



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Barinoff

W32/W34-KIERTOKANKIEN AUTOMATI-
SOIDUN JÄYSTEENPOISTOPROSESSIN
KEHITTÄMINEN

Tekniikka
2018

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mikko Barinoff
Opinnäytetyön nimi	W32/W34-kiertokankien automatisoidun jäysteenpoistoprosessin kehittäminen
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	45
Ohjaaja	Mika Billing

Opinnäytetyön aiheena oli kehittää Wärtsilän Vaasan toimitusyksikön kiertokankiverstaan jäysteenpoistoprosessia kattavamaksi ja luotettavamaksi. Kiertokangen osin automatisoidussa jäysteenpoistoprosessissa oli selkeitä ongelmakohtia, jotka suoritetaan nykyprosessissa käsityönä. Nämä ongelmat oli tavoitteena saada työstettyä automatisoidusti, jolloin aikaa vievästä käsityöstä voitaisiin luopua.

Jäyste on lastuavassa työstössä lähes väistämättä syntyvä ilmiö, joka aiheuttaa useita ongelmia myöhemmissä tuotantovaiheissa. Jäyste joudutaan usein poistamaan kappaleesta, ja tästä syntyy kokonaan oma työvaiheensa. Jäysteenpoistomenetelmät kehittyvät jatkuvasti, ja erityisesti täyden automatisoinnin mahdollistavia menetelmiä tulee markkinoille koko ajan lisää.

Opinnäytetyön tuloksina tehtiin kattava selvitys uusista mahdollisista menetelmistä kiertokankiverstaan tulevia hankintoja varten, ja testattiin niitä mahdollisuuksien mukaan. Useita menetelmiä saatiin suljettua pois toimimattomuuden takia, mutta myös paljon lupaavia, lähes käyttövalmiita menetelmiä saatiin kehitettyä.

ABSTRACT

Author	Mikko Barinoff
Title	Development of the Automated Deburring Process for W32/W34-Connection Rods
Year	2018
Language	Finnish
Pages	45
Name of Supervisor	Mika Billing

The subject of this thesis was to develop the deburring process of W32/W34-connection rods to be fully automated. There were some problematic areas inside the process, which require manual work to finish the components. The purpose was to make these areas fully automated to eliminate the manual work.

Burr is an inevitable part of machining, which causes many problems in the following phases of manufacturing. Usually burr must be removed from the workpiece, and deburring is one of the stages in the machining process. Deburring methods evolve all the time, and more methods are coming to the markets all the time.

Research of possible deburring methods for connection rod workshop was made as the result of this thesis. Multiple tests were made in the workshop deburring station with new methods and tools. Several methods were excluded because they were unsuitable. However, some good methods were found, which could be put to use through some additional development.

Keywords Automation, burr, deburring

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Opinnäytetyö.....	8
1.2	Tavoitteet	8
1.3	Rajaus.....	8
1.4	Wärtsilä.....	9
2	NYKYTILAN KUVAUS JA TARVEANALYYSI.....	10
2.1	Komponentit	10
2.2	W32/W34-kiertokangen valmistusprosessi	11
2.3	Nykyinen jäysteenpoistoprosessi ja sen ongelmat.....	12
3	JÄYSTE.....	16
3.1	Jäysteen määritelmä	16
3.2	Jäysteen muodostuminen	17
3.3	Jäysteen muodostumisen optimointi	19
3.4	Jäyste ja laatu	21
4	JÄYSTEENPOISTO	22
4.1	Jäysteenpoisto yleisesti	22
4.2	Jäysteenpoistomenetelmät.....	23
4.2.1	Lastuavat menetelmät.....	23
4.2.2	Harjaus	24
4.2.3	Raepuhallus	25
4.2.4	Lämpöenergiamenetelmät	26
4.2.5	Korkeapainevesijäystö	27
5	KEHITTÄMISPROSESSI	28
5.1	Kehittämispöcessin kulku	28
5.2	Jäysteenpoistoharjat	29
5.2.1	Weiler -jäysteenpoistoharja.....	29

5.2.2	Xebec W-A11-50 -jäysteenpoistoharja	31
5.3	Pulmek Formflap Grinder -hiomaliuskatyökalu	33
5.4	Kuulapuhallus	38
6	JATKOKEHITYS JA JOHTOPÄÄTÖKSET	40
6.1	Jatkokehitys.....	40
6.2	Johtopäätökset.....	43
	LÄHTEET.....	45

KUVALUETTELO

Kuva 1. Wärtsilän W31-moottori.....	9
Kuva 2. Wärtsilä W32/W34 -kiertokangen komponentit.....	10
Kuva 3. Alaosan piirteiden nimitykset.....	12
Kuva 4. Öljyuran alaosan särmät.....	13
Kuva 5. Öljy- ja lukkouran yhtyminen alaosien liitintasaan.....	14
Kuva 6. Öljyreikä.....	15
Kuva 7. Jäystettä W32/W34 -kiertokangen alaosassa.....	16
Kuva 8. Poisson-jäysteen muodostuminen /6/.....	17
Kuva 9. Kääntöjäysteen muodostuminen /6/.....	18
Kuva 10. Repeytymisjäysteen muodostuminen /6/.....	18
Kuva 11. Jäysteen parametrit /6/.....	19
Kuva 12. Haastavia piirteitä lastuaville jäysteenpoistotyökaluille /6/.....	23
Kuva 13. Jäysteenpoistoon tarkoitettuja tasokuppiharjoja.....	24
Kuva 14. Risteävien reikien jäystä mikropuhaltamalla.....	25
Kuva 15. Lämpöenergiamenetelmän periaate /6/.....	26
Kuva 16. ABB:n toimittama korkeapainevesijäystösolu.....	27
Kuva 17. Laakeripinta harjattiin kokonaan sinistä työstörataa pitkin.....	29
Kuva 18. Laakeripinta kiillottui voimakkaasti harjauksesta.....	30
Kuva 19. Harjalla pyrittiin suorittamaan työstö jäystettä vasten.....	31
Kuva 20. Mikroskoopilla otettu kuva öljyuran yläosan harjatusta särmästä.....	32
Kuva 21. Pulmek Formflap Grinder -hiomaliuskatyökalu.....	33
Kuva 22. Öljyuran ja liitintason yhtymäkohdan särmien jäystö.....	34
Kuva 23. Lukkouran särmien jäystö.....	34
Kuva 24. Öljyuran ja laakeripinnan välisten särmien jäystö.....	35
Kuva 25. Hiomaliuskatyökalulla jäystetty öljyuran ja laakeripinnan välinen särmä.	36
Kuva 26. Hiomaliuskatyökalulla jäystetty öljyuran ja liitintason yhtymäkohdan särmä.....	36
Kuva 27. Hiomaliuskatyökalulla jäystetty lukkoura.....	37
Kuva 28. Hiomaliuskatyökalulla jäystetty öljyuran ja liitinpinnan yhtymäkohta.....	37
Kuva 29. Kuulapuhalluskone.....	38

Kuva 30. Mikrojäystettä öljyuran ja laakeripinnan välisessä särmässä.	39
Kuva 31. Isokokoisen karan takia työkalua ei saada optimaaliseen asentoon.	40
Kuva 32. 50 mm harjalla ei päästä ihanteelliseen työstökulmaan.	41
Kuva 33. 22 mm harjalla päästäisiin ihanteelliseen työstökulmaan.	41
Kuva 34. Heule COFA -pyöröstystyökalu.	42

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyö

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämishankkeena Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan toimitusyksikön kiertokankiverstaalle. Kiertokankiverstaalla koneistetaan Wärtsilän meri- ja voimalaitosmoottoreissa käytettäviä kiertokankia, ja kokoonpannaan niistä mäntämoduuleja. Verstaan koneistusprosessi on W32/W34 -moottorituoteperheen komponenttien osalta suurilta osin automatisoitu, ja sitä kehitetään jatkuvasti tehokkaammaksi ja luotettavammaksi.

Opinnäytetyön aiheena oli W32/W34 -kiertokankien koneistuksen jälkeisen jäysteenpoistoprosessin kehittäminen. Nykyprosessin menetelmä on ollut käytössä jo pitkään, eikä sitä ole useista optimointiyrityksistä huolimatta ole saatu toimimaan täysin halutulla tavalla, vaan samat ongelmakohdat ovat säilyneet.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia erilaisia vaihtoehtoja korvaamaan nykyinen kiertokankiverstaalla käytössä oleva jäysteenpoistomenetelmä. Työn pääpainona oli täysin uusien menetelmien tutkiminen ja testaaminen. Työssä ei rajauduttu pelkästään nykyisen kaltaisiin robottipohjaisiin ratkaisuihin, vaan pyrittiin tutkimaan laaja-alaisesti potentiaalisia menetelmiä, ja testaamaan niitä mahdollisuuksien mukaan. Uudella menetelmällä tulisi pystyä toteuttamaan jäysteenpoistoprosessi kokonaan automaattisesti, ja erityisesti laadun kannalta luotettavasti.

1.3 Rajaus

Opinnäytetyössä rajaudutaan W32/34 -moottorituoteperheen kiertokankien jäysteenpoistoprosessin kehittämiseen. Työn painopisteenä oli erityisesti kiertokangen alaosien jäysteenpoistoprosessi, koska siinä oli varsiosan prosessia enemmän ongelmakohtia.

1.4 Wärtsilä

Wärtsilä on kansainvälinen merenkulku- ja energiamarkkinoille suuntautunut teknologiayritys. Wärtsilä suunnittelee ja valmistaa erilaisia meri- ja energiateollisuuden tuotteita, kuten automaatio- ja propulsiojärjestelmiä, sekä diesel- ja kaasumootoreita. /1/

Wärtsilä on valmistanut itse suunnittelemaansa moottoreita vuodesta 1959 lähtien /2/. Nykyään Wärtsilän moottorituotepereeseen kuuluu pienimmistä W20-dieselmootoreista aina suurempiin W50-monipolttainemoottoreihin /3/. Wärtsilän vuonna 2015 markkinoille tuoma W31-moottori pitää hallussaan Guinnessin maailmanennätystä maailman tehokkaimpana nelitahtidieselmoottorina /4/.

Wärtsilä Finland Oy on Wärtsilän suomalainen tytäryhtiö. Se työllistää noin 3600 työntekijää Vaasassa, Turussa ja Helsingissä. Vaasan toimitusyksikössä valmistetaan W20-, W32/W34-, ja W31-tuotepereiden meri- ja voimalaitosmoottoreita.



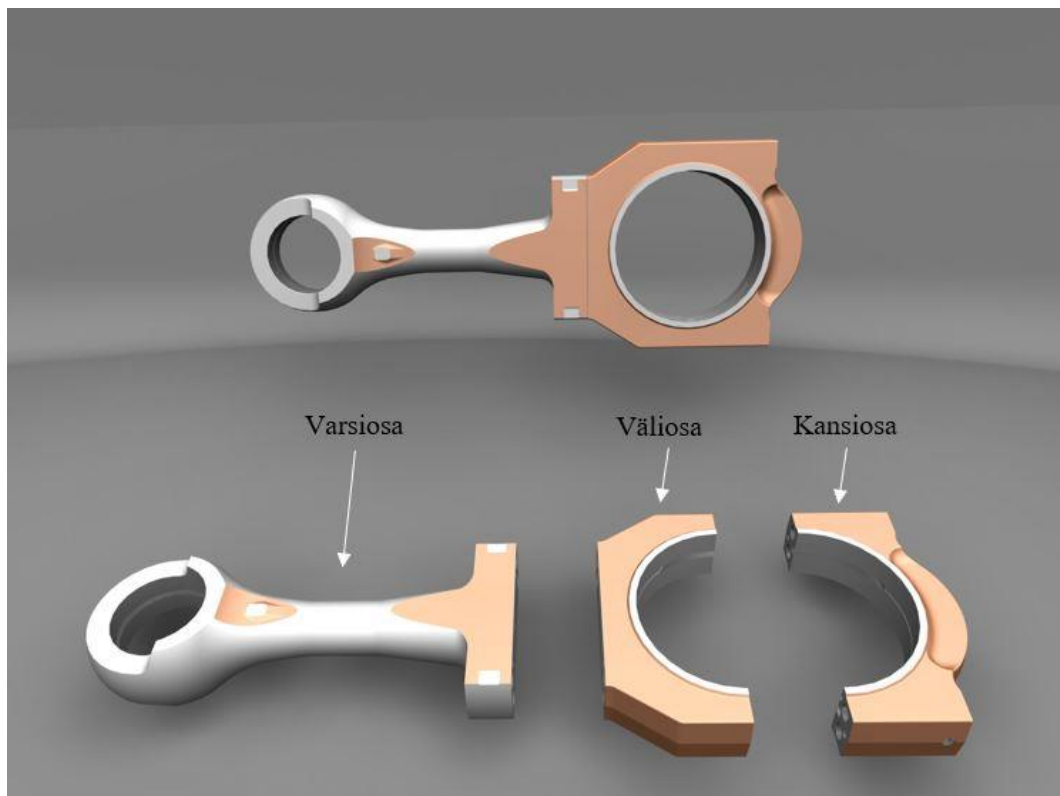
Kuva 1. Wärtsilän W31-moottori.

2 NYKYTILAN KUVAUS JA TARVEANALYYSI

2.1 Komponentit

Kiertokanki on mäntämootorin luotettavuuden ja suorituskyvyn kannalta yksi sen tärkeimmistä komponenteista. Kiertokanki välittää mäntään kohdistuvan paineenergian kampiakselille muuntaen männän edestakaisen liikkeen kampiakselin pyörimisliikkeeksi. Pyörivän alaosan aiheuttama keskihakuvoima aiheuttaa suuria rasituksia erityisesti kampilaakerille, ja tämän takia kiertokangen valmistusprosessissa noudatetaan tiukkoja laatuvaatimuksia ja toleransseja. Kiertokanget taotaan usein korkealaatuisista teräseoksista, jonka jälkeen laakeripesät ja muut tarkat pinnat koneistetaan haluttuihin mittoihin. /5/

W32/W34 -kiertokankikokoonpano koostuu varsiosasta, väliosasta ja kansiosasta. Väliosan ja kansiosan kokoonpanosta käytetään nimitystä alaosa.



Kuva 2. Wärtsilä W32/W34 -kiertokangen komponentit.

2.2 W32/W34-kiertokangen valmistusprosessi

Komponenttien valmistus alkaa takomolla, jossa kappaleiden aihiot taotaan 42CrMo4 -teräseoksesta. 42CrMo4 on niukkaseosteinen ja korkealaatuinen teräseos, jota käytetään yleisesti koneenosissa. Varsiosan takeet sorvataan ulkopäin takomon toimesta, kun taas alaosan takeet toimitetaan kiertokankiverstaalle sellaiseen. Verstaalla takeet ladataan automaattilinjastoon, joka hoitaa koneistusprosessin lähes kokonaan automaattisesti.

Koneistukseen kuuluu useita rouhintavaiheita, joiden välillä robotit hoitavat kappaleiden käsittelyä. Ainoat varsinaiseen koneistusprosessiin kuuluvat manuaaliset työvaiheet ovat alaosien hydraulinen kiristys ja purku. Rouhitut väliosa ja kansiosa kokoonpannaan yhteen ja kiristetään momenttiin, jonka jälkeen ne palautetaan linjaan hienokoneistusta varten. Hienokoneistuksen jälkeen kokoonpano puretaan, ja komponentit palautetaan linjaan viimeistelyprosessia varten. Näin tekemällä varmistetaan kampilaakerin reiän pyöreys kokoonpantuna.

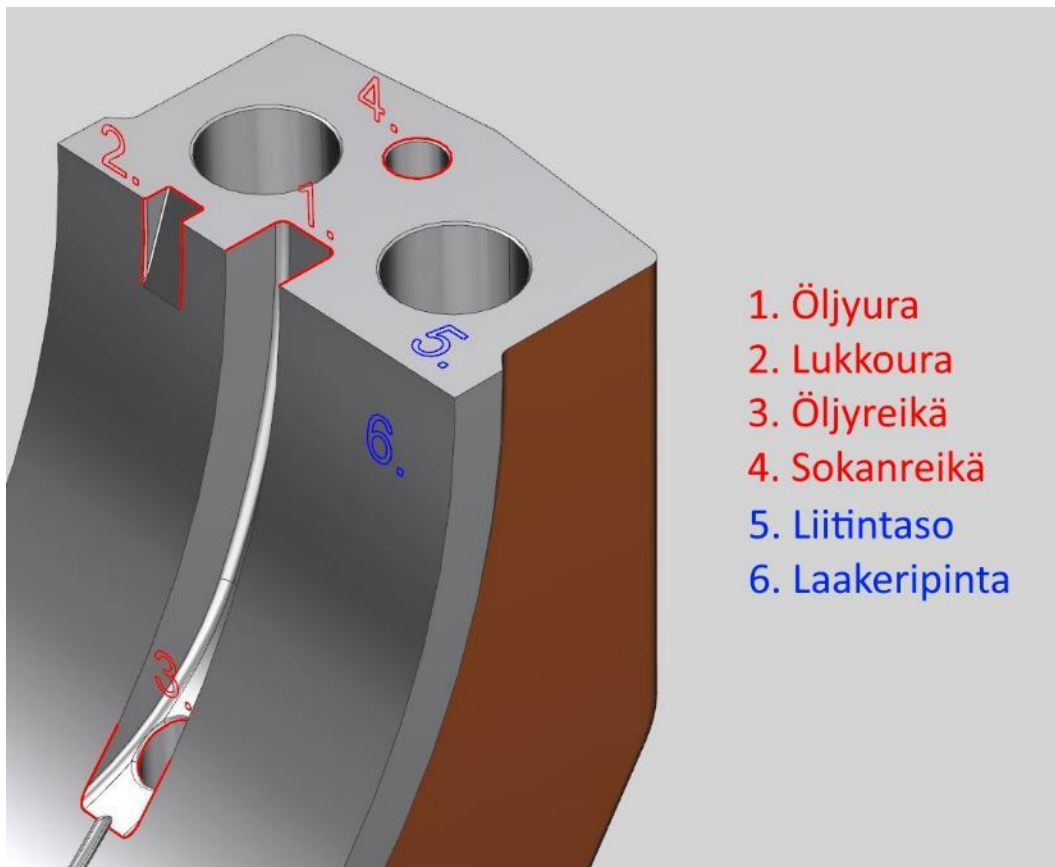
Viimeistelyprosessissa osa koneistettujen kappaleiden pinnoista karhennetaan kuulapuhaltamalla, jonka jälkeen suoritetaan jäysteenpoisto. Jäysteenpoisto suoritetaan suuriltaosin robotilla, mutta kaikki kappaleet joudutaan viimeistelemään käsin. Tämä on työläs ja aikaa vievä työvaihe, ja vaatii ison puskuritilan prosessissa. Tässä opinnäytetyössä pyritään kehittämään koko jäysteenpoistoprosessi automaattiseksi.

2.3 Nykyinen jäysteenpoistoprosessi ja sen ongelmat

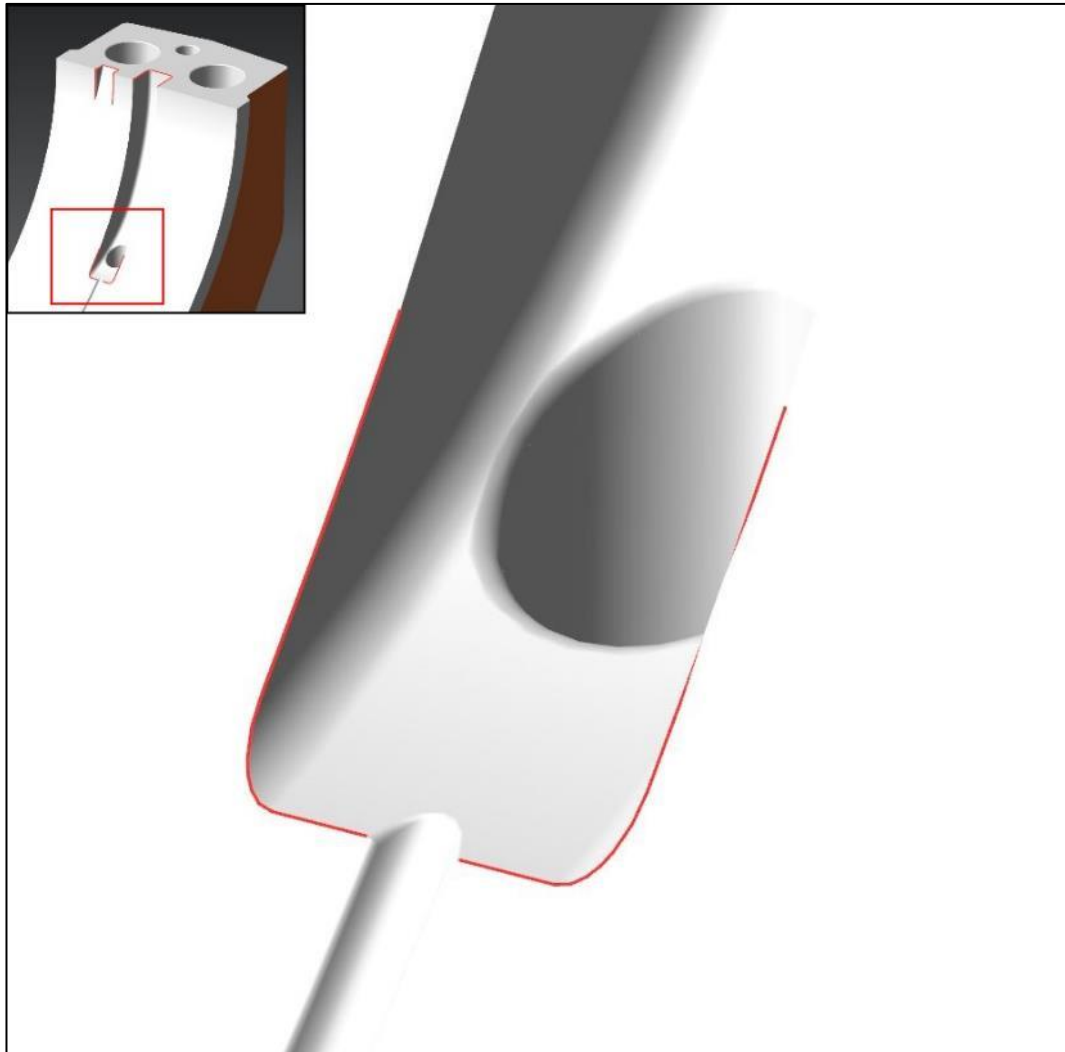
Jäysteenpoistorobottisolu koostuu kuusiakselisesta Fanuc M-710iC 50 -käsivarsi-robotista, ja kääntöpöydästä johon käsittelyrobotti tuo jäystettävät komponentit. Solussa on lisäksi työkaluteline, työkalun kuntoa mittaava anturiasema ja hiekkapaperin vaihtoasema.

Robotin työkaluina käytetään koneviiloja, hiomaliuskatyökalua ja tasoharjaa. Kapaleiden ulkoiset särmät jäystetään koneviiloilla, reiät hiomaliuskatyökalulla ja osa pinnoista viimeistellään tasoharjalla.

Ongelmallisia kohtia on muutamia, jotka joudutaan tällä hetkellä jäystämään tai viimeistelemään käsityönä. Nämä särmät näkyvät kuvassa 3 punaisella värillä.

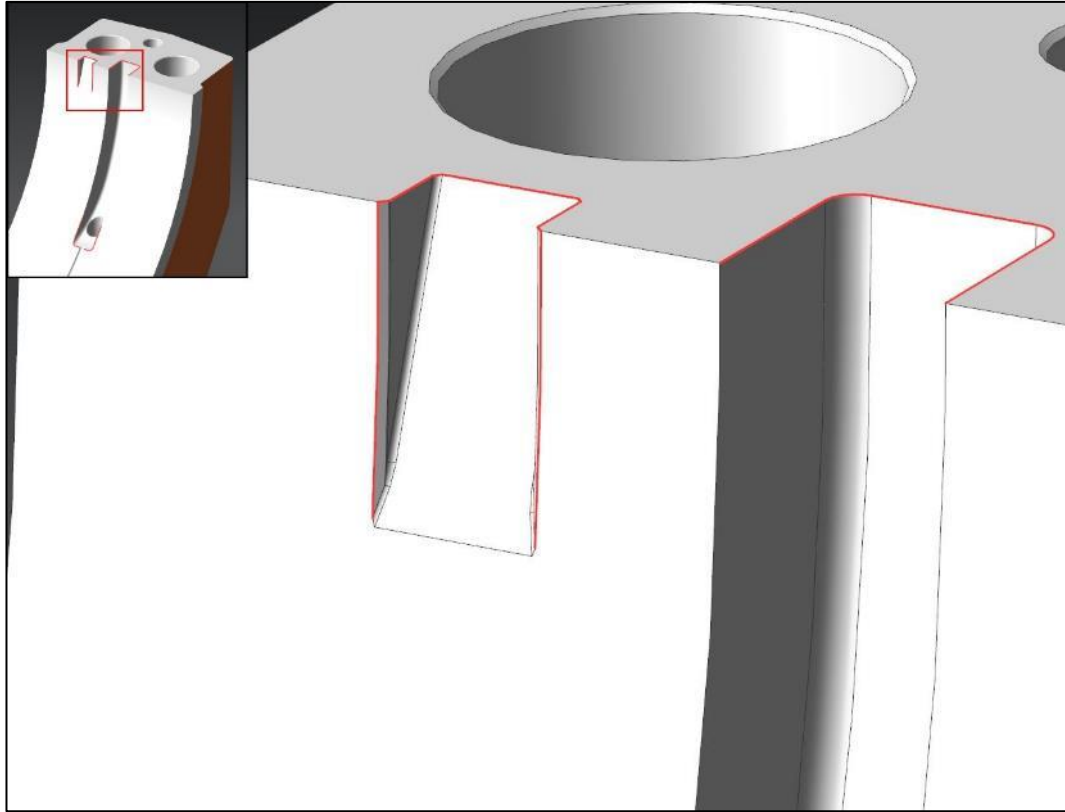


Kuva 3. Alaosan piirteiden nimitykset.



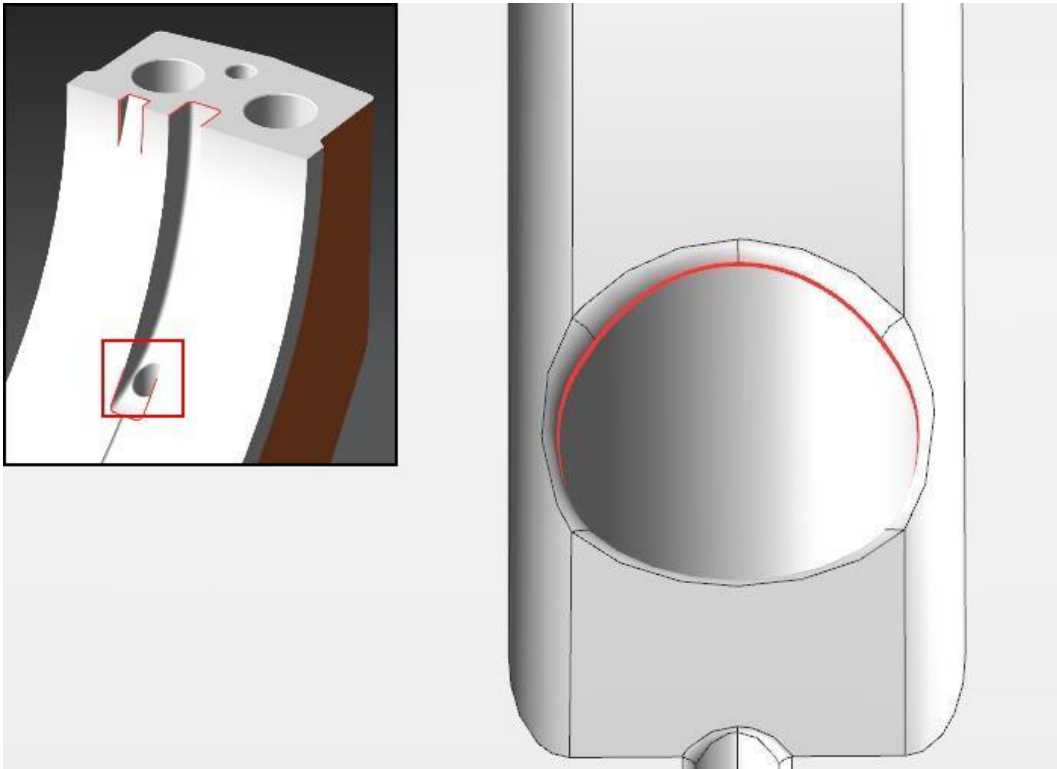
Kuva 4. Öljyuran alaosan särmät.

Lukko- ja öljyurien alaosissa ongelmaksi muodostuu urien yhtyminen laakeripintaan loivassa kulmassa. Särmää työstetään koneviilalla sen lieriöpinnan keskiosalla, ja viilan kärki ylittää särmän. Uran ja laakeripinnan yhtyessä koneviilan kärki osuu uran pohjaan. Tämän seurauksena koneviilalla on hankala työstää särmiä kappaleen pintoja vahingoittamatta.



Kuva 5. Öljy- ja lukkouran yhtyminen alaosien liitintasaan.

Lukko- ja öljyurien yhtyessä alaosien liitintasaan, ongelmana ovat urien sisänurkkien pienet pyöristykset. Koneviilan lähestyessä sisänurkkaa, se osuu kahteen särmään yhtä aikaa ja alkaa työkalun varren jouston takia pomppimaan hallitsemattomasti. Lukkouran ja laakeripinnan väliset särmät ovat vaikeita jäystä, koska lukkouran pohja on niin lähellä särmää.



Kuva 6. Öljyreikä.

Kolmas ongelmakohta ovat öljyreivät alaosien öljyurien pohjalla. Reiät ovat monella tapaa hankala kohde, ja niihin muodostuu koneistustavan takia usein iso ja paksu jäyste. Lisäksi pelkkä jäysteenpoisto ei riitä, vaan piirustuksessa vaaditaan määritelty pyöritys reiän suulle.

Kaikkien näiden piirteitten jäystäminen on ongelmallista eri lähteistä tulevien paikoitusvaihteluiden takia. Kappaleita ei paikoiteta kääntöpöytään tarkasti, vaan ne jäävät käsittelyrobotin tuomaan paikkaan. Sekä jäystö- että käsittelyrobotti ovat vanhahkoja ja paljon käytettyjä, joten niiden paikoitustarkkuudet tuovat vaihtelua prosessiin.

Paikoitusvaihtelut aiheuttavat ongelmia erityisesti koneviilatyökaluille. Kappaleeseen koneviilalla tehdyn viisteen koko vaihtelee, tai viiste voi jäädä kokonaan tekemättä. Tämän vuoksi työkalun varressa on joustoa, mutta tästä voi seurata viilan lipsumista tai pomppimista. Lisäksi koneistusprosessin olosuhteisesta johtuvaa jäysteen koon vaihtelua kappaleiden välillä ei voida ottaa huomioon robotilla.

3 JÄYSTE

3.1 Jäysteen määritelmä

Jäyste on harjannemainen tai rosainen särmä, joka jää kiinni työstettävään kappaleeseen sitä leikattaessa tai muuten työstettäessä. Perinteisissä lastuavissa koneistusmenetelmissä, kuten sorvauksessa ja jyrinnässä syntyy lähes aina jäystettä. Jäysteestä on kappaleen käyttötarkoituksesta riippuen erilaisia haittavaikutuksia, ja se joudutaan useissa tapauksissa poistamaan.

Seuraavassa listattu joitakin jäysteen aiheuttamia ongelmia:

- Kappaletta käsittelevä henkilö voi saada viiltoja käsiinsä.
- Komponentit eivät sovi toisiinsa kokoonpantaessa.
- Mekanismit eivät toimi halutulla tavalla.
- Irtoava jäyste aiheuttaa kulumista mekanismeissa.
- Jäysteestä aiheutuu mittavirheitä. /6/



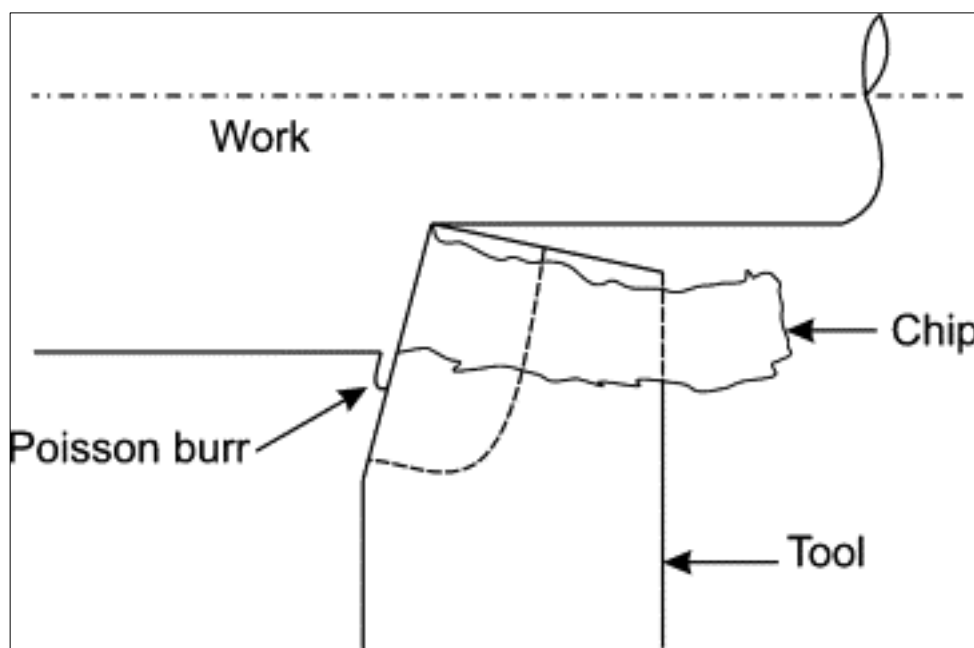
Kuva 7. Jäystettä W32/W34 -kiertokangen alaosassa.

3.2 Jäysteen muodostuminen

Jäysteen muodostuminen koneistuksessa ei johdu huonosta prosessin suunnittelusta, vaan se on perinteisissä koneistusmenetelmissä väistämätöntä.

Jäysteenmuodostumismekanismeja on useita. Työstettävän materiaalin plastisen muodonmuutoksen kautta syntyy Poisson- ja sisäänmenojäyستettä. Työkalun ylittäessä kappaleen reunuksen syntyy usein kääntöjäyستettä, ja taskujyrsinnässä muodon reunoille syntyy lastun repeytymisestä aiheutuvaa jäyستettä. /6/

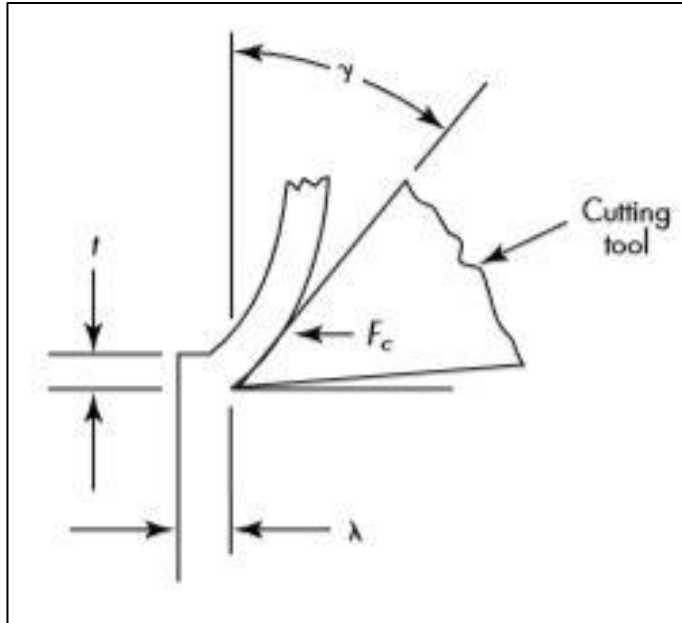
Poisson-jäyste syntyy jatkuvasti leikkaavan koneistustyökalun edelle. Kappaleen materiaali muokkautuu terän paineen alla plastisesti lastuuntumisen sijaan. Poisson-jäyste on tavallisesti kooltaan pientä, ja tiukasti kiinnittynyt kappaleeseen. Sitä syntyy lähes kaikissa koneistusmenetelmissä, mutta lisäksi myös joissakin viimeistelymenetelmissä, kuten raepuhalluksessa. /6/



Kuva 8. Poisson-jäysteen muodostuminen /6/.

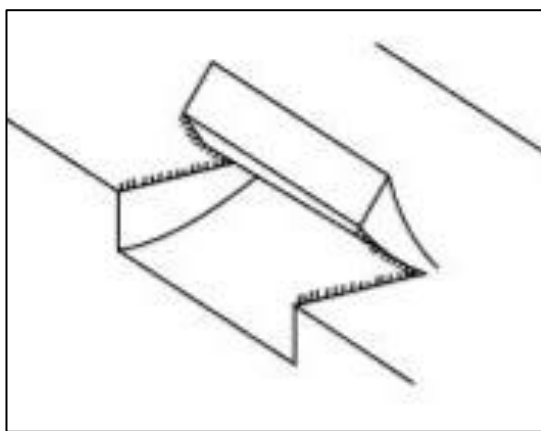
Sisäänmenojäyste taas syntyy, kun koneistustyökalu kohtaa työstettävän materiaalin kappaleen ulkopuolelta. Sisäänmenojäyste on Poisson-jäysteen tapaan seurausta plastisesta muodonmuutoksesta, kun aine kohoaa sisäänmenokohdan vierestä terän liikesuuntaa vastaan. /6/

Kääntöjäystettä syntyy erityisesti tasoajyrinnässä tason muotojen reunoille. Jyrsintyökalun lähestyessä reunaa, ainevahvuus pienenee, ja lopulta ohut reunamateriaali taittuu reunan yli lastuuntumisen sijaan. /6/



Kuva 9. Kääntöjäysteen muodostuminen /6/.

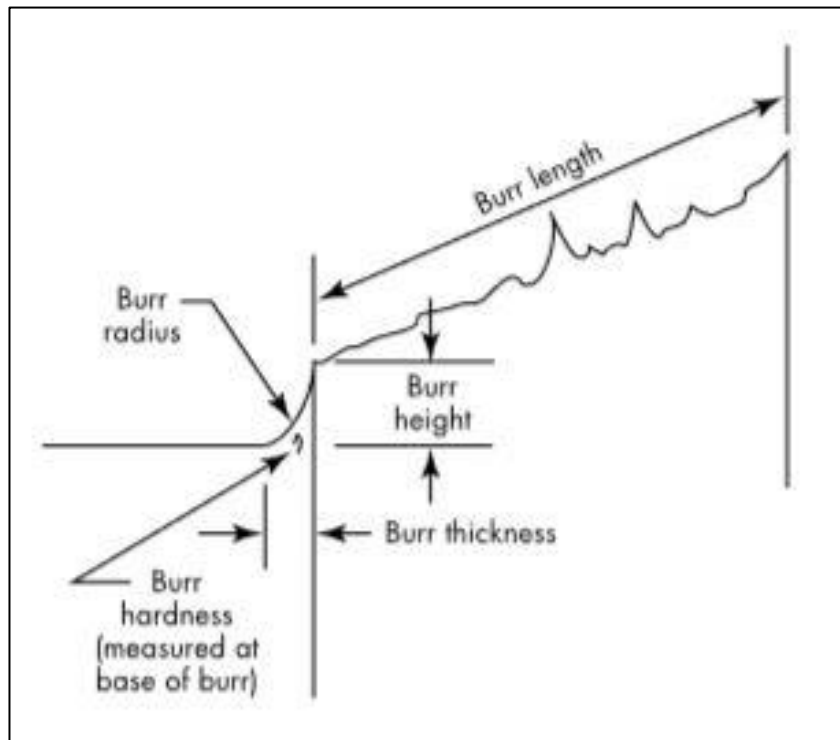
Repeytymisjäysteeksi kutsutaan sitä, kun lastu puhtaan leikkaantumisen sijaan repeytyy irti työstettävästä kappaleesta. Tämä jäystetyyppi muodostuu useimmiten tappijyrsinnässä, kun jyrsimen leikkuugeometria pakottaa lastua sekä ylöspäin, että työstön syötön suuntaan. Näin lastu repeää irti sisäreunastaan. Tämä jäystetyyppi on usein erittäin terävää, ja voi aiheuttaa viiltohaavoja kappaletta käsitteleville henkilöille. /6/



Kuva 10. Repeytymisjäysteen muodostuminen /6/.

3.3 Jäysteen muodostumisen optimointi

Kuten aikaisemmin todettiin, jäysteen muodostumiselta on usein mahdotonta välttyä. Sen sijaan että tyydyttäisiin siirtämään ongelma sellaisenaan jäysteenpoistoprosessiin, voidaan kuitenkin koneistuksessa vaikuttaa jäysteen olemukseen ja parametreihin monella tapaa. Näitä parametreja ovat muun muassa jäysteen korkeus, pituus, juuripaksuus ja juurisäde. /6/



Kuva 11. Jäysteen parametrit /6/.

Jäysteen muodostumisen optimointi pitää ottaa huomioon koko prosessiketjusta aina tuotteen suunnittelusta sen valmistukseen asti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon kappaleen muotojen ja materiaalin vaikutukset jäysteen muodostumiseen. Valmistuksessa vaikuttavia tekijöitä taas ovat kiinnitys, työkalugeometriat ja työstöparametrit. /7/

Komponenttia suunniteltaessa voidaan jäysteen muodostumisen optimointi ottaa huomioon monella tapaa. Materiaalinvalinta on yksi tärkeimmistä tekijöistä. Materiaalin kaksi ominaisuutta nousevat jäysteenmuodostumisen kannalta pinnalle: muokattavuus ja muokkauslujittuvuus. /6/

Muokattavuus tai joskus venyvyys, tarkoittaa materiaalin kykyä muuttaa muotoaan venyttävän jännityksen aikana ilman, että se katkeaa. Pienen muokattavuuden omaava materiaali on siis haurasta, ja suuren muokattavuuden omaava materiaali vastaavasti sitkeää. /12/ Jäysteen muodostuminen hauraasta materiaalista valmistettuun kappaleeseen on vähäistä, koska materiaali on hyvin lastuuntuvaa. Sitkeään materiaaliin vastaavasti muodostuu usein suurikokoista ja tiukasti kiinnittynyttä jäystettä. /6/

Muokkauslujittuvuus on sitä, kun materiaali lujittuu sitä venytettäessä materiaalin myötörajan yli /12/. Korkean muokkauslujittuvuuden omaavaan materiaaliin muodostuu huomattavasti suurempaa ja kovemmin kiinnittynyttä jäystettä kuin matalan muokkauslujittuvuuden omaavaan materiaaliin. Esimerkiksi korkean muokkauslujittuvuuden omaavat ruostumattomat teräkset muodostavat suurta ja vaikeasti poistettavaa jäystettä. /6/

Koneistusprosessin optimoinnista jäysteenmuodostumisen kannalta voidaan yleisesti sanoa, että korkeat koneistustyökalun syötön nopeudet kasvattavat jäysteen kokoa. Myös korkeussuunnassa isot lastukoot ja tätä kautta suuret terälle kohdistuvat paineet johtavat kooltaan isoon jäysteen muodostumiseen. Muodostuva jäyste tulee mahdollisuuksien mukaan työstöjärjestyksen avulla muodostaa sellaiseen paikkaan, mistä se on käytössä olevalla jäysteenpoistomenetelmällä helppo poistaa.

3.4 Jäyste ja laatu

Laadunvalvonta on jäysteen ja jäysteenpoiston saralla monella tavalla ongelmallinen asia. Jäysteestä on epäkäytännöllistä tehdä numeerisia tuloksia tuottavia mittaauksia, joten yleensä joudutaan tyytymään visuaalinen tarkastukseen. Tästä seuraa tulosten vaihtelua tarkastuksen tekevän henkilön vaihtuessa.

Hankalan mittaamisen takia, ja jäysteeseen liittyvien riskien takia tyydytään laatuohjeissa usein määräämään jäyste kokonaan poistettavaksi. Jäysteettömäksi todettu kappale kuitenkin harvoin on täysin jäysteetön, jos särmää ruvetaan tutki-
maan suurennusvälineiden ja muiden apulaitteiden kanssa.

Jäystettä tai jäysteenpoistoa ei ole kattavasti standardisoitu ISO:n tai muun kansainvälisen järjestön toimesta. Sen sijaan joka toimijalla on omat vakiintuneet ohjeistukset ja keinot, jotka aiheuttavat ristiriitoja esimerkiksi alihankintaketjuissa. Standardisoimattomuudesta seuraa kolme ongelmaa /6/.

1. Yksiselitteisen määritelmän puuttuminen siitä, mikä on ja mikä ei ole jäystettä, aiheuttaa kappaleiden tarpeetonta hylkäämistä, ja toisaalta virheellisten kappaleiden hyväksymistä.
2. Jäysteen aiheuttamien teknisten ongelmien ymmärtämättömyys aiheuttaa ylimitoituja vaatimuksia jäysteenpoistolle. Tästä seuraa kalliita jäysteenpoistoprosesseja, ja niissä sattuvat virheet aiheuttavat kappaleiden vioittumista ja susittumista.
3. Jatkuvasti muuttuvat, dokumentoimattomat standardit aiheuttavat päällekkäistä työtä ja väärinkäsityksiä eri toimijoiden välillä. /6/

4 JÄYSTEENPOISTO

4.1 Jäysteenpoisto yleisesti

Jäysteenpoisto nähdään usein pienenä ja väistämättömänä osana koneistusprosessia /8/. Kuitenkin esimerkiksi autoteollisuudessa tyypillinen jäysteenpoiston osuus koneistettujen komponenttien valmistuskustannuksista on n. 15–20 % /7/. Tämän vuoksi jäysteenpoistoprosessin kehittäminen ja optimointi on tärkeää, eikä sen merkitystä pidä väheksyä. Jäysteenpoisto on viimeinen osa kolmiportaista ajattelumallia, jossa jäysteen muodostuminen pyritään ensin estämään, sitten optimoimaan ja vasta lopuksi poistamaan syntynyt jäyste /6/.

Käsityönä tehtävä jäysteenpoisto on edelleen yleistä konepajateollisuudessa. Ihminen pystyy joustavasti aistejaan hyödyntämällä suorittamaan jäysteenpoiston vaihtelevissa olosuhteissa. Käsityönä tehtävä jäysteenpoistoprosessi ei vaadi suuria alkainvestointeja, mutta jatkuvat työtunneista muodostuvat kustannukset voivat nousta ajan mittaan suuriksi. Työ on yksitoikkoista ja usein epäergonomista, ja laaduntuotto vaihtelee henkilöiden välillä. Usein jäysteenpoistotyövaiheeseen kuuluu jäysteenpoiston lisäksi muutakin viimeistelyä, kuten kolhujen ja naarmujen silotusta, tai rikkiäisten koneistustyökalujen poistoa kappaleista. /6/

Automatisoidusta jäysteenpoistosta on tullut enenevässä määrin soveltuva ja kustannustehokas vaihtoehto käsityölle. Moniakselisten teollisuusrobottien kappaleenkäsittelykyky on noussut useisiin satoihin kiloihin, ja voimaohjauksen avulla voidaan työstövoimaa säädellä olosuhteista riippuen. Viimeistelytyökalujen hiomapinnat voidaan tehdä nykyisillä valmistusmenetelmillä mikroskooppitasolla säännönmukaisiksi, jolloin työstön laatu paranee ja työkalun käyttöikä kasvaa. /9/

4.2 Jäysteenpoistomenetelmät

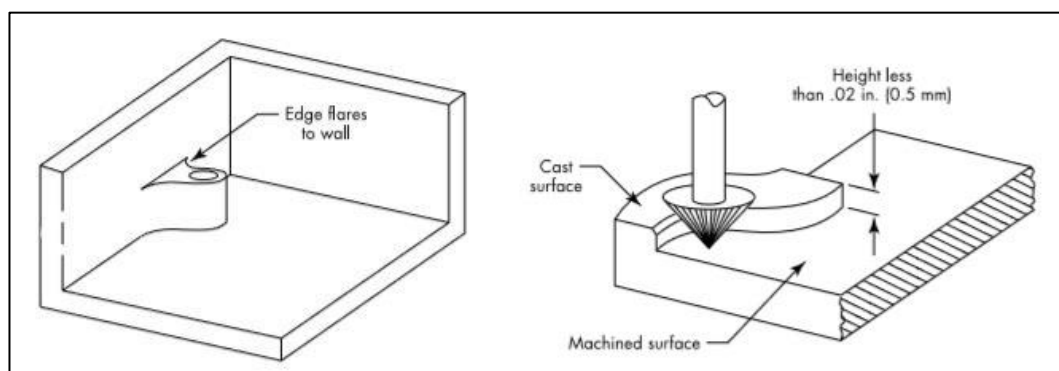
4.2.1 Lastuavat menetelmät

Lastuaviin menetelmiin lukeutuvat monet ”perinteiset” jäysteenpoistomenetelmät, kuten koneviilat, hiomakivet ja erilaiset viistetyökalut. Niitä voidaan käyttää työstökoneella suoraan varsinaisen jyrsimisen tai muun työstön jälkeen. Usein kuitenkin työstökoneen koneajan säästämiseksi jäyistäminen on siirretty koneen ulkopuoliseen manuaali- tai robottisoluun. /8/

Lastuavien menetelmien haasteita robottisovelluksissa ovat kappaleen mitta- ja paikointusvaihtelut, jolloin tehdyn viisteen koko vaihtelee, tai se voi jäädä kokonaan tekemättä. Työkalun pitimeen lisätään yleensä joustoa tasaamaan mittavaihtelua ja työstövoimaa, mutta tästä seuraa uusia ongelmia, kuten työkalun täriseminen ja pömpöminen. Viisteen jyrsiminen muodostaa usein pienemmän sekundaarijäysteen, joten särmä pitää viistää useaan kertaan eri kulmissa hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. /6, 8/

Hankalia kohteita lastuaville jäysteenpoistomenetelmille ovat:

- Matalat upotusporaukset ja taskut.
- Pintoihin yhtyvät särmät.
- Pienet pyöristykset muodon sisäkulmissa.
- Risteävät reiät. /6/



Kuva 12. Haastavia piirteitä lastuaville jäysteenpoistotyökaluille /6/.

4.2.2 Harjaus

Jäysteenpoistomenetelmiä tutkiessa törmää yhä useammin harjauspohjaisiin menetelmiin. Erilaisia harjoja on käytetty viimeistelyssä jo pitkään, mutta eritoten uusista materiaaleista valmistettuja harjoja on viime vuosina tullut enenevässä määrin markkinoille. Teräs- ja nylonharjojen rinnalle on tullut mm. alumiinioksidista, siliikonikarbidista, synteettisestä timantista ja CBN:stä (kuutioboorinitriitti) valmistettuja harjoja.

Jäysteenpoistoharjat jakaantuvat kahteen luokkaan työstötavan perusteella. Työstö voi olla joko iskumaista tai hiovaa. Iskumaisessa työstössä harjan säikeiden päät iskeytyvät pistemäisesti työalueelle ja irrottavat jäysteen. Periaate on sama kuin raepuhalluksessa. Hiovan työstön harjojen säikeissä on seassa hiomarakeita, ja säie laahaa työalueen poikki harjan pyöriessä. /6/

Harjojen käytössä etuja ovat iso työstöalue ja yksinkertaiset työstöradat. Iso ja monimutkaisen muotoinen tasopinta voidaan jäystää muutamalla suoralla lineaariliikkeellä. Kappaleen paikoituksen ei myöskään tarvitse olla yksinkertaisten työstörajojen takia kovinkaan tarkka. Harjoja voidaan käyttää suoraan työstökoneessa, tai robotin työkaluna.

Harjaaminen vaikuttaa myös jäystettävien särmien viereisiin pintoihin, ja toleranssivaatimuksista riippuen pinnanlaatu voi mennä liian sileäksi. Harjoilla voi olla myös hankalaa päästä ahtaisiin paikkoihin tavallisesti isojen työkalun halkaisijoiden takia.



Kuva 13. Jäysteenpoistoon tarkoitettuja tasokuppiharjoja.

4.2.3 Raepuhallus

Raepuhallusta käytetään laajasti konepajateollisuudessa useissa erityyppisissä viimeistelyprosesseissa. Koneistettujen kappaleiden jäysteenpoiston ohella sitä käytetään valukappaleiden epäpuhtauksien poistoon, maalauspintojen esikäsitteilyyn ja viimeistelyyn, ja koneistuspintojen karhentamiseen. /6/

Raepuhallus jäysteenpoistossa jakaantuu muutamaankin eri luokkaan: kuivapuhallus, märkäpuhallus, mikropuhallus, kryogeeninen puhallus ja jääpuhallus. Raepuhalluskoneet koostuvat tyypillisesti suljetusta kammioista, jonne työstettävä kappale asetetaan. Automaattisesti tai käsin ohjattavista suuttimista kohdistetaan raesuihku työstettävää särmää kohti. /6/

Raepuhallusmenetelmissä rakeen materiaali ja geometria on suurin yksittäinen vaikuttava tekijä lopputuloksen kannalta. Rakeen materiaalit vaihtelevat pehmeästä natriumkarbonaatista aina kovempiin keraamisiin materiaaleihin. Rae voi olla lasikuulaan tapaan säännöllisen pyöreä, tai aggressiivisemmän alumiinioksidin tapauksessa terävsärmäinen. Rakeen koko vaihtelee aina hienosta pölystä halkaisijaltaan muutaman millimetrin kokoihin kuuluihin. /6/

Raepuhallus on kustannustehokas ja helposti automatisoitava menetelmä. Hyvin optimoidun prosessin vaiheajat ovat lyhyitä, ja kappaleet ovat tasalaatuisia. Raepuhallusta on usein mahdollista kohdistaa ainoastaan työstettävään särmään. Viereiset pinnat ovat usein työstön vaikutuksen alla, ja tästä voi tulkita pinnanlaatutoleransseja omaavilla kappaleilla muodostuvia ongelmia. /6/



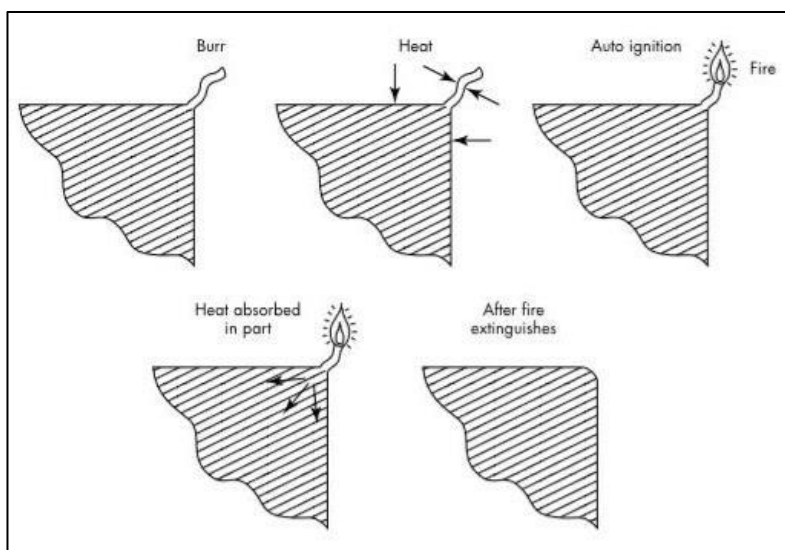
Kuva 14. Risteävien reikien jäystöä mikropuhaltamalla.

4.2.4 Lämpöenergiamenetelmät

Lämpöenergiamenetelmiä käytetään valupurseiden ja ohuiden jäysteiden poistoon. Myös räjäytysjäystöksi kutsutussa menetelmässä kappale laitetaan painetiiviiseen kammioon, joka täytetään paloherkällä kaasuseoksella. Kaasuseos sytytetään, ja kiivas paloreaktio kohottaa kammion lämpötilan jopa 4000 °C:een muutaman mikrosekunnin ajaksi. Lyhyt paloreaktio ehtii vaikuttaa vain selvästi poikkileikkaukseltaan pienimpiin osiin, kuten jäysteisiin ja purseisiin. Esimerkiksi teräskappaleissa jäysteet höyrystyvät rautaoksideiksi, ja poistuvat kammioista palokaasujen mukana. /6, 10/

Räjäytysjäystössä on monia suuria etuja perinteisiin menetelmiin verrattuna. Kappaleen monimutkaiset piirteet, kuten risteävät reiät muut vaikeasti saavutettavat kohdat eivät muodostu ongelmiksi. Jäyste höyrystyy joka puolelta kappaletta muutaman mikrosekunnin aikana, joten valmisteluineen prosessiajat ovat muutaman kymmenen sekunnin luokkaa. Lisäksi pienempiä kappaleita voidaan jäystää useita kerralla, jolloin tehokkuus kasvaa entisestään. /6/

Kappaleen materiaalin suhteen on joitakin rajoittavia tekijöitä. Teräkset, joiden kovuus on yli 40 Rockwellia, eivät yleensä sovellu lämpöenergiamenetelmillä jäystettäväksi. Prosessin korkea lämpötila voi myös joissain tapauksissa vaikuttaa kappaleen metallurgisiin ominaisuuksiin ei toivotulla tavalla. /6/



Kuva 15. Lämpöenergiamenetelmän periaate /6/.

4.2.5 Korkeapainevesijäystö

Korkeapainevesijäystössä kappaleen haluttuihin kohtiin kohdistetaan vesisuihku erittäin korkeassa paineessa (340–690bar), joka poistaa jäysteen ja samalla poistaa mahdolliset epäpuhtaudet pinnoilta. Korkeapainevesijäystöön on varta vasten tarkoitukseen suunniteltuja CNC-ohjattuja koneita, missä joko suutinta tai työstettävää kappaletta liikutellaan työalueella. Myös joustavampia robottisolusovelluksia löytyy, jossa suuttimet on kiinnitetty robotin tarttujaan. /11/

Korkeapainevesijäystö on täysin kemikaalivapaata, ja kappaleen pesu voidaan suorittaa luonnollisesti samassa yhteydessä. Menetelmä poistaa löyhästi kappaleessa kiinni olevan jäysteen, ja esimerkiksi plastisessa muodonmuutoksessa syntyvät jäysteet jäävät irtoamatta. Menetelmä toimii parhaiten pehmeisiin materiaaleihin, kuten alumiiniin ja valurautaan. /6, 11/



Kuva 16. ABB:n toimittama korkeapainevesijäystösolu.

5 KEHITTÄMISPROSESSI

5.1 Kehittämisen prosessin kulku

Kehittämisen prosessi alkoi nykyiseen jäysteenpoistoprosessin tekijöihin ja olosuhteisiin huolellisesti tutustumalla. Nykyprosessissa olevat ongelmat tunnistettiin, ja pyrittiin ratkaisemaan nämä ongelmat uusia jäysteenpoistomenetelmiä etsimällä. Suuria olemassa olevan linjaston muutoksia vaativien menetelmien soveltuvuutta tutkittiin teoriasolulla, ja niitä on esitelty aiemmin tässä raportissa.

Nykyisenkaltaisia robottipohjaisia menetelmiä testattiin useita kertoja kiertokankiverstaan jäysterobottisolussa, ja näiden testien tuloksista kerrotaan tässä kappaleessa. Nykyisen menetelmän suurimmaksi ongelmaksi katsottiin koneviilatyökalujen herkkyys eri lähteistä tuleville paikoitusvaihteluille, sekä koneviilojen huono soveltuvuus ongelmakohtien piirteisiin. Tämän vuoksi pyrittiin kokeilemaan erilaisia ”pehmeitä” jäysteenpoistotyökaluja, joiden toiminta ei häiriinny paikoitusvaihteluiden takia.

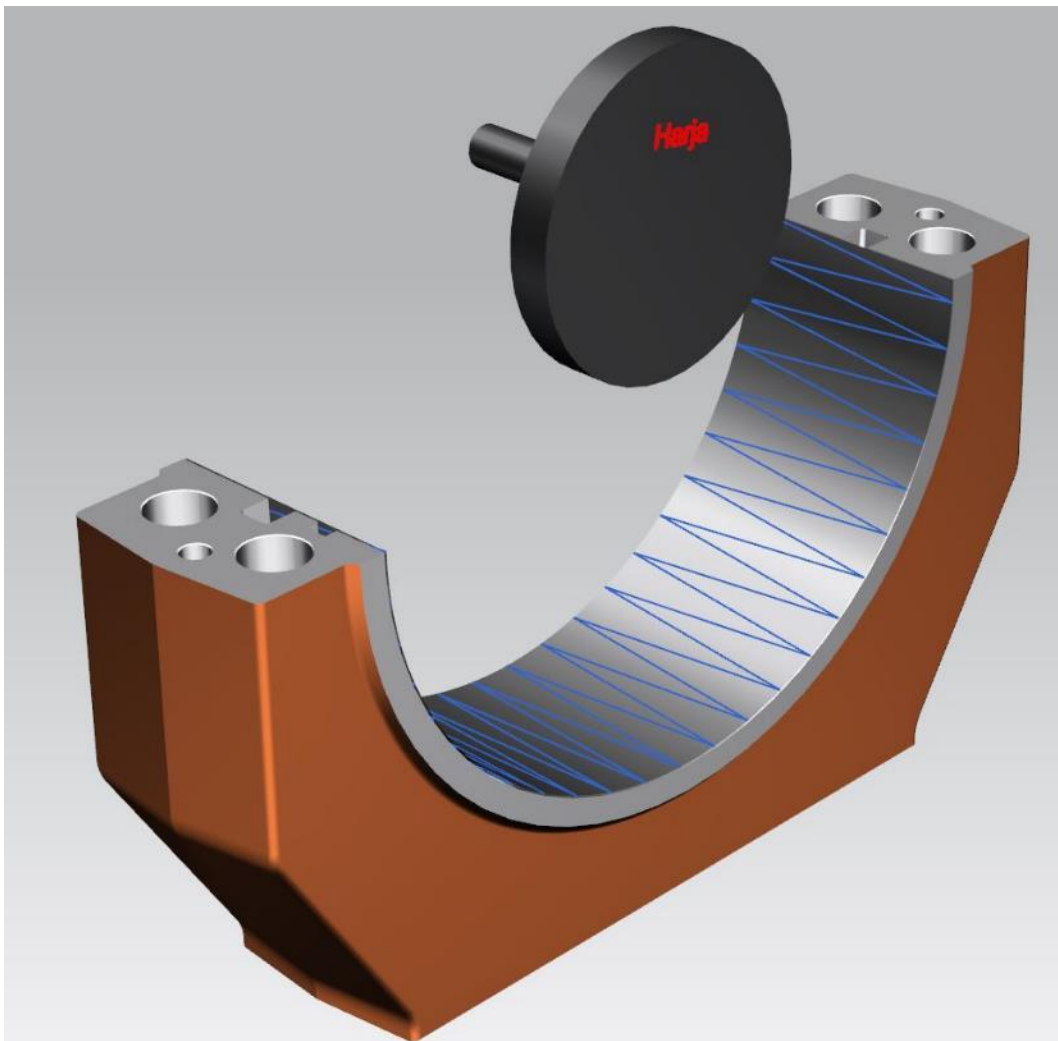
Testeissä käytettiin aluksi susittuneita kappaleita, ja loppuvaiheessa suoraan prosessista tulevia kappaleita. Testeissä keskityttiin raportin toisessa kappaleessa kuvattuihin ongelmakohteisiin, jotka nykyprosessissa jäystetään käsin. Testien kulku ja tulokset dokumentoitiin tarkasti, ja apuna käytettiin digitaalisella mikroskoopilla otettuja suurennoskuvia.

5.2 Jäysteenpoistoharjat

5.2.1 Weiler -jäysteenpoistoharja

Suunnitelmana oli kokeilla öljy- ja lukkourien ja laakeriporauksen välisten särmien jäystämistä harjaamalla koko laakeripinnan alue. Tarkoituksena oli myös muuttaa prosessin järjestystä siten, että kuulapuhallus suoritettaisiin vasta tämän jälkeen. Näin ajateltiin saavutettavan tasalaatuinen pinnanlaatu koko laakeripinnan alueelta.

Robotille tehtiin ohjelma, jossa laakeripinta työstettiin työkaluedustajan suosituksesta siksak-kuvioisella työstöradalla, samalla laakeripinnan kaarevuutta kiertäen. Testikappaleeksi valittiin susittunut jäystämätön ja kuulapuhaltamaton kappale.



Kuva 17. Laakeripinta harjattiin kokonaan sinistä työstörataa pitkin.

Jäysteenpoistolliset tulokset eivät olleet toivotunlaisia. Öljy- ja lukkourien särmät jäivät teräviksi, ja laakeriporauksen pinta kiillottui voimakkaasti. Kuulapuhallettu kappale olisi todennäköisesti jouduttu kuulapuhaltamaan uudestaan, mutta tätä ei tutkittu menetelmän huonon jäysteenpoistokyvyn takia enempää.

Öljy- ja lukkouraan muodostuu koneistusmenetelmän takia kääntöjäystettä hienokoneistuksen syötön suuntaisesti. Laakeripinnan kaarevuuden, ja robotin ulottuvuuden takia harjaus joudutaan tekemään samansuuntaisesti, eikä harjaspäiden iskuja saada suunnattua jäystettä vastaan. Tästä syystä tällä menetelmällä ei saavutettu toivottuja tuloksia.

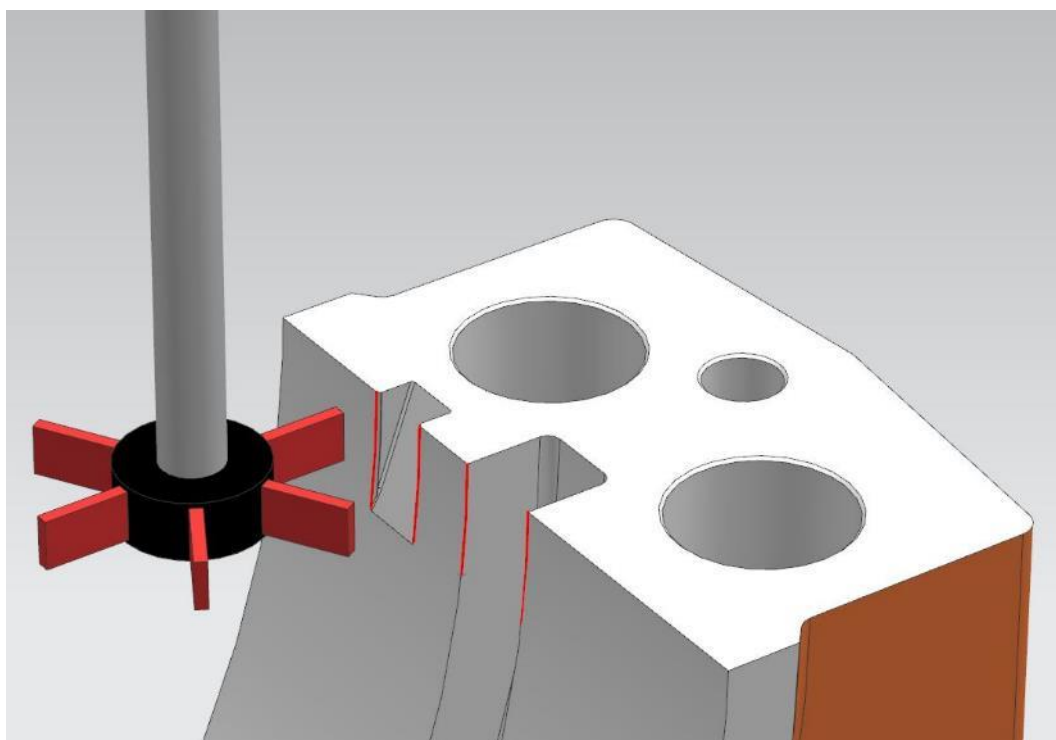


Kuva 18. Laakeripinta kiillottui voimakkaasti harjauksesta.

5.2.2 Xebec W-A11-50 -jäysteenpoistoharja

Xebec W-A11-50 on halkaisijaltaan 50 mm:ä oleva jäysteenpoistoharja, jonka harjakset on valmistettu keraamisesta materiaalista. Harjan pienen koon takia se soveltuu paikalliseen, ja Weilerin harjaa aggressiivisempaan työstöön. Harjalle suunniteltiin menetelmä, jossa työstö kohdistettaisiin suoraan ongelmallisiin öljy- ja lukkourien särmiin.

Työkalu sovitettiin robotin karalle, ja ohjelmoitiin työstöradat. Tällä kertaa harjasten työstösuunta pyrittiin suuntaamaan jäystettä vasten parempien tulosten aikaansaamiseksi. Harjalla työstettiin sekä lukkouran, että öljyuran yläosa (Kuva 19). Öljyuran alaosaa ei päästy jäystämään hankalan asennon takia.



Kuva 19. Harjalla pyrittiin suorittamaan työstö jäystettä vasten.

Tulokset olivat suuriltaosin positiivisia. Harja selvästi irrotti jäysteen urien särmistä, mutta mitään silmällä havaittavaa suurta pyöristystä tai viistettä ei syntynyt. Viereisille pinnoille tuli jonkin verran työstön jälkeä, mutta ei sellaista, mitä ei saataisi kuulapuhalluksessa poistettua. Visuaalisen tarkastuksen tueksi otettiin mikroskoopilla suurennettuja kuvia. Kuvassa 20 olevan katkoviivan yläpuolella on harjattua särmää, ja alapuolella harjaamatonta. Harjattuun särmään tuleva pieni pyöristys näkyy kuvassa vaaleana.



Kuva 20. Mikroskoopilla otettu kuva öljyuran yläosan harjatusta särmästä.

Harjan varsinaista käyttöönottoa varten tulisi teettää työkalulle sopiva kara, joka olisi 90 asteen kulmassa robotin kuudenteen akseliin nähden. Näin öljyuran särmät päästäisiin työstämään oikeassa asennossa niiden koko matkalta. Lisäksi harjan kulumista tulisi tutkia, ja määrittää ohjelmaan työstöradan kompensointi harjan käyttöön perusteella.

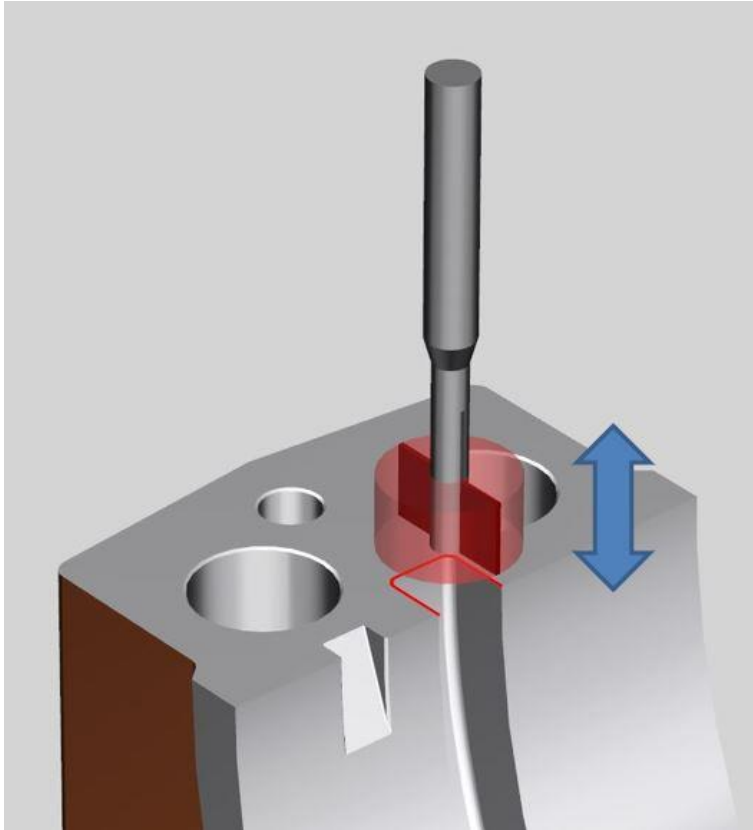
5.3 Pulmek Formflap Grinder -hiomaliuskatyökalu

Solussa oli jo ennestään käytössä Fastemsin toimittama hiomaliuskatyökalu, jolla jäystettiin pääasiassa kierrereikien suita. Työkalussa on kärjet, joiden väliin taiteetaan palanen hiekkapaperia. Hiomaliuskatyökalu viedään jäystettävän reiän suulle, ja työkalun pyöriessä käytetään sitä reiän sisällä. Hiekkapaperi taittuu reiän muotojen mukaisesti, ja tekee reiän suulle pyörityksen.

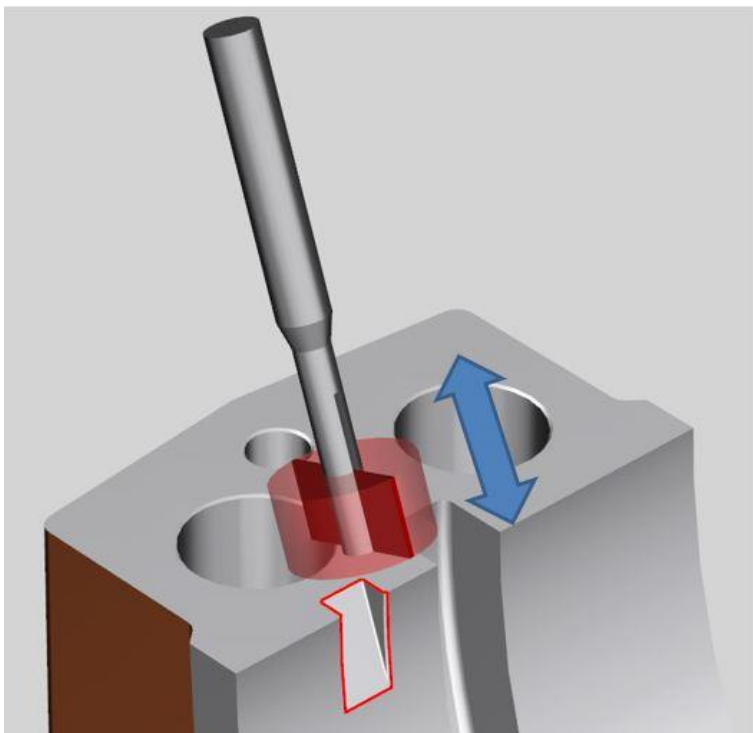


Kuva 21. Pulmek Formflap Grinder -hiomaliuskatyökalu.

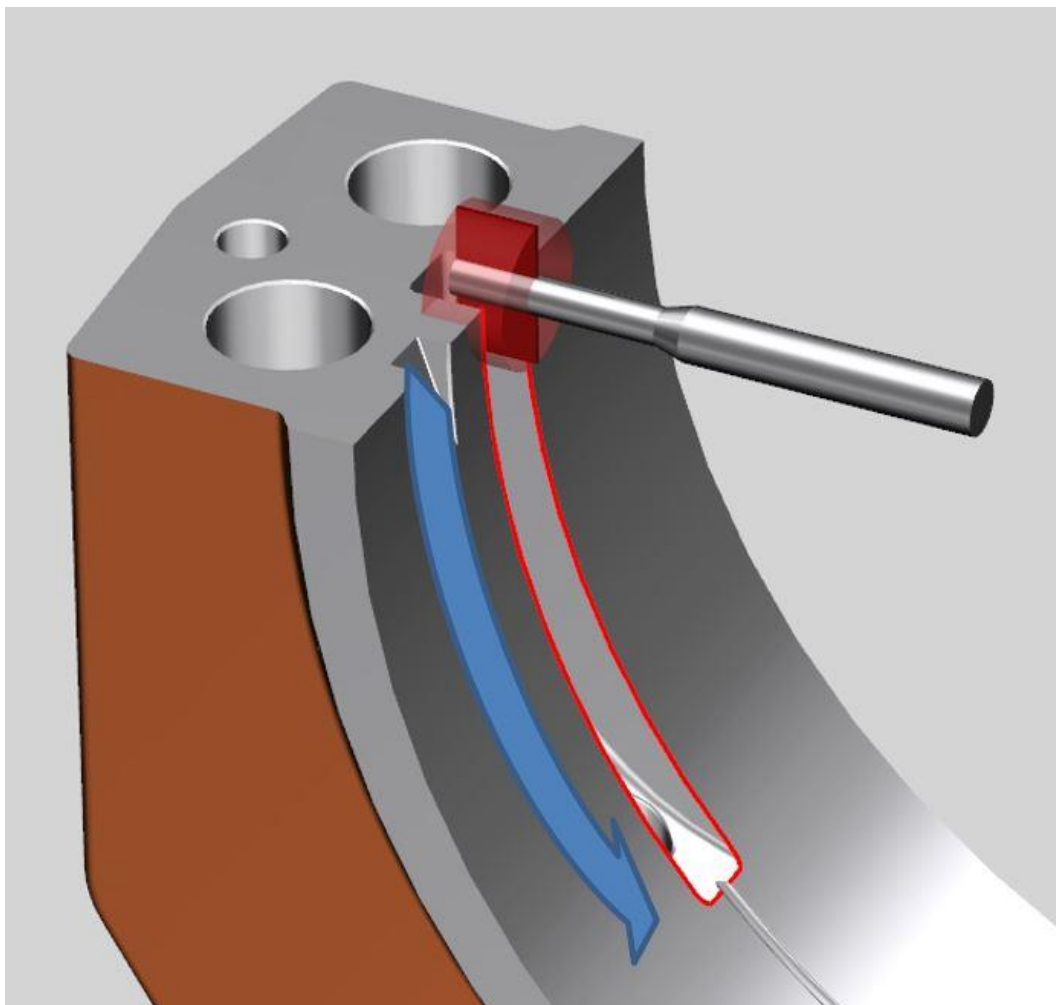
Hiomaliuskatyökaluun teetettiin aiempaa kapeammat kärjet, ja kokeiltiin työkalun soveltuvuutta lukko- ja öljyurien jäystöön. Robotille tehtiin ohjelmat, joissa jäystettiin ensin sekä lukko- että öljyuran liitinpinnan puoleiset särmät (Kuvat 22 ja 23). Tämän jälkeen työkalu käännettiin liitinpinnan suuntaiseksi, ja jäystettiin öljyuran ja laakeripinnan väliset särmät laakeripinnan kaarevuutta mukailleen (Kuva 24).



Kuva 22. Öljyuran ja liitintason yhtymäkohdan särmien jäystö.



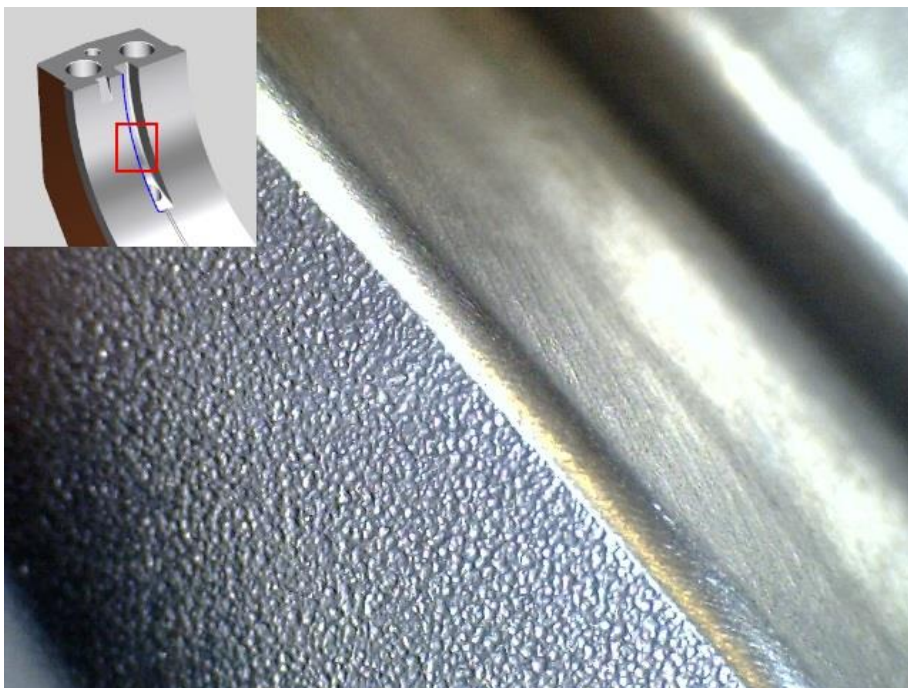
Kuva 23. Lukkouran särmien jäystö.



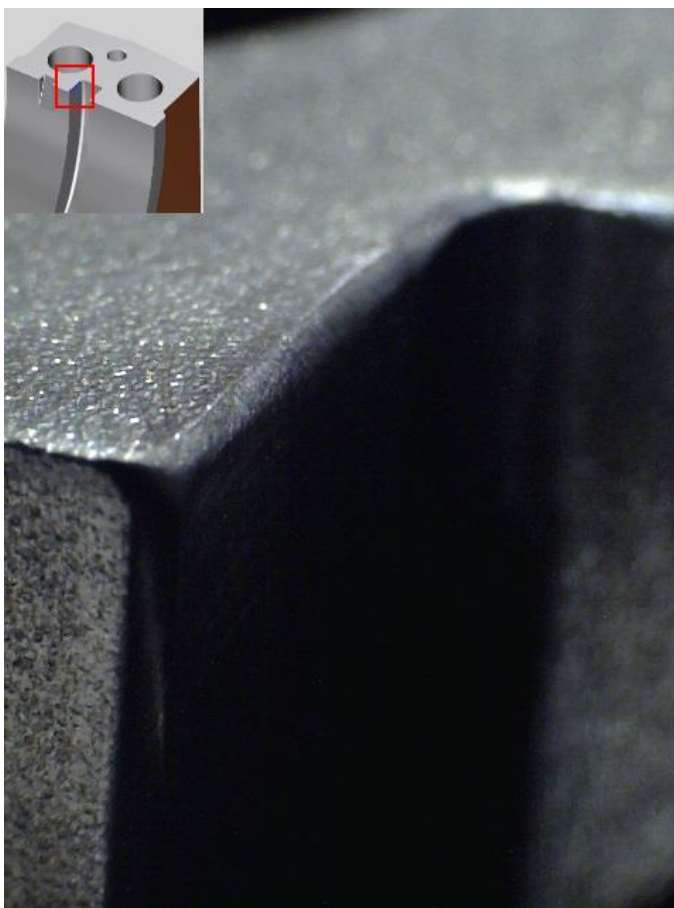
Kuva 24. Öljyuran ja laakeripinnan välisten särmien jäystö.

Tulokset olivat pääasiassa positiivisia. Hiomaliuskatyökalu teki työstettäviin särmisiin reilun pyörityksen, ja jälki oli tasaista. Viereisiin pintoihin ei tullut huomattavia hiomapaperin iskeymäjälkiä, kuten ennen testausta pelättiin. Kuvissa 25 ja 26 on mikroskoopilla kuvattuja suurennoksia työkalulla jäystetyistä särmistä.

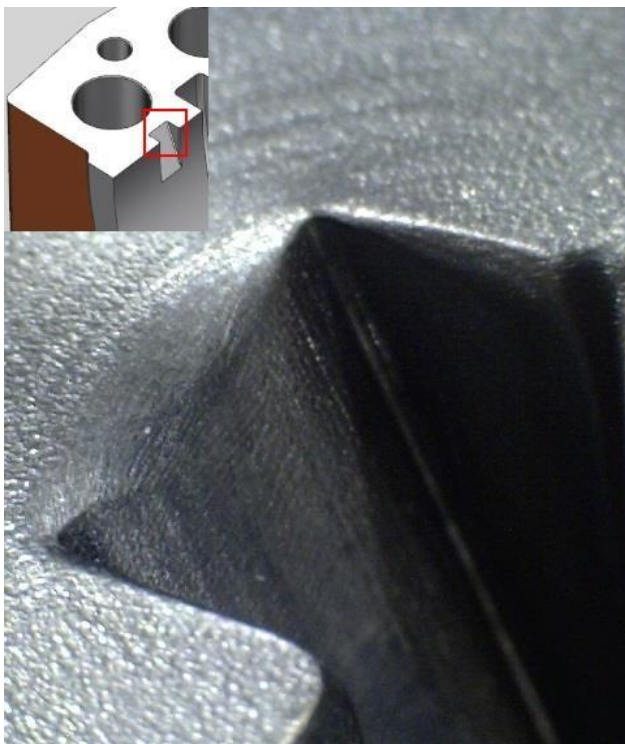
Ongelmakohdiksi osoittautuivat jälleen urien sisänurkkien pienet pyöritykset. Hiomapaperi oikaisee pienen sisänurkan yli, eikä sen liitinpinnan yhtymäsärmään tule juurikaan pyöritystä. Kuvissa 27 ja 28 näkyy tämä ongelma.



Kuva 25. Hiomaliuskatyökälulla jäystetty öljyuran ja laakeripinnan välinen särmä.



Kuva 26. Hiomaliuskatyökälulla jäystetty öljyuran ja liitintason yhtymäkohdan särmä.



Kuva 27. Hiomaliuskatyökälulla jäystetty lukkoura.



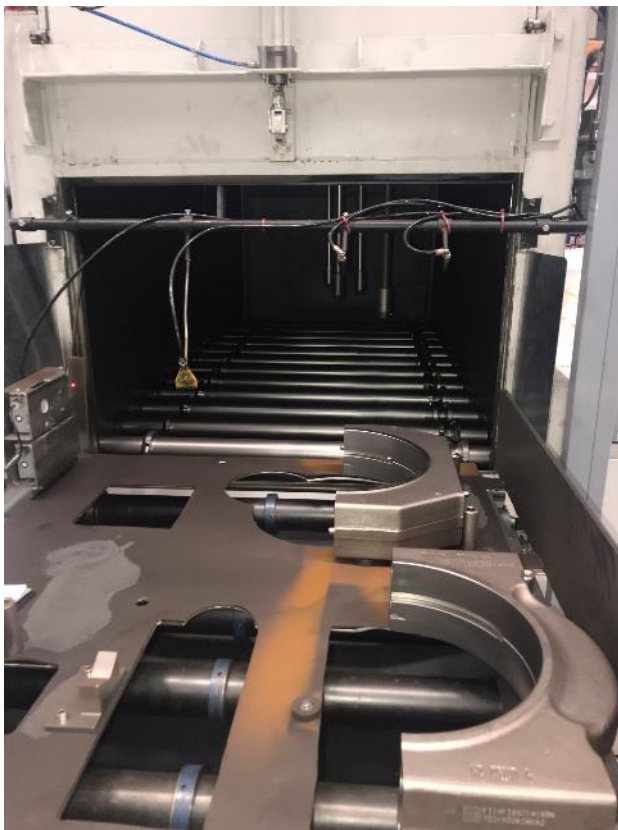
Kuva 28. Hiomaliuskatyökälulla jäystetty öljyuran ja liitinpinnan yhtymäkohta.

5.4 Kuulapuhallus

Kiertokangen komponenttien kuulapuhallus on osa viimeistelyprosessia. Tetyt koneistetut pinnat käsitellään kuulapuhalluksella, ja lopputuloksena on koneistusjälkeä huomattavasti karheampi pinta. Tällä varmistetaan riittävä kitka kokoonpanoliitosten välillä.

Kuulapuhalluksessa on toisinaan ongelmia kuulien tasaisen virtauksen kanssa. Suuttimen tukkeutuessa pinnat saattavat jäädä osittain käsittelemättä, ja kappale joudutaan palauttamaan prosessiin manuaalisesti. Lisäksi kuulapuhallus muodostaa kappaleeseen mikrojäystettä.

Kuulapuhalluskoneen käytössä oleva kuulatyyppe S170 vaihdettiin hieman isompaan S230-kuulaan. Kuulien vaihdon jälkeen puhalluksen parametrit säädettiin oikeiksi, jotta kuulavirtaus olisi mahdollisimman tasainen. Lisäksi työjärjestyksen muuttamista jäysteenpoiston ja kuulapuhalluksen osalta kokeiltiin muutamalla kappaleella.



Kuva 29. Kuulapuhalluskone.

Ensimmäisten puhallettujen kappaleiden pinnankarheet tarkastettiin pinnankarheusmittarilla. Pinnankarheuksien Ra-arvot olivat toleranssien sisällä, mutta Rz-arvot olivat korkeita varsinkin alaosien liitinpinnoilta mitattuna. Tämän kuitenkin tiedetään kokemuksesta olevan yleistä, kun kuulat on vasta otettu käyttöön. Puhallussuuttimien tukkeutumista aiheuttavia ongelmia tulee seurata jatkossa, jotta tiedetään, poistiko kuulien vaihto tätä ongelmaa.

Työjärjestyksen muuttaminen sellaiseksi, että jäystö tapahtuu ennen kuulapuhallusta, onnistui pienellä tuotannonohjausjärjestelmän huijauksella. Kappaleet otettiin erilleen muista, ja niitä tutkittiin ennen käsin tehtävää viimeistelyjäystä. Oletus oli, että kuulapuhallus saattaisi muodostaa mikrojäystettä jo kerran jäystettyihin särmiin, ja kappale ei kelpaisi eteenpäin meneväksi.

Tarkastajan palautteen perusteella liitinpintojen ja öljyurien särmit olivat kosketettaessa terävän tuntuisia, ja ne tulisi jäystää uudelleen. Kuulapuhalluksen muodostama mikrojäyste on erittäin pienikokoista, mutta nykyisillä laatuohjeilla se joudutaan poistamaan kappaleesta. Mikrojäystettä ei näe paljaalla silmällä, mutta se on nähtävissä kuvan 30 mikroskoopilla otetussa suurennoksessa.



Kuva 30. Mikrojäystettä öljyuran ja laakeripinnan välisessä särmissä.

6 JATKOKEHITYS JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Jatkokehitys

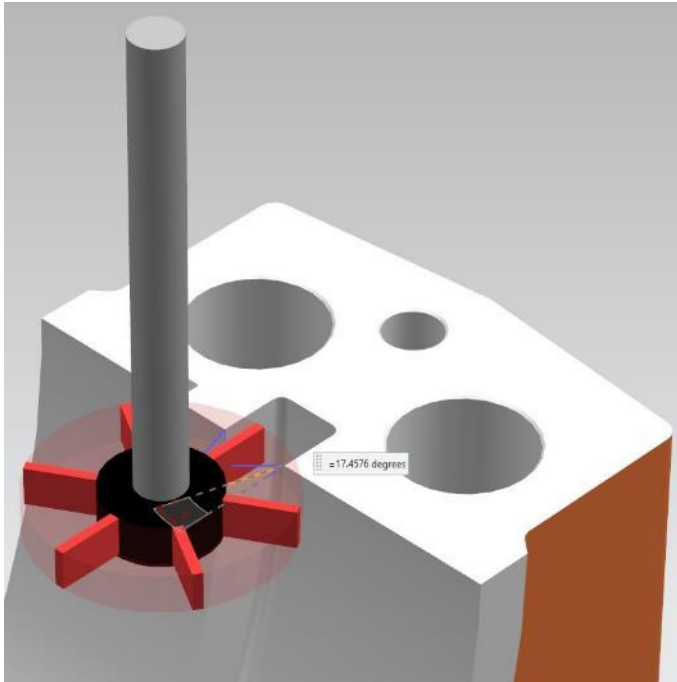
Jäysterobottisolussa tehdyissä testeissä havaittiin useita tekijöitä, jotka vaativat jatkokehitystä ennen menetelmien varsinaista käyttöönottoa. Useimmat ongelmat johutuivat vanhojen työkalujen karojen käytöstä uusien työkalujen kanssa. Näillä karoilla ei päästy tekemään jäysteenpoistoa joka kohdassa ihanteellisesta suunnasta ja asennosta.

Asento tulee ongelmaksi erityisesti halkaisijaltaan pienen Xebec-jäysteenpoistoharjan kanssa. Öljyurissa harjaus pitäisi saada kohdistettua jäystettä vasten, mutta pitkän karan takia tätä asentoa ei saada toteutettua muuta kuin uran yläosassa.

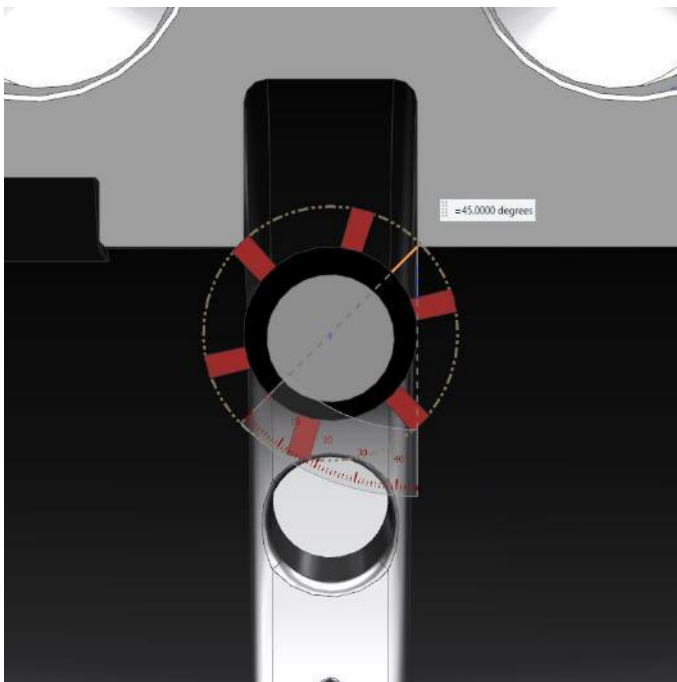


Kuva 31. Isokokoisien karan takia työkalua ei saada optimaaliseen asentoon.

Harjan valmistaja suosittelee työstön tapahtuvan 45° kulmassa särmää vastaan. Öljyuran kapeuden takia tämä ei ole mahdollista työkalun osuessa vastapuolen särmään. Halkaisijaltaan 50 mm suuresta harjasta pitäisi muokata 22 mm:nen versio, jotta uran särmät voitaisiin harjata ihanteellisessa kulmassa.



Kuva 32. 50 mm harjalla ei päästä ihanteelliseen työstökulmaan.



Kuva 33. 22 mm harjalla päästäisiin ihanteelliseen työstökulmaan.

Alaosien öljyreikien jäystä ei robotilla päästy kokeilemaan. Uran pohjalla kaarevalla pinnalla sijaitseva öljyreian suu, ja siihen vaadittava iso pyöritys poissulkivat useita siihen ideoituja menetelmiä. Lupaavin näistä oli joustavalla teräpalalla varustettu pyöristystyökalu, mutta työkalutoimittajan mukaan se ei sovellu kohteeseen juuri pitkältä matkalta kaarevan reiän suun takia. Lisäksi suuren pyöristykseen aikaansaaminen olisi ollut hankalaa tällä työkalulla.

Samantyyppisiä joustavaan teräpalaan perustuvia työkaluja tulee jatkossa tutkia lisää, ja pyytää useammilta valmistajilta arviota työkalun soveltuvuudesta öljyreian jäystämiseen.



Kuva 34. Heule COFA -pyöristystyökalu.

6.2 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tuloksena tehtiin kattava selvitys jäysteen ja jäysteenpoiston teoriasta W32/W34 -kiertokangen valmistusprosessin kannalta. Erilaisia jäysteenpoistomenetelmiä tutkittiin ja testattiin toimeksiantajan mahdollista käyttöönottoa varten.

Jäysteen muodostumista ja sen optimointia ei tällä hetkellä juurikaan oteta huomioon kiertokankien valmistusprosessissa. Optimointi on aina kompromissien tekoa muiden tekijöiden kanssa, mutta jäysteen muodostumiseen vaikuttavat tekijät olisi hyvä tiedostaa. Lisäksi jäysteenpoiston laatuvaatimuksia tulisi edelleen tarkastella kriittisesti ylilaaadun välttämiseksi.

Komponenttien suunnitteluun liittyviksi ongelmiksi tunnistettiin alaosissa öljylukkourien yhtymäkohdat liitintasoon. Yhtymäkohtien pienet pyöritykset aiheuttivat useita ongelmia sekä vanhoilla, että uusilla menetelmillä. Teknistä mahdollisuutta pyöritysten kasvattamiseen käytiin läpi teknologiaorganisaation eksperttien kanssa, ja tämä todettiin alustavasti mahdolliseksi. Valmistusmielessä pyöritysten kasvattamisen todettiin olevan mahdollista koneistustyökalujen teräpaloja vaihtamalla.

Jo jäysteenpoistorobottisolun ongelmien kartoitusvaiheessa tuli selväksi, että koneviilan tyyppisiä työkaluja tulee välttää solun työkalustuksessa. Sen sijaan robotilla tulisi siirtyä ”pehmeisiin” työkaluihin, kuten jäysteenpoistoharjoihin ja hiomaliuskatyökaluihin. Näitä työkaluja testattiin solussa menestyksekkäästi, mutta lopullista käyttöönottoa ei voida vielä tehdä. Työkaluille pitäisi teettää kulmapääkaroja, joiden avulla voitaisiin toteuttaa jäysteen vaatimat asennot ahtaassa tilassa.

Pehmeiden työkalujen käytössä eräs ongelma on se, että ne usein väistämättä työstävät myös särmän viereisiä pintoja. Tämän takia komponenttien kuulapuhallus olisi hyvä tehdä vasta jäysteenpoiston jälkeen, jolloin mahdolliset pinnoille tulleet jäljet saataisiin poistettua. Kuulapuhallusprosessin parametreja tulee optimoida niin, että siitä ei muodostu uutta mikrojäyستettä. Toisaalta laatuvaatimuksia pitää myös tarkastella kriittisesti tämänkaltaisen mikrojäysteen vakavuuden osalta.

Muista tutkituista menetelmistä erityisesti räjäytysjäystö osoittautui potentiaalliseksi vaihtoehdoksi. Tämän menetelmän soveltuvuutta voitaisiin testata lähettämällä järjestelmätoimittajalle testikappaleita jäystökokeiluja varten. Lisäksi jäysteenpoisto kohdistetulla raepuhalluksella nousi teknisten etujensa takia tulevaisuudessa kokeiltavien menetelmien listalle.

Koko viimeistelyprosessiin on tulossa hyvä hetki tehdä muutoksia, kun kääntöpöydän, ja molempien robottien uusiminen alkaa käydä ajankohtaiseksi. Samalla työkalustuksen tarkastelu ja uusien karojen hankinta tulee joka tapauksessa aiheelliseksi, ja voidaan tässä opinnäytetyössä havaitut asiat ottaa huomioon.

LÄHTEET

- /1/ Tämä on Wärtsilä. Esite. 2016. Viitattu 17.2.2018. https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/local-files/finland/t%C3%A4m%C3%A4-on-w%C3%A4rtsil%C3%A4-20166aa4eb4a7f0f601bb10cff00002d2314.pdf?sfvrsn=e2ab8b45_0
- /2/ Wärtsilän historia. Verkkosivu. Viitattu 17.2.2018. <https://www.wartsila.com/fi/wartsila/historia#>
- /3/ Wärtsilän tuoteportfolio. Verkkosivu. Viitattu 17.2.2018. <https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets>
- /4/ Wärtsilä W31-esite. Verkkosivu. Viitattu 17.2.2018. https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/brochure-o-e-w31.pdf?utm_source=engines&utm_medium=dieselingines&utm_term=w31&utm_content=brochure&utm_campaign=msleadscoring
- /5/ Huhtamaa, P., Rantala, J. & Setälä, R. 1994. Auto- ja kuljetusalan erikoistumisoppi 2. Otava
- /6/ Gillespie, L. 1999. Deburring and edge finishing handbook. Society of Manufacturing Engineers
- /7/ Dornfield, D. & Min, S. 2010. A Review of Burr Formation in Machining. UC Berkeley
- /8/ Ryuh, B. & Pennock, G. 2006. Robot Automation Systems for Deburring, Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications, Low Kin Huat
- /9/ Bogue, R. 2009. Finishing robots: a review of technologies and applications. Emerald Group Publishing Limited
- /10/ Willcut, R. 2015. Burning Away the Burrs. Modern Machine Shop Magazine. Viitattu 3.3.2018. <https://www.mmsonline.com/articles/burning-away-the-burrs>
- /11/ Bertsche, R. 2007. Why Use Waterjet Deburring?. Viitattu 4.3.2018. <http://advancedmanufacturing.org/use-waterjet-deburring/>
- /12/ Oberg, E., Jones, F., Horton, H., Ryffel, H., McCauley, C. 2016. Machinery's Handbook 30th Edition - Toolbox Edition.