käytön aiheuttama melu voidaan räätälöidä kohteeseen sopivaksi. Kaarevahampaisia kartiohammaspyöriä käytetään sovelluksissa, joissa vaihteen on vaihdettava voiman pyörimisliikkeen suunta (kuva 2).

Koska suurin osa valmistettavista hammaspyöristä on tarkoitettu meriteollisuuden käyttöön, tarvitaan näille tuotteille luokitusmenettely. Tämän vaativat kaikki meriteollisuudessa voimaa välittävät osat, tyypiesimerkkinä kulmavaihteet eli kartiohammaspyörät. Luokitusprosessiin kuuluu lähinnä dokumentoinnin kuten materiaalitodistuksien ja mittauspöytäkirjojen tarkistuksia. Luokituksen tekee yleensä ulkopuolinen luokittaja, pois lukien Det Norske Veritas, jonka luokitus on lupa tehdä talon sisäisen, luokituslaitoksen auditoiman henkilön toimesta. Luokitusmenettelystä johtuen mm. luokitettavien hammaspyörien materiaalit testataan sulatekohtaisesti.



KUVA 2. Kaarevahampaisen kartiohammaspyöräparin käyttökohde, kuvassa kaksi hammaspyöräparia

4.2 Nykyinen työvaiheistus ja työvaiheiden esittely

Koska tässä insinööriytyössä tullaan käsittelemään pääasiassa pinionin valmistusta, esitellään seuraavassa pinionin valmistuksen työvaiheet. Tarkemmin käsittelyn kohteena on Ata Gears Oy:n pinionityö joka on kooltaan Ø417x2857mm (liite 1). Kyseinen pari on Atan Ø1100-Ø3000 linjan työ. Lautaspyörän vaiheketju on samankaltainen, kuitenkin usein lyhyempi eli harvempia vaiheita käsittävä. Kaikki havainnot on tehty seuraamalla kutakin vaihetta käytännössä toteutettuna.

4.2.1 Sahaus ja aihionlaskenta

Pinionin valmistus aloitetaan sahauksella, jolloin Pälkäneellä toimiva materiaaliosasto sahaa terästangosta tarvittavan mittaisen aihion. Usein tämä työvaihe kuitenkin korvautuu aihionlaskentavaiheella, jossa tarvittava materiaali siirtyy järjestelmästä työkohtaiseksi. Aihionlaskentavaiheen kappale käy läpi mikäli kappale valmistetaan määräkokoiseksi taotusta aihioista, kuten suuremmilla kappaleilla yleensä tapahtuu. Kyseessäolevan pinionin tapauksessa aihio on materiaalitoimittajan taottu ja rouhintasorvattu aihio ja vaihe on aihionlaskenta.

4.2.2 Pehmeäsorvaus

Sahauksen tai aihionlaskennan valmistuttua kappale sorvataan alustavaan muotoonsa. Tässä vaiheessa jätetään vielä melko paljon varoja karkaisusta aiheutuvien muodonmuutosten poistamiseksi. Ata Gears pehmeäsorvauttaa suuret pinionit yleensä alihankinnassa. Pehmeäsorvauksessa kappaleeseen jätetään myös tulevan hammastuksen vaatimat apumuodot, kuten hammastuskaulat ja lukkourat.

4.2.3 Pehmeähammastus

Kun kappaleen alustava muoto on valmistettu, siirtyy kappale hammastuskoneelle. Tämä tehdään Atassa joko palloidi- tai syklopalloiditekniikalla, jossa vierintäjyrsimällä avataan hammastus kappaleeseen, tai 5-akselitekniikalla kuten kyseiselle pinionille tehdään, jossa hammastus avataan 5-akselisessa koneistuskeskuksessa. Tämän

valmistuttua kyseisen pinionin hammastuksen profiili mitataan 3D-mittakoneella ja jyrännästä aiheutuneet purseet hammastuksen päissä ja reunoilla poistetaan.

4.2.4 Karkaisu

Pehmeävaiheiden ollessa valmiit siirtyy kappale hiilletyskarkaistavaksi. Kun kyseessä on näin suuren kokoluokan työ on lähin sopiva karkaisulaitos Saksassa. Karkaisu aiheuttaa kappaleeseen vääntymiä, soikeutta ja mittamuutoksia lämmönvaihteluista johtuen, ja tästä syystä edeltävässä pehmeäSORVauksessa jätettiin kappaleen pintaan ylimääräistä varaa.

4.2.5 Kovasorvaus

Karkaisussa aiheutuvia vääntymiä ja soikeutta sekä keskeisyysmuutoksia poistetaan sorvaamalla kappaletta kovasorvausvaiheessa. Tässä vaiheessa poistetaan pehmeänä jätettyjä varoja ja sorvataan kappaleen lopullinen muoto esiin lukuunottamatta tarkaksi hiottavia kauloja, joihin jätetään tarvittava hiontavara. Kyseiselle kappaleelle kovasorvaus tehdään alihankintana.

4.2.6 Kovaporaus

Seuraava vaihe on poraus, jossa pinioniin porataan öljyporaukset ja valmistetaan takapään kierrereiät. Vaikka työvaihe on poraus, se tehdään nykyaikaisten työstömenetelmien mahdollistamana esimerkiksi aarporan sijaan sorvilla. Tässä tapauksessa poraukset tehdään alihankintana kovasorvauksen yhteydessä.

4.2.7 Uritus kovana ja urituksen mittaus

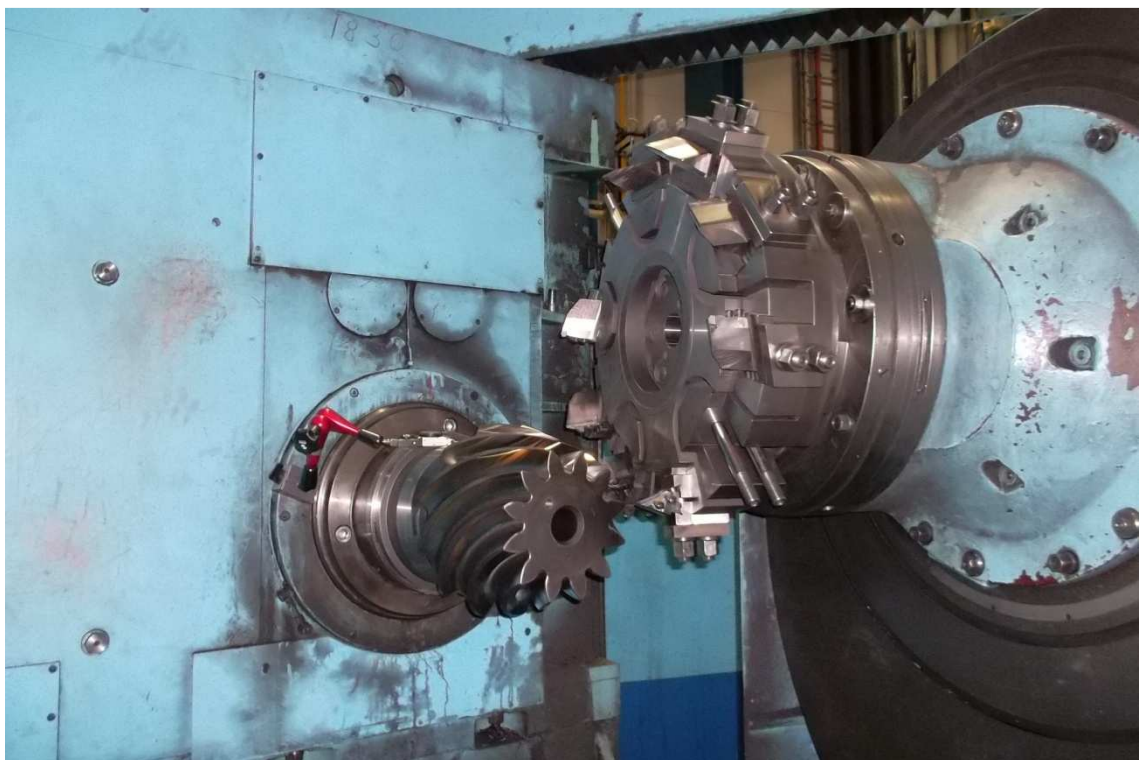
Takapään uritus on nykyään myös sorvilla tehtävä vaihe. Joitain urituksia joudutaan tekemään uranveto- tai –pistokoneella normaalista poikkeavien geometrioiden vuoksi, näihin kuuluvat muun muassa harvinaisemmat tuumamitoitusta käyttävät uritukset. Tässä tapauksessa uritus tehdään kovaan eli karkaistuun materiaaliin pyörivillä työkaluilla, ja se mitataan valmistuksen jälkeen kordinaattimittauskoneella.

4.2.8 Ohjauksen hionta

Tämän jälkeen pinioni siirtyy hiomakoneelle, jossa hiotaan ohjaus ja kellopinnat kovahammastusta varten. Näistä pinnoista otetaan ohjaus ja varmistetaan kappaleen keskilinjan samankeskeisyys hammastuksen kanssa. Vaikka työvaihe on nopea, sen onnistuminen on elintärkeää hammaspyörän valmistuksen kannalta hammastuksen ja muiden pintojen keskinäisen samankeskeisyyden varmistamiseksi.

4.2.9 Kovahammastus

Seuraavaksi pinioni siirtyy kovahammastukseen, jossa viimeistellään hammastus tarkkaan mittaansa. Tämä tehdään AMK 1604- mallisella HPG-hammastuskoneella. HPG-hammastuksessa hampaan pinta viimeistellään samalla periaatteella kuin syklopalloidi-pehmeähammastuksessa joka on esitelty edellä. Erona on terägeometria ja lastuamisarvot, jolloin ilman lastuamisnestettä erittäin ohuita, tikkumaisia lastuja irrotetaan hitaasti hampaan pinnalta (kuva 3). Tämä aikaansaa peilimäisen pinnan, joka on erittäin mittatarkka ja omaa erittäin hyvän pinnanlaadun.



KUVA 3. HPG-hammastus käynnissä

Tässä vaiheessa pinioni paritetaan lautasensa kanssa ja parille tehdään koitos. Koitos tarkoittaa hammaspyörien pyörittämistä toisiaan vasten jolloin hampaat koitosmaalilla maalaamalla saadaan selville ns. kosketuskuvion oikeellisuus (kuva 4). Hammastusta voidaan tarvittaessa korjata ottamalla muutamia lastuja lisää pois hampaan pinnalta.



KUVA 4. Kosketuskuvio koitoksessa

4.2.10 Viimeistelysorvaus

Kovahammastuksesta pinioni siirtyy viimeistelysorvaukseen, jossa poistetaan edellisen HPG-vaiheen vaatimat hammastuskaulat. Tässä vaiheessa avataan vielä lopulliset pinionin varressa olevat kierteet. Riippuen pehmeäsorvausmuodoista tällöin kiillotetaan öljyurat ja täsmätään mahdolliset asennusmittatoleranssit hammastuksen mukaan.

4.2.11 Pyöröhionta

Kappale siirretään pyöröhiomakoneelle joka valmistaa lopulliset tarkan toleranssin vaativat laakeri- ja tiivistyskaulat. Näiden toleranssivaatimus on yleensä h6, p6 tai r6 eli niiden tarkkuusvaatimukset ovat koosta riippuen toleranssialueella 0,02-0,05 mm. Tämä on erittäin pieni toleranssialue, sillä jo pienikin lämmönvaihtelu työstettäessä saattaa saada aikaan liian suuren epätarkkuuden.

4.2.12 Profiilimittaus, magnaflux, lopputarkastus ja luokitus

Kun ainetta irrottavat vaiheet ovat valmiina, tehdään kappaleelle vielä lopulliset mittaukset. Näihin kuuluu profiilinmittaus heti hammastuksen jälkeen koordinaattimittauskoneella, jossa hammasprofiili tarkastetaan vielä uudelleen, magnaflux eli magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastus joka paljastaa mahdolliset hiontahalkeamat ja säröt sekä lopputarkastus jossa tarkastetaan valmistuneen kappaleen mittatarkkuus. Lopuksi kappale luokitetaan, sillä kuten aiemmin on jo mainittu, meriteollisuuden voimaa välittävät osat sen aina vaativat. Luokituksen tekee ulkopuolinen luokittaja joka tarkastaa kappaleen dokumentoinnin oikeellisuuden mukaanlukien aineentestauspöytäkirjat ja ainetodistukset sekä tekee pistotarkastuksia kappaleen mitoille.

Lopuksi pinioni (ja lautanen) suojataan ja pakataan kuljetusta varten ja lähetetään asiakkaalle.

4.3 Nykyisten työvaiheiden heikkoudet

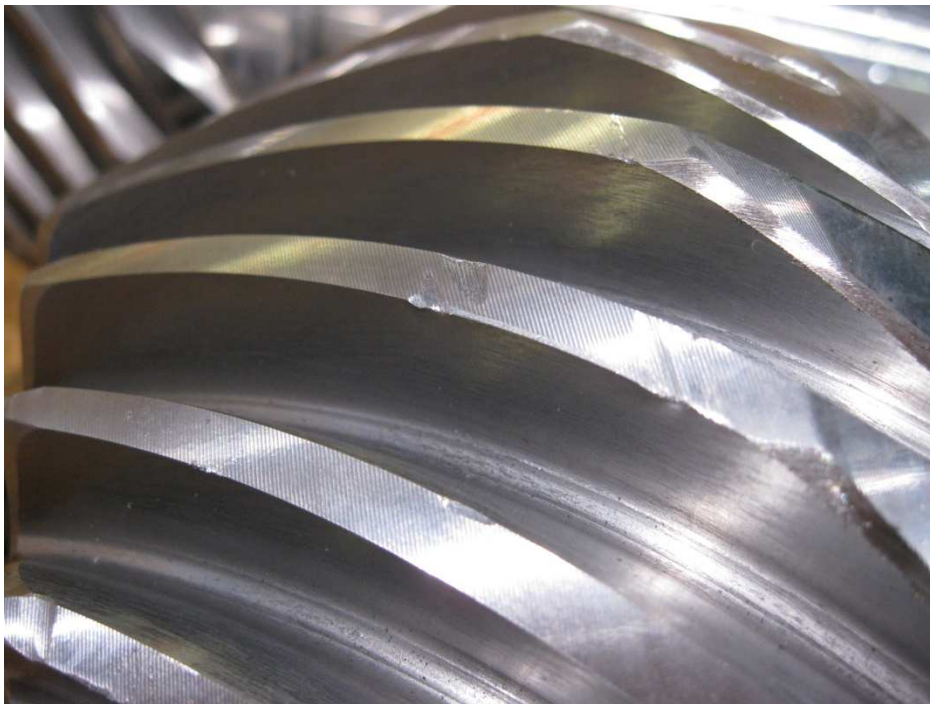
Nykyisen vaiheketjun vaiheiden runsas lukumäärä aiheuttaa ongelmia niin työstöön, laatuun kuin tuotannonohjaukseenkin. Niiden kuvaus onkin tärkeä vaihe kokonaiskoneistuksen hyötyjä tarkasteltaessa. Näitä ongelmia käsitellään seuraavassa tarkemmin.

4.3.1 Heikkoudet työstämisen kannalta

Nykyisen vaiheketjun vaiheiden runsas lukumäärä aiheuttaa runsaasti kiinnityksiä työstökoneisiin. Kun kappale kiinnitetään uudelleen, ei voida välttyä kiinnityskohdan muuttumiselta edelliseen kiinnitykseen nähden. Kun kappale kiinnitetään eri kohdasta, syntyy siihen jatkotyöstössä muotojen välisiä epäkeskeisyyksiä ja muita geometrisia poikkeamia. Pahimmassa tapauksessa tämä saattaa aiheuttaa työstövarojen loppumisen tarkasti toleroiduilta pinnoilta ja kappale joudutaan jopa hylkäämään kokonaan.

4.3.2 Laatumäkökulma

Siirrot työvaiheesta toiseen aiheuttavat myös laatueroja joita itse työstötapahetä ei aiheuta. Näihin kuuluvat nirhaumat, kolot ja muut kuljetuksessa aiheutuneet poikkeamat (kuva 5). Varsinkin tehtaiden ja alihankintavaiheiden välisissä kuljetuksissa aiheutuu usein tilanteita, joissa kappaleeseen on aiheutunut vähäisiä mutta laadun kannalta merkittäviä kosmeettisia virheitä. Näiden pienten virheiden korjaaminen hiomalla aiheuttaa kustannuksia ja usein joudutaan tekemään asiakkaalle kysely tuotteen kelpavuudesta tai mahdollisista muutoksista, joka aiheuttaa uskottavuusongelmia laaduntuottokyvyn suhteen. (Tapanila 2012)



KUVA 5. Kuljetuksessa aiheutuneita kolhuja hammaskartiolla.

4.3.3 Läpimenoaika ja tuotannonohjaus

Vaiheketjuun karkaisun jälkeisissä vaiheissa kuuluu 8 vaihetta. Tämä vaikuttaa kappaleen läpimenoaikaan huomattavasti, sillä optimistinen arvio läpimenoajan ja jalostavan koneajan suhteesta on n. 10%. Tämä on laskennallinen keskiarvo tuotannonohjausjärjestelmän mukaan jolloin ensimmäisen karkaisun jälkeisen vaiheen aloituspäivämäärää on verrattu viimeisen koneistusvaiheen toteutuneeseen lopetuspäivämäärään ja saatuun tulokseen on verrattu väliin jäävien vaiheiden kuitattujen konetuntien summaa. Tähän tulokseen aiheuttaa huomattavaa virhettä

kuittausten satunnainen epätasaisuus ja vaiheiden uudelleenkuittaukset esimerkiksi korjausten yhteydessä. Todelliseksi koneajan määräksi verrattuna läpimenoaikaan voidaan arvioida n. 3%. (Koppanen 2011 ja Kukkonen 2012) Voidaan siis todeta, että jos jokainen vaihe aiheuttaa vaatimaansa koneaikaan nähden yli 90% lisää aikaa odotusten ja siirtojen myötä, on pitkä vaihketju läpimenoaikaa huomattavasti pidentävä seikka.

Suuri vaiheiden lukumäärä vaikeuttaa myös tuotannonohjausta, sillä useiden töiden tullessa samalle koneelle tiettyyn vaiheeseen tulee koneen olla vapaana kyseiselle työlle. Kun tuotantokappaleiden vaihtelu on suurta, on ennustettavuus vaikeaa. Tämä taas vaikuttaa kaikkiin kyseisellä koneella koneistettaviin kappaleisiin. Myös vaihketjun työvaihetta edeltävät ja seuraavat vaiheet vaikuttavat vaiheen ajoitukseen.

5 UUSI TYÖSTÖKESKUS: OKUMA MULTUS

Työstökeskus, jonka vaiheistusta tässä opinnäytetyössä käsitellään, on merkiltään Okuma ja malliltaan Multus B750 (kuva 6). Kyseinen 5-akselinen monitoimisorvi on tarkoitettu akselimaisten kappaleiden koneistamiseen ja on samalla Okuman tuoteperheen suurin malli. Työstötarkkuus riittää hiontatoleranssien valmistukseen, ja koneen ominaisuuksiin kuuluvien pyörivien työkalujen ja 5-akselisen työstön tuomat mahdollisuudet ovat mittavia. 5-akselimenetelmillä hammasprofiili ei rajoitu perinteisiin palloidi- tai syklopalloidigeometrioihin.



KUVA 6. Uusi työstökeskus Okuma Multus B750

5.1 Koneen käyttötarkoitus Atassa

Konetta hankittaessa tarkoituksena oli hankkia sorvi, jolla voitaisiin yhdistää nykyään useisiin työvaiheisiin jakautunut pinionin kovaviimeistely yhteen kokonaiskoneistusvaiheeseen. Tähän vaiheeseen kuuluisivat kaikki tarpeelliset karkaisun jälkeen tehtävät koneistukset. Koska erilaisia muotoja sekä niiden

edellyttämiä vaiheita on mittava määrä, tulee työstökoneen olla kykenevä monipuolisiin liikeratoihin.

Näitä tarpeita vastaamaan hankitun työstökoneen 5-akselinen liikeavaruus ja pyörivät työkalut yhdistettynä ohjauksen useisiin vaihtoehtoihin olivat välttämättömyys. Edeltävistä seikoista johtuen koneella on mahdollista sorvata jopa hiontatoleransseja vaativat pinnat mutta tämän lisäksi tehdä poraukset, uritukset, kiilaurat sekä erityisesti hammastuksen viimeistely. Optimaalisessa tilanteessa voitaisiin siis yhdistää jopa 10 eri vaihetta ja samalla koneesta toiseen siirtoa yhdeksi kokonaiskoneistusvaiheeksi.

5.2 Tarkkuus

Koska kokonaiskoneistus kovana valmistaa kappaleiden viimeiset, erittäin tarkat mitta- ja pinnankarheusvaatimukset sisältävät muodot valmiiksi, tulee työstökoneen tarkkuuden ja menetelmien sopivuuden sekä toteutuksen olla korkealla tasolla. Tämä vaatii testausta ja ammattitaitoa myös käyttäjiltä.

Sorvausvaiheiden valmistamat laakerikaulat ja tiivistepinnat omaavat hammastuksen lisäksi tarkimmat pinnankarheus- ja mittatoleranssit. Tämä edellyttää tarkkaa menetelmäsuunnittelua ja testausta sekä työstöarvojen että teräpalojen osalta.

Hammastuksen geometriset vaatimukset täytetään CAM-ohjelmoinnin mahdollistamalla erittäin tiheällä työstöratapistelaskennalla sekä koneen C-akselin tarkkuudella.

Nämä vaatimukset pyritään täyttämään sorvaustyökierron muuttamisella siten, että koneeseen tallennetaan makroja joita varsinainen työstöohjelma kutsuu. Makro toimii siten, että viimeistelysorvaustyökierto kutsuu makron, johon on määritelty oma työkiertonsa. Makro sorvaa kappaleen pinnasta mittalastun, jonka jälkeen kone mittaa valmistuneen mitan. Tämän jälkeen makro korjaa mittaa tarvittaessa ja sorvaa viimeistelylastun työkappaleen pinnasta. Näin työkappaleen lämpiämisen, terän kulumisen ja muiden olosuhdemuutosten aiheuttama virhe pystytään minimoimaan. Vastaavilla menetelmillä voidaan varmistaa muidenkin muotojen valmistuminen vaadituiksi ja kuvan mukaisiksi.

6 SUUNNITTELU

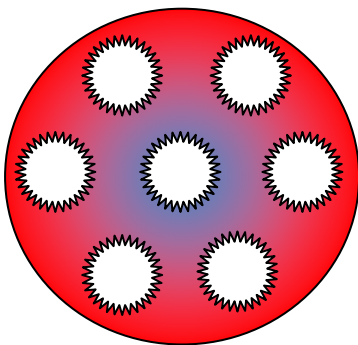
Siirryttäessä monivaiheisesta koneistuksesta kokonaiskoneistukseen on myös kappaleiden suunnittelussa otettava huomioon uuden menetelmän vaatimukset. Myös vanhat työvaiheet ovat vaatineet omat apumuotonsa, joista voidaan uuden menetelmän vuoksi ainakin osittain luopua.

6.1 Nykyisten työvaiheiden vaatimat piirteet

Selkeimmän eron uuden ja vanhan vaiheistuksen ja menetelmien välillä huomaa HPG-hammastuskoneiden vaatimien hammastuskaulojen kohdalla. Aiemmin kappaleeseen on sorvattu jo pehmeäkoneistuksessa ns. hammastuskaula eli ylimääräinen, lopputuotteesta poistettava muoto. Tämä kaula on mahdollistanut pinionin kiinnittämisen HPG-koneeseen hammastusholkkiin. Usein suuremmat pinionit on varustettu myös lukitusuralla, joka estää kappaleen pyörähtämisen holkin sisällä työstön aikana. Kappaleeseen hiotaan ennen kovahammastusta myös kellopintoja.

6.2 Pehmeäkoneistusvaiheet

Muodonmuutoksia tapahtuu karkaisussa käytännössä aina. Kappaleet taipuvat panoksessa johtuen epätasaisesta lämmityksestä ja jäähtytyksestä. Epätasaisuus johtuu muun muassa kappaleen asettelusta panokseen (kuvio 1), sillä panoksessa on useimmiten useita kappaleita, myös eri muotoisia. Lämpö ei tällöin saavuta kappaleita tasaisesti.



KUVIO 1. Pinionien asetteluesimerkki karkaisupanoksessa

Pehmeäkoneistuksessa kappaleeseen jätetään varoja sekä muodonmuutosten että hiilletysskerroksen poistoa varten. Joissain tapauksissa kappale saatetaan varren osalta suojamaalata haluttaessa pehmeämpi varren aine.

6.3 Uusi menetelmä

Koska pinionit on uuden menetelmän mukaan tarkoitus hammastaa kärkien välissä, ei em. hammastuskauloja ja lukituksia tarvittaisi. Tämä tulisi lyhentämään sekä pehmeä-että kovakoneistusaikaa.

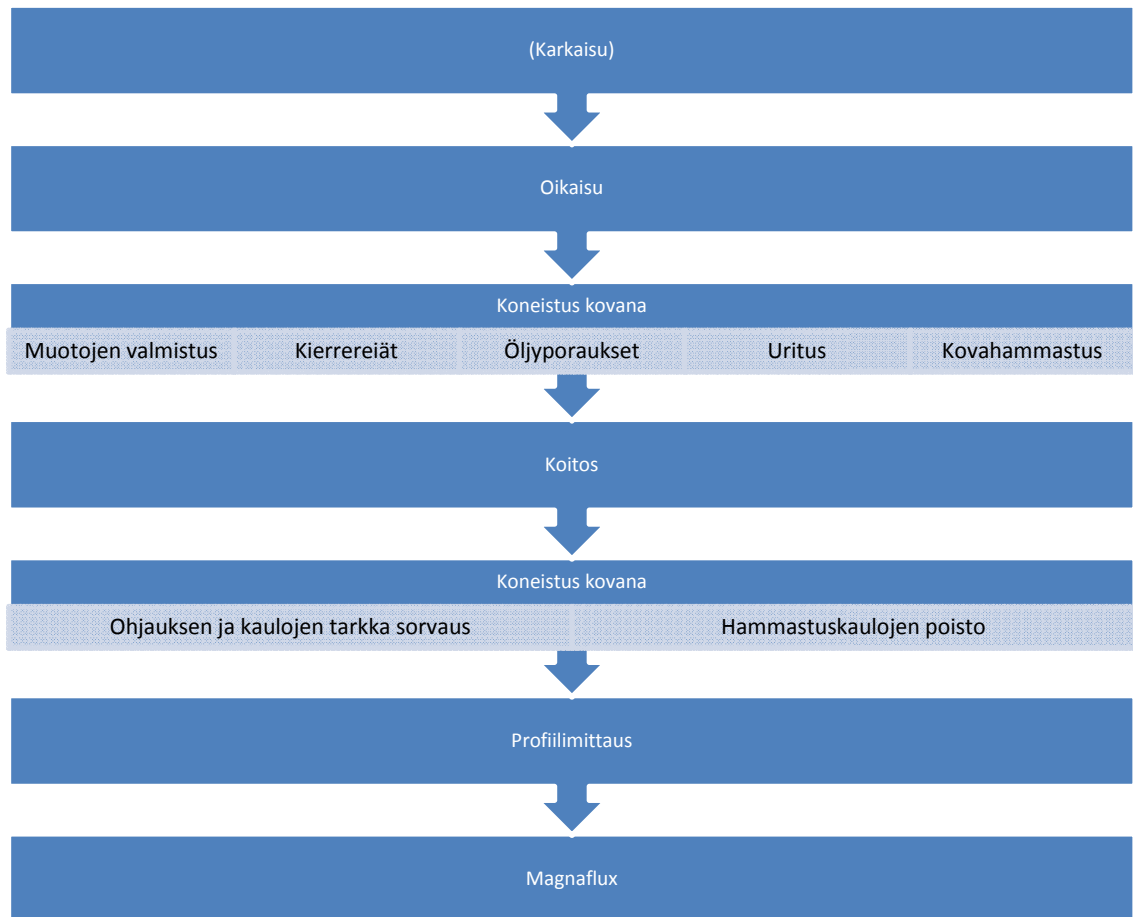
Työvarat kappaleessa taas aiheuttavat kovakoneistusvaiheissa ylimääräistä materiaalinpoistoa, eikä pitkävartisissa pinioneissa oikaisu tuota ongelmia samassa määrin kuin lyhyissä pinioneissa. Näin varoja voidaan vähentää, kuitenkin nimikekohtainen keskustelu tarpeellisuudesta tulee käydä. Asiakaskohtaisesti on myös keskusteltava siitä, voidaanko mitta- ja pinnankarheustoleroimattomat osat eli varren tiivistämättömät pinnat tehdä valmiiksi jo pehmeäkoneistuksessa.

6.4 Vaiheistusmuutokset

Uusi menetelmä luo tarpeen vaiheistuksen muutokselle. Uudessa vaiheistuksessa yhdistetään useita koneistusvaiheita yhdeksi kokonaiskoneistusvaiheeksi. Seuraavassa käsitellään kahta erilaista vaihtoehtoista periaatetta vaiheistuksen suunnittelemiseksi.

6.4.1 Vaiheistusvaihtoehto 1

Ensimmäinen vaihtoehto (kuvio 2) on tehdä kovasorvaus ja hammastus yhdellä kiinnityksellä. Tämän jälkeen pinioni irroitetaan koneesta ja sille tehdään koitos parinsa kanssa. Koituksen jälkeen kappale kiinnitetään uudestaan ja siitä sorvataan perinteisen HPG-hammastuksen ja koituksen vaatimat apumuodot pois ja viimeistellään tarkat kaulat lopulliseen mittaansa.

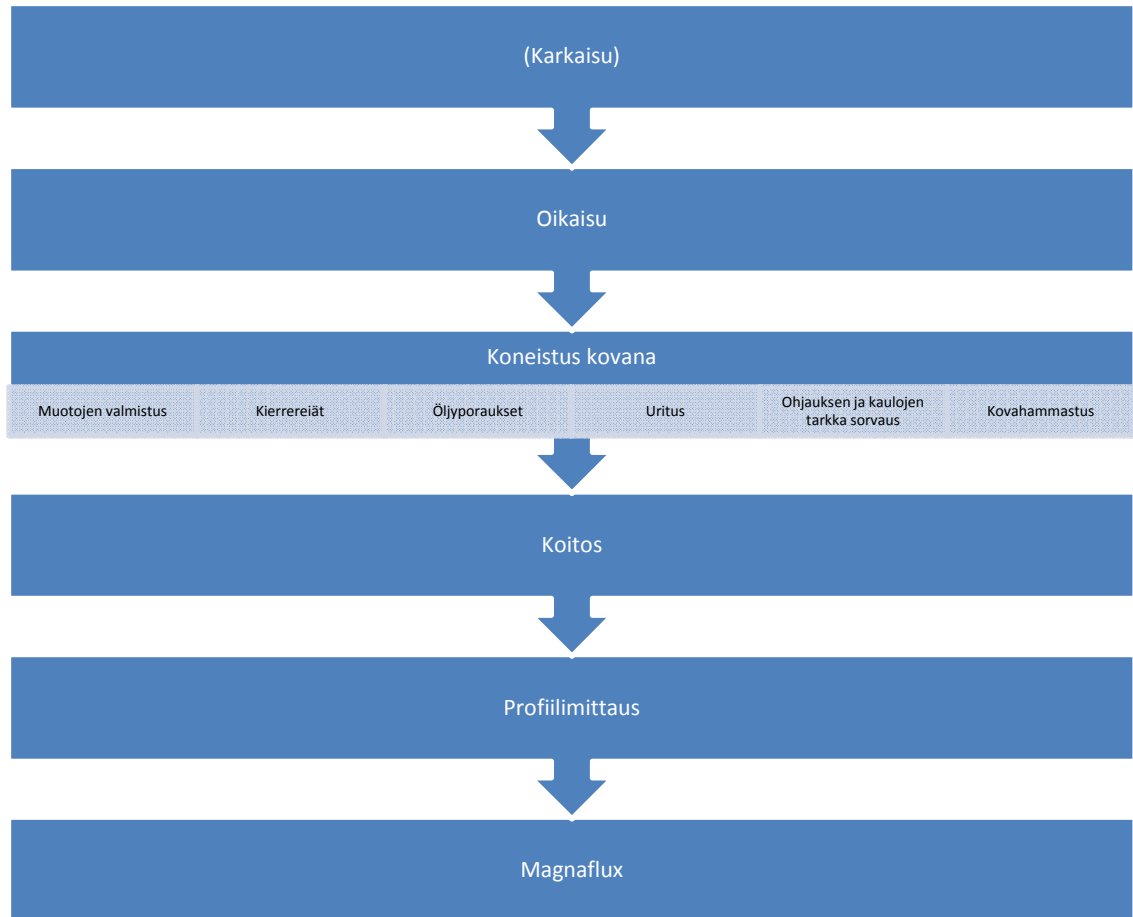


KUVIO 2. Vaiheistusesimerkki 1

Tässä vaiheistuksessa etuna on vaihdeltavuus uuden 5-akselisen hammastuksen ja perinteisen HPG-hammastuksen välillä. Kokonaiskoneistuksen täyteen hyötyyn ei kuitenkaan päästä välissä tapahtuvan uudelleenkiinnityksen myötä.

6.4.2 Vaiheistusvaihtoehto 2

Toinen vaihtoehto on täysi kokonaiskoneistus, jossa kaikki kovat koneistusvaiheet tehdään yhdellä kiinnityksellä (kuvio 3). Tällöin koneesta irroitus tapahtuisi vasta kappaleen ollessa täysin valmis, ja koitos tehtäisiin valmiille kappaleelle erikoismenettelyllä, josta lisää myöhemmin. Sulavan läpimenon lisäksi etuna on yhden kiinnityksen mahdollistama heitottomuus laakerikaulojen ja hammastuksen välillä. Perinteisen HPG-hammastuksen soveltaminen konerikon tai muun häiriön sattuessa olisi kuitenkin erittäin vaikeaa ellei mahdotonta.



KUVIO 3. Vaiheistusesimerkki 2

Valinta kahden vaiheistusvaihtoehdon välillä on suoritettava arvioimalla työkohtaisesti kumpi on tarkoituksenmukaisempi tapa tehdä jokin tietty tuotantotilaus tai nimike. Mikäli kappaleessa on pitkä kanuunaporaus tai jokin muu muoto, joka olisi tarkoituksenmukaista tehdä alihankinnassa, voidaan vaiheistusta nimikekohtaisesti muuttaa.

7 KOITOS

Kuten tässä työssä on aiemmin todettu, tehdään kaarevahampaiset kartiohammaspyörät aina pareina. Tämä johtuu prosessin vaikeasta ennustettavuudesta hammasprofiilin lopullisen muodon osalta. Jotta voidaan todeta hammastusten sopivuus pariinsa, tehdään jokaiselle valmistettavalle parille koitos. Koitos tehdään siihen erikoisesti valmistetussa koitokoneessa, jossa hammaspyöriä pyöritetään toisiaan vasten kuten lopullisessa käyttökohteessa. Hammastuskuvio todetaan maalaamalla hammas, jolloin vastakkain pyöritettäessä maali kuluu pois kosketuskohdasta ja näin muodostuvasta kosketuskuviosta voidaan analysoida hammastuksen oikeellisuutta. Mikäli kuvio ei ole halutunlainen, asennusmittoja muuttamalla voidaan kuvioon vaikuttaa. Jos kuvio on vieläkin ulkona toleranssista, joudutaan hammastusta korjaamaan hammastamalla sitä uudestaan.

7.1 Kiinnitys hammastuskoneeseen

Koska tässä opinnäytteessä keskitytään pinionin kokonaiskoneistukseen, ei lautaspyörän koitokseen ole tässä yhteydessä tarvetta ottaa kantaa.

Pinionin kiinnitys koitokoneeseen tapahtuu holkkien avulla. Koitokoneen sisällä on pyörivä karaputki, jonka etupäähän on kiinnitetty ns. perusholkki. Tämän perusholkin sisähalkaisijaa pienennetään pinionin kaulan mukaiseksi koitosholkeilla. Koitokoneen putken läpi kiinnitetään vetotanko pinionin takapäässä olevaan kierrereikään, ja sitä apuna käyttäen pinioni vedetään koitosholkkia vasten. Koitokoneen koitosholkit on normaalisti valmistettu karkaistusta hiilletysteräksestä.

7.2 Uuden vaiheistuksen luoma ongelma

Koska holkin aine ja pinionin aine ovat samat ja kovuudet hyvin lähellä toisiaan, naarmuttaa koitosholkki pinionin kaulaa. Tämä ei tuota ongelmia perinteisen vaiheistuksen kanssa, sillä koitosholkki on vasten myöhemmin poistettavaa hammastuskaulaa. Ongelma muodostuukin uuden kokonaiskoneistusvaiheistuksen myötä, sillä hammastuskaulaa ei enää koitoksessa ole. Viimeistellylle hiontatoleranssin

omaavalle kaulalle naarmuja ei enää saa tulla, joten karkaistun metalliholkin käyttö on poissuljettu vaihtoehto.

Karkaistu koitosholkki on lisäksi kallis valmistaa karkaisun ja hionnan myötä, joten niitä on teetetty vain määrätyille, portaittain eteneville halkaisijoille. Holkkien sisähalkaisijan mukaan on mitoitettu pinionin hammastuskaula. Kun standardoitua hammastuskaulaa ei ole, voi halkaisijavaihtoehtoja suurimmalle kaulalle olla erittäin lukuisa joukko johtuen asennuskohteiden mittavasta määrästä. Mikäli jokaiselle nimikkeelle jouduttaisiin valmistamaan oma holkkinsa, olisi kustannus erittäin suuri.

7.3 Uuden koitosholkin suunnittelu

Edellä mainittujen ongelmien takia koitokseen oli suunniteltava vaihtoehtoinen kiinnitysovellus. Tärkein vaatimus uudelle koitosholkille oli naarmujen syntymisen estäminen säilyttäen kiinnityksen tukevuus.

Aluksi vaihtoehtoina olivat teräsholkin pinnoittaminen ja holkin valmistaminen vaihtoehtoisesta holkkimateriaalista. Seuraavassa käydään läpi eri vaihtoehtoja.

7.3.1 Pinnoitus

Aluksi esille nousi ajatus jo olemassa olevien holkkien pinnoittamisesta. Pinnoitteeksi suunniteltiin teflonia eli polytetrafluorieteeniä, eli usein paistinpannujen pinnoitteena tunnettua pienikitkaista muovilaatua. Tämän menetelmän etuna on vanhojen holkkien hyödyntäminen ja pieni kitkakerroin, joka pidentää toistuvien koitosten aiheuttamaa kulumista holkin pinnoitteessa. Varjopuolena on kuitenkin holkin sisähalkaisijan pientyminen 2 kertaa kalvon paksuuden verran, joten kaikki holkit jouduttaisiin sorvaamaan sisähalkaisijaltaan suuremmiksi. Täten valmistuskustannus nousisi jopa perinteistä karkaistua teräsholkkia suuremmaksi. Emme valmistaneet prototyyppiä pinnoitetusta holkista.

7.3.2 Vaihtoehtoinen holkkimateriaali

Toinen lähestymistapa ongelmaan oli holkin materiaalin muuttaminen sellaiseksi, että kiinnityksessä säilytettäisiin tukevuus pehmeämmällä materiaalilla. Vaihtoehtoina olivat aluksi alumiini, karkaisematon teräs ja tekninen muovi, kuten polyamidi.

Alumiini olisi keveytensä ja pehmeytensä ansiosta käypä materiaali koitosholkkiin, mutta korkeahko hinta ja vaara kolhuille ja palautumattomille vääntymisille käytön pitkittyessä siirsivät alumiinin vaihtoehtolistan loppupäähän. Siksi emme valmistaneet tästäkään holkista prototyyppiä.

Teimme edeltävistä syistä johtuen prototyypit sekä karkaisemattomasta teräksestä että polyamidista. Teräsholkki valmistettiin samoin piirrustuksin kuin vanhat holkit, ainoana erona vanhaan oli karkaisun puuttuminen eli holkki oli pehmeämpi. Teimme koitoksen valmiille laakerikaulalle (kuva 7), ja erityistä varovaisuutta noudattaen saimme koitoksen tehtyä naarmuitta. Teräsholkki osoittautui siis toimivaksi ratkaisuksi valmiille viimeistellylle kaulalle. Halusimme kuitenkin tutkia vaihtoehtoa teräsholkille.



KUVA 7: Teräsholkki pinionin viimeistellyllä kaulalla

7.3.3 Polyamidiholkki

Täysin uutena materiaalina päätettiin kokeilla teknistä muovia. Valmistajien luetteloiden perusteella tilattiin testiaineeksi Etralon 6PLA-polyamidia. Materiaalia sai toimittajalta tilattua putkena, mikä tässä tapauksessa säästää materiaalia huomattavasti.

Materiaaliominaisuuksiin kuuluu jäykkyyden ja kulutuskestävyyden lisäksi hyvä työstettävyys.

Ongelmaksi muodostui epäily kappaleen paikallaanpysymisestä johtuen PLA:n elastisuudesta. Kun asiaa selvitettiin, kävi kuitenkin ilmi, ettei holkki kannan rasiutusta itse koitoksessa, vaan vetotangon avulla aikaansaatu kitka pinionin ja holkin otsapintojen välissä on tarpeeksi suuri pinionin paikallaan pysymisen varmistamiseksi.

Tästä johtuen PLA-holkki tuli suunnitella sellaiseksi, että puristus syntyisi metallipintojen väliin. Holkki päätettiin valmistaa ilman olakkeita, jolloin metalliholkki liukuu muovin päällä vasten pinionin vastinpintaa (liite 1).

Polyamidiholkkeja valmistettiin 2kpl testikäyttöön, ja niiden avulla tehtiin koitos pinioniin (liite 2). Muoviholkin käytössä ei ilmennyt ongelmia, ja pinionin kaulan naarmuuntuminen vältettiin huolimatta tarkoituksellisen varomattomasta kappaleenkäsittelystä.

Valmistus on toteutettavissa Atassa sisäisesti, ja johtuen aineen pehmeystä ja helposta työstettävyydestä eivät valmistuskustannukset nousseet hallitsemattomasti. Hinta on kuitenkin koosta riippuen lähes sama kuin karkaisemattomalla teräsholkilla, joten valinta muovi- ja teräsholkin välillä tulee suorittaa nimikekohtaisesti.

7.3.4 Koitoskoneet

Tämän kokoluokan pinionit on aikaisemmin valmistettu AMK1604-hammastuskoneella, jossa on koitospää lautaselle. Pinionin hammastuksen yhteydessä on siis voitu tehdä parille koitos irrottamatta pinionia hammastuskoneesta. Kappaleen mahtuminen koitoskoneeseen on siis taattu.

Kun pinionien valmistus siirtyy 5-akselikoneelle, kuten Okuma Multukselle, ei tähän voida enää luottaa. Siksi on syytä tarkastella myös koitoskoneen kokoa ja kapasiteettia. Atassa on tällä hetkellä olemassa AMK1604-hammastuskoneen koitospään lisäksi tähän kokoluokkaan sopivia koitoskoneita vain yksi, kiinalainen JCMT. Tähän koneeseen ei kuitenkaan mahdu kiinnittämään suurimpia pinioneita karaputken ahtaudesta johtuen. Koneella tehdään koitos myös Ø700-1200-linjan pinioneille, joten kapasiteetin suhteen joustovaraa ei enää liiemmin ole. Tähän vaikuttaa enimmäkseen Ø700-1200-linjan suurten pinionien koitostarve, ja ennustettavuus on vaikeaa varsinkin pidemmällä aikavälillä. Tästä johtuen olisi syytä harkita uuden koitoskoneen hankintaa suureen kokoluokkaan.

8 POHDINTA

Valmistettaessa tämän kokoluokan pinionia tulisi olla alusta asti selvää, millä menetelmällä kyseinen kappale tullaan valmistamaan kovavaiheiden osalta. Näin meneteltäessä suunnittelulla olisi mahdollista vaikuttaa jo pehmeäkoneistukseen siten, että kovana tehtävien muotojen valmistus olisi mahdollisimman nopeaa ja helppoa valitulla menetelmällä.

Mikäli kovakoneistus tehdään 5-akselisella koneistuskeskuksella, voidaan perinteisen hammastuksen vaatimista apumuodoista luopua. Tulee kuitenkin olla alusta asti selvää mikä se menetelmä on, jottei poissuljeta jotakin menetelmää vahingossa.

Tästä johtuen suunnittelun tulisi katselmoida jokainen mahdollisesti 5-akselisesti viimeisteltävä pinioni ennen työn laskemista liikkeelle. Tässä katselmoinnissa olisi käytävä läpi työkalusuunnittelijoiden ja –ostajien kanssa työn vaatimat työkalut, mukaan lukien koitosholkit. Niiden suunnittelu sekä materiaalien että tarvittavien halkaisijoiden osalta on sinänsä oma projektinsa, että vasta tarjouskilpailuiden ja useampien käyttökokemusten perusteella on mahdollista päästä varmuuteen parhaasta vaihtoehdosta.

Selkeimpien pullonkaulojen osalta työt tulisi käydä läpi myös koneistajien ja ohjelmoijien kanssa, jotta heti alussa käy ilmi mikäli itse työstössä on sellaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat menetelmän valintaan. Siten välttyttäisiin ikäviltä yllätyksiltä vaiheessa, jossa enää vähän tai ei mitään on tehtävissä kappaleen pelastamiseksi.

Nämä seikat huomioiden voitaisiin välttää menetelmien ja prosessin erilaisuudesta johtuva ongelmat, ja erityisesti ottaa kaikki hyöty irti näiden menetelmien erityispiirteistä. Tämä helpottaisi ja nopeuttaisi työskentelyä koko valmistusketjun läpi, ja Atan laatu ja hyvä kilpailukyky sen omassa tuotesegmentissä saataisiin paranemaan entisestään.

Tulevaisuudessa kokonaiskoneistuksessa on vielä useita kehityskohteita. Kapasiteetin käyttöä ei tässä opinnäytteessä selkeiden koneistusaikojen puutteessa voitu käsitellä. Miehitys koneella voidaan päättää vuorojärjestelyineen vasta koneen aloitettua rutiininomaisen työskentelyn. Uusia nimikkeitä Ataan tulee viikoittain, joten ongelmien ennustaminen on erittäin vaikeaa. Siksi peräänkuulutetaan edellä varhaisen katselmuksen tärkeyttä nimikekohtaisesti.

LÄHTEET

Ata Gears strategiakirja 2012-2014. 2012.

Koppanen,P. työnjohtaja Ata Gears Oy. Keskustelu syyskuussa 2011. Ata Gears. Pälkäneen toimipiste.

Korhonen A. 1987. Ata – puoli vuosisataa voimansiirtoa.

Kukkonen J. linjapäällikkö 2012. Keskustelu lokaluussa 2011. Ata Gears. Atalan toimipiste.

Reuna V. tuotannosuunnittelija 2012. Keskustelu tammikuussa 2012. Ata Gears. Atalan toimipiste.

Tapanila M. laatupäällikkö 2012. keskustelu maaliskuussa 2012. Ata Gears. Atalan toimipiste.

LIITTEET

Liite 1. Työpiirustus, esimerkkipinioni

Liite 2. Kokoonpanokuva koitosmenettelystä

Liite 3. Polyamidiholkki, piirustus