

Jonni Virtanen

LASTUNMUODOSTUKSEN HALLINTA VÄHÄLYIJIYISEN
MESSINGIN KONEISTUKSESSA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2013

LASTUNMUODOSTUKSEN HALLINTA VÄHÄLYIJYISEN MESSINGIN KONEISTUKSESSA

Virtanen Jonni
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2013
Ohjaaja: Teinilä Teuvo
Sivumäärä: 70
Liitteitä: 5

Asiasanat: lastun muodostus, poraus, lyijy, messinki

Opinnäytetyön aiheena oli löytää ratkaisuja vähälyijyisen messingin koneistuksessa esiintyviin lastunmuodostukseen liittyviin haasteisiin. Tämä työ on tehty Oras Oy:lle joka on siirtynyt hanavalmistuksessa materiaaleihin, jotka sisältävät vähemmän lyijyä kuin ennen.

Työssä esitellään muutamia erilaisia koneistusmenetelmiä sekä lastunmuodostuksen teoriaa. Itse työ tehtiin niin, että suunniteltiin erilaisia koneistustyökaluja, hyödyntäen Aalto Yliopistolla tehtyjä FEM simulointi tuloksia. Sen jälkeen näille suunnitelluille terille tehtiin lastuamiskokeet alustavien teräkokeiden perusteella valituilla työstöarvoilla.

Työn lopussa esitellään teräkokeiden avulla löydetyt ratkaisut ja tehdyt johtopäätökset sekä annetaan lisätutkimusehdotus.

CONTROL OF THE CHIP FORMATION AT MACHINING LOW-LEAD BRASS

Virtanen Jonni

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

May 2013

Supervisor: Teinilä Teuvo

Number of pages: 70

Appendices: 5

Keywords: chip formation, drilling, lead, brass

The purpose of this thesis was to find solutions for chip formation challenges that has occurred at machining of low lead brass. This thesis is made for Oras Oy, which has changed their production materials more and more towards lead free materials.

In this study few typical machining methods are presented briefly and also chip formation theory is presented. For the cutting tests we designed different kind of machining tools with different kind of tool geometry, as a guideline for this part we used simulation test results that was made at Aalto University.

Then we made cutting tests with designed tools, we used cutting parameters that had chosen based on preliminary cutting tests.

At the end of this study is presented results of the cutting tests, founded solutions and conclusions. Also recommendation for further studies is presented.

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

v_c	Lastuamisnopeus, työkalun kehänopeus, m/min
v_f	Syöttönopeus, mm/min
f_z	Syöttö lastuavaa terää kohti moniteräisissä työkaluissa, mm/r
D	Työkalun halkaisija, mm
R	Säde, mm
z	Lastuavien terien määrä
γ	Rintakulma, rintapinnan ja työkalukoordinaatiston välinen kulma työkalukoordinaatistossa tarkasteltuna
α	Päästökulma, päästöpinna ja lastuttavan kappaleen pinnan tangentin välinen kulma työkalun ortogonaalitasossa tarkasteltuna
β	Teroituskulma, päästöpinna ja rintapinnan välinen kulma työkalun ortogonaalitasossa tarkasteltuna
ρ	Kitkakulma
κ	Asetuskulma

SISÄLLYS

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET	4
1 JOHDANTO.....	7
2 ORAS OY.....	8
2.1 Yrityksen esittely	8
2.2 Koneistus Oraksella	8
3 LASTUAVAN TYÖSTÖN MENETEMÄÄ	9
3.1 Poraaminen	9
3.1.1 Tekniikka.....	9
3.1.2 Erikoisporat	9
3.2 Jyrsiminen.....	9
3.3 Sorvaaminen	10
3.4 Avartaminen.....	10
4 LASTUN MUODOSTUS JA HALLINTA.....	10
4.1 Lastuaminen.....	10
4.2 Lastunmuodostusmallit.....	11
4.3 Liukukulma	14
4.4 Lastun tyssäymä.....	15
4.5 Lastun muoto ja murtuminen	15
4.5.1 Muotoon vaikuttavat tekijät	16
4.5.2 Geometria ja siihen vaikuttavat tekijät.....	16
4.5.3 Murtumiseen vaikuttavat tekijät.....	16
4.5.4 Lastuamisgeometria	17
4.5.5 Lastuamisarvot	20
4.5.6 Lastuamisnesteet	20
4.5.7 Lastun murtajat.....	21
5 MESSINKI	22
5.1 Oraksen käyttämä normaali messinki	22
5.2 Vähälyijyinen messinki.....	23
5.3 Materiaalien erot alustavissa testeissä	23
5.4 Materiaalikoeket	24
6 FEM-SIMULOINTI	27
7 LASTUAMISKOKEET	30
8 TERÄKKEET.....	31
8.1 Teräkoe 1	31
8.1.1 Rintakulma 0°.....	32
8.1.2 Rintakulma 5°.....	34

8.2	Teräköe 2	38
8.2.1	Rintakulma 10°	38
8.3	Teräköe 3	42
8.3.1	Rintakulma 10°	43
8.4	Teräköe 4	47
8.4.1	Rintakulma 0° ilman pyöröhiontaa	47
8.4.2	Yhteenvedo	48
8.5	Teräköe 5	48
8.5.1	Aksiaalinen kulma 5° ja radiaalikulma 5°	48
8.5.2	Radiaalikulma viisi astetta	52
8.5.3	Murtajaurat ja nirkossa R 0.5 pyörästys	56
8.5.4	Murtajaurat ja nirkossa 0.5 X 45° viiste.....	61
8.5.5	Lastunmurtaja.....	65
9	YHTEENVETO TULOKSISTA JA PÄÄTELMÄT	68
	LÄHTEET	70

1 JOHDANTO

Tulevaisuudessa vesikalustevalmistajat joutuvat muuttuvien lainsäädäntöjen takia siirtymään lyijyttömiin valmistusmenetelmiin, siksi Oraksella on aloitettu messinkirunkoisten hanojen valmistaminen lyijyttömästä messingistä. Se on havaittu vaikeammaksi kuin sen odotettiin olevan, valmistuksen joka vaiheessa valamisesta aina hiontaan ja kiillotukseen asti on tullut esiin ongelmia. Tämän työn tarkoituksena on löytää ratkaisuja koneistuksen osalta näihin ongelmiin. Työ on haasteellinen, koska se sisältää niin paljon erilaisia muuttujia.

Mukaan on myös otettu Aalto-yliopisto, jossa on suoritettu FEM-simulointeja. Simuloinneilla on haettu lähtökohtia lastuamisparametreihin ja työkalusuunnitteluun. Tämän työn yksi tarkoitus on myös todentaa simuloinneilla saatujen tulosten toimivuus käytännön kokein.

Työ suoritetaan erilaisin teräkokein, joissa testataan erilaisia lastuamisarvoja ja erilaisia terägeometrioita.

Alussa esitellään hieman työn tilaajaa, joka on Oras Oy. Tutustutaan tehtaan koneistusosastoon, sen toimintaan ja konekantaan. Teoriaosuudessa on asiaa yleisellä tasolla lastunmuodostuksesta, terägeometriasta ja lastuavasta työstöstä. Lisäksi esitellään käytössä olevaa materiaalia sekä lyijytöntä materiaalia ja niiden eroa. Lisäksi esitellään Aalto-yliopistossa tehtyjen simulointien tuloksia.

Sitten kerrotaan testeistä, niiden kulusta ja lopuksi testien aikana tehdyt havainnot ja niistä saadut tulokset.

2 ORAS OY

2.1 Yrityksen esittely

Oras Oy on perustettu 1945. Se on Oras Invest Oyn omistama perheyhtiö, jolla on tehdastoimintaa Raumalla ja Puolan Olesnossa. Raumalla sijaitsee myös yrityksen pääkonttori. Oraksen liikevaihto oli vuonna 2011 129 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä 1000 henkilöä. /1/

Oras kehittää, valmistaa ja markkinoi talotekniikan vesijärjestelmän tuotteita jotka ovat käyttäjäystävällisiä ja ekologisia. Oraksen visio on olla elektronisten hanojen Euroopan markkinoiden johtaja. /1/

2.2 Koneistus Oraksella

Koneistus toimii kolmessa vuorossa. Osastolla on noin kolmekymmentä erilaista työstökoneita, joilla valmistetaan hana- ja venttiilirunkoja. Neljä- ja viisiakselisilla työstökeskuksilla koneistetaan vähälyijyistä messinkiä.

Viisiakselisen työstökeskuksen lastunkäsittely on varustettu vähälyijyisen messingin lastunmurskaimella. Hankintakustannukset murskaimelle ovat noin viisikymmentä tuhatta euroa. /11/

Tämän tutkimuksen lastuamiskokeissa käytetään työstökeskusta, joka on YCM:n valmistama 4-akselinen pystykarainen Supermax työstökeskus. Kone on varustettu 20 bar:n karanläpihuuhelulla.

Koneen karan nopeus on kuusituhatta kierrosta minuutissa, työkalun kiinnityskartio on BT40. Pöydän koko on 1000mm kertaa 600mm. X-akselin liikerata 900mm, Y-akselin 600mm ja Z-akselin 630mm. Pikaliikenopeus X- ja Y-akseleilla on 16m/min ja Z-akselilla 15m/min. Syöttönopeus on 1-5000mm/min. Kone on varustettu kolmekymmentäpaikkaisella työkalumakasiinilla ja FANUCin ohjausjärjestelmällä. /2/

3 LASTUAVAN TYÖSTÖN MENETEMIÄ

3.1 Poraaminen

3.1.1 Tekniikka

Poraamalla työstetään reikiä kappaleisiin. Reikiä koneistetaan perinteisillä porakoneilla, koneistuskeskuksissa, avarruskoneissa ja sorveissa/7,213/.

Porauksessa työkalu pyörii akselinsa ympäri, syöttöliike on poran akselin suuntainen, poikkeuksena sorvi jossa kappale pyörii istukassa. Reikien toleranssien tarkentaminen ja pinnankarheuden parantaminen voi vaatia porauksen jälkeen väljentämistä, kalvintaa tai avartamista. Porausmenetelmiin liittyy myös erilaisia tasauksia ja muotouputuksia. Kovametalli on syrjäyttämässä pikateräksen porien rakenneaineena, ja kovametallisten kääntöpalojen käyttö on yleistynyt poraustyökaluissa. /8,174/

3.1.2 Erikoisporat

Erikoisporista voidaan mainita porras- ja muotoporat. Porrasporilla voidaan samanaikaisesti porata useita eri halkaisijoita ja viistää reiän suu. Muotoporilla tehdään tasauksia ja upotuksia, esimerkiksi kartioruuvien reikiä suun upotuksia. /8,183/

3.2 Jyrsiminen

Jyrsimisessä pyörivän, tavallisesti monihampaisen työkalun avulla irrotetaan lastuja kappaleesta. Jyrsimällä valmistetaan esimerkiksi tasomaisia tai käyriä pintoja ja uria sekä hammasmuotoja. Kappale kiinnitetään jyrsintäkoneeseen joka suorittaa syöttöliikkeen, pyörivä työkalu eli jyrsinterä suorittaa lastuamisen. /6,319/

3.3 Sorvaaminen

Sorvaaminen on yleisin lastuavan työstön menetelmä, kolmekymmentä prosenttia lastuavan työstön koneista on sorveja. Suurin osa nykyään käytettävistä sorveista on numeerisesti ohjattuja. Yleisin sorvi konepajoilla on vinojohteinen monitoimisorvi, jossa on monipaikkainen revolveri ja pyörivät työkalut. Se mahdollistaa kokoonpanovalmiiden osien valmistamisen aihioista. Lieriö-, taso- ja sisäpuolisen sorvauksen lisäksi voidaan koneistaa kappaleisiin kiilaurat, tasojuhrsinnät sekä akselin ja säteen suuntaiset reiät. /7,175/

3.4 Avartaminen

Avartaminen on lastuavaa työstöä. Terien muodon ja lastunmuodostuksen osalta se on sorvausta muistuttava menetelmä. /6,449/

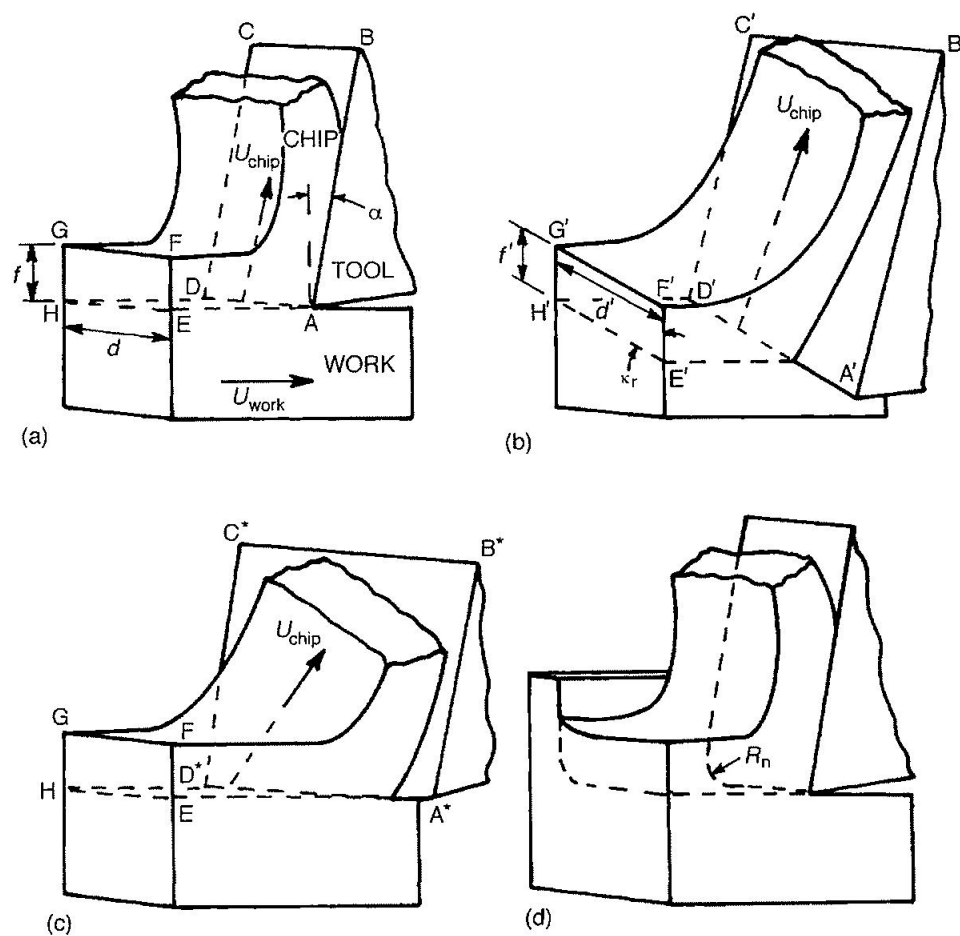
Runkokappaleiden tarkkamittaisia sovitereikiä valmistetaan avartamalla. Lähtökohdana on usein valettujen kappaleiden keernoilla valmistetut alkureiät. Avartaminen on samalla akselilla olevien erikokoisten reikien koneistamiseen soveltuva menetelmä. Tällöin yhdellä kiinnityksellä varmistetaan tarkkamittaisten ja –suuntaisten reikien toleranssit. Porrastyökalut mahdollistavat samanaikaisesti alkureiän avartamisen, reiän suun viistäminen ja erilaisten muotojen työstämisen reiän pohjalle. /7, 198-199/

4 LASTUN MUODOSTUS JA HALLINTA

4.1 Lastuaminen

Lastuamisella tarkoitetaan materiaalin poistoa valmistusaihiosta tarkoituksena tietty muoto, tämä tapahtuu geometrisesti tietyn muotoisella terällä. /7,1-3/

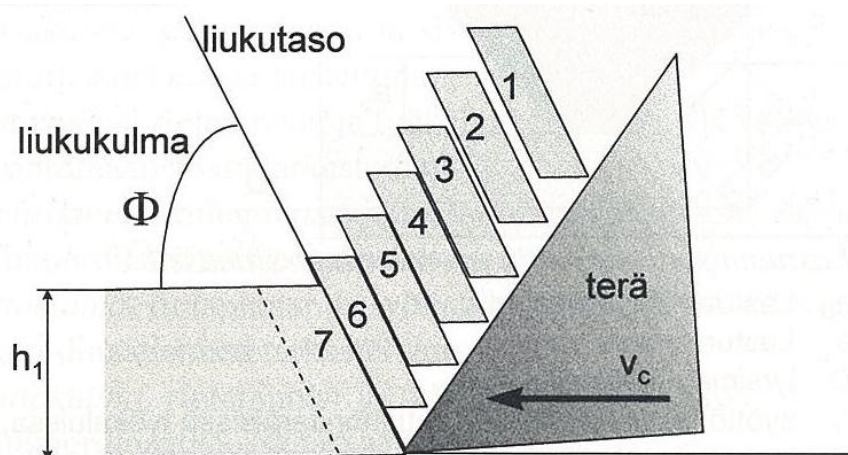
Lastuaminen on joko kohtisuoraa, viistoa tai näiden yhdistelmää, määritelmä riippuu terän asennosta, kuvassa 1 on esitetty erilaisia lastuamismalleja. /9, 37-38/



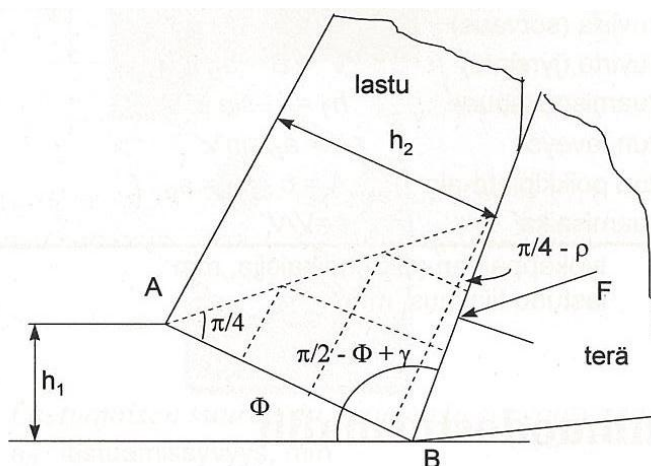
Kuva 1. a) Kohtisuora ja viisto lastuaminen b) kohtisuora lastuaminen c) viisto lastuaminen d) osittainen kohtisuora lastuaminen /9/

4.2 Lastunmuodostusmallit

Lastuamistapahtumassa on niin monia muuttujia, että vielä tähän mennessä ei ole pystytty esittämään kaiken kertovaa ja esittävää teoriaa, joka selittää kaikki kokeellisissa tutkimuksissa tehdyt havainnot. Lastun muodostusmalleja on julkaistu lukuisia, joista tässä mainitaan muutamia. Piispanen esitteli niin sanotun korttipakkamallinsa ensimmäisten joukossa, tässä mallissa työstettävä materiaali irtoaa lamellimaisena muodostaen siten lastun, kuva 2. /7, 7-8/



Kuva 2. Piispasen korttipakkamalli /7/

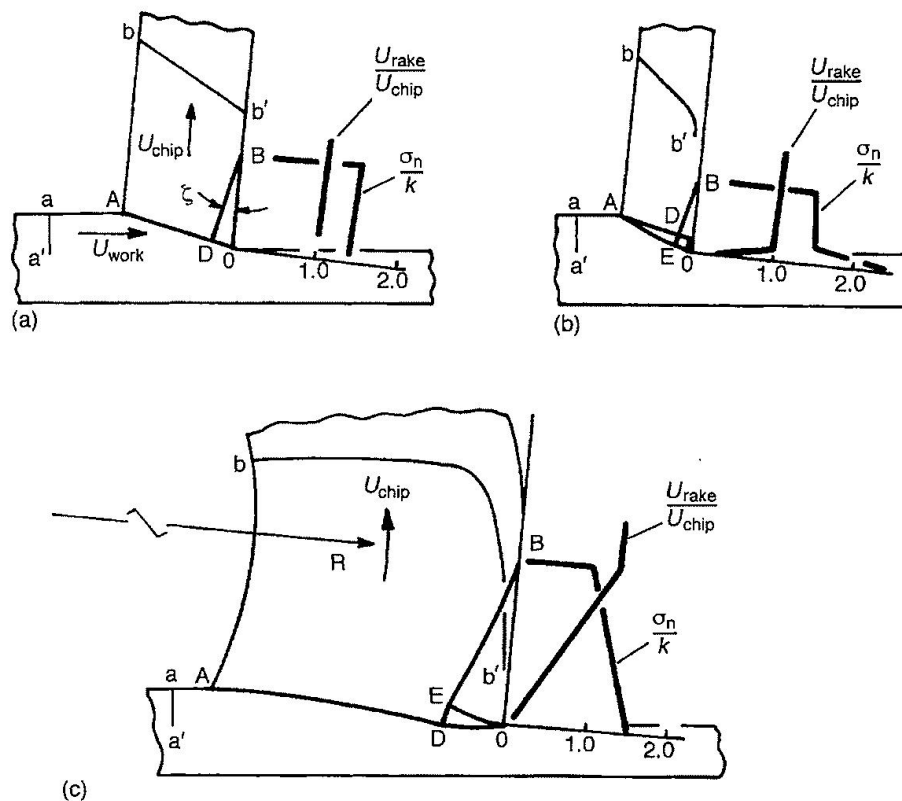


Kuva 3. Leen ja Shafferin liukuviivateoria /7/

Kuvassa 3 on Leen ja Shafferin esittelemä liukuviivateoria. Muuttujien vähentämiseksi edellä esitetyissä malleissa lastuamistilanne on yksinkertaistettu, lastuamisessa ei ole materiaalin geometrista tai syöttöliikkeestä aiheutuvia sivuttaissuuntaisia komponentteja.

Teorioiden mukaan suurin osa lastun muodonmuutoksesta ja irtoaminen materiaalista tapahtuu liukutasossa, kuvassa taso on BA linjassa. /7,8-9/

Edellä esitettyjen mallien oletukset lastuavan työkalun terävyydestä ja muodonmuutoksen tapahtumisesta tasossa yksinkertaistavat liikaa lastuamistilannetta. Liukutasomallit ovat luoneet perustan lastuamisen analyyttiselle tutkimiselle. /7,10/

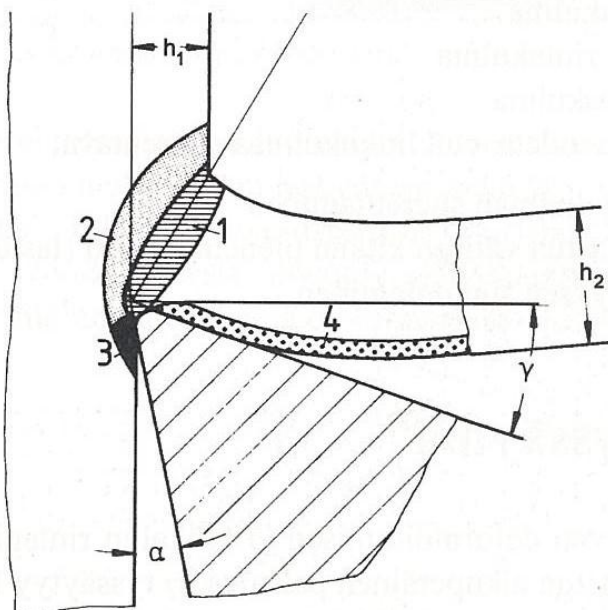


Kuva 4. a) Leen ja Shafferin liukuviivateoria b) Kudon teoria c) Dewhurstin teoria /9/

Kuvassa 4 Kudon esittelemä teoria (b), joka pohjautuu Leen ja Shafferin liukuviivateoriaan (a). Kudo on korvannut Leen ja Shafferin suoran leikkaustason AD hieman kaarevalla alueella, joka on kuvassa ADE alue. Lopputuloksena teoria esittelee ohuemman lastun ja lyhyemmän kosketusmatkan kuin Leen ja Shafferin teoria.

Kuvassa 4 Dewhurstin esittelemä teoria (c), tässä teoriassa liukutasot OA ja DB ovat kaarevia eikä suorina kuten Leen ja Shafferin teoriassa, nämä muodostavat siten myös kaarevan leikkaustason ODE. Tuloksena teoria esittelee kaareutuvan ja paksumman lastun sekä pidemmän kosketusalueen kuin Lee ja Shafferin teoriassa. /9, 162-163/

Todellisuudessa muodonmuutos tapahtuu vyöhykkeessä hieman pyöreän ja lastuamistapahtuman aikana lisää pyörityvän työkalun vaikutuksesta. Tämän seurauksena liukukulma jää epäselväksi. /7,10/



Kuva 5. Liukuvyöhykemalli /7/

Kuvassa 5 esitetään liukuvyöhykemalli, tässä lastun irtoaminen tapahtuu vyöhykkeessä.

Liukuvyöhykkeen (1) viereisellä alueella (2) jännitykset muodostavat plastista ja elastista muodonmuutosta. Työkalussa rinta- ja päästöpinna (4 & 3) vasten sijaitsevat sekundääriset muodonmuutosvyöhykkeet. /7,10/

4.3 Liukukulma

Työkalun rintakulman tai lastun jännityksen suurentamisella sekä työkalun ja lastun välisen kitkan pienentämisellä voidaan suurentaa liukukulmaa.

Liukukulma saadaan myös johdettua kaavasta (1). /7,9/

$$\Phi = (\text{arc cot } \kappa)/2 - (\rho - \gamma)/2 \quad (1)$$

4.4 Lastun tyssäymä

Työkalun ja työstettävän materiaalin törmätessä materiaali muuttaa muotoaan liukuta-
sossa ja törmäyksestä aiheutuvien voimien vaikutuksesta lastun alkuperäinen paksuus
 h_1 tyssäytyy paksuuteen h_2 :een.

Lastun tyssäymä saadaan myös johdettua kaavasta. /7,9/

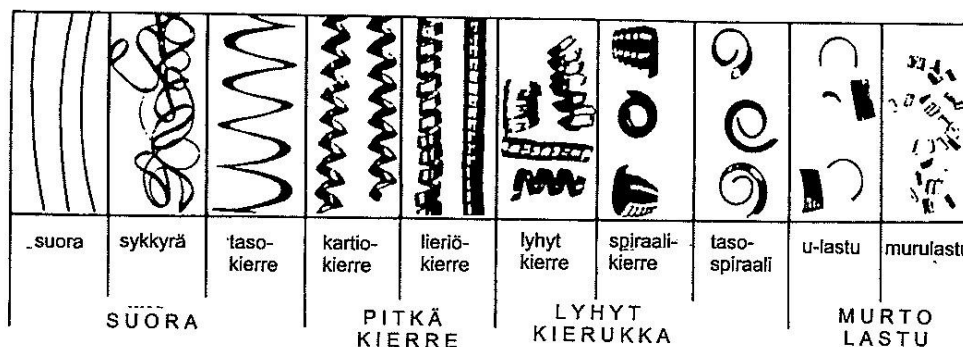
$$\lambda_c = \sqrt{1 + \frac{h}{L \cos \gamma}} \quad (2)$$

4.5 Lastun muoto ja murtuminen

Lastut luokitellaan muodon perusteella neljään luokkaan, suora, pitkä kierre, murto-
lastu ja lyhyt kierukka, joista tavoiteltavia ovat pääosin lyhytkierukkalastut. Kuvassa
6 on esitetty näitä erityyppisiä lastumalleja.

Koneenkäyttäjän tärkein tehtävä perinteisessä tuotannossa liittyy työkappaleen tai työ-
kalun ympärille kiertyvän lastun valvontaan ja poistoon. Tämä on tärkeää työstettäessä
menetelmillä, joissa lastu on jatkuvaa, kuten sorvaus, poraus ja avartaminen. Suurin
lastuamistekninen ongelma suomalaisissa konepajoissa, joissa sovelletaan miehittä-
mätöntä tuotantoa, on lastujen hallinta, lastumurto ja poisto kappaleesta tai koneesta.

/7,100-104/



Kuva 6. Erilaisia lastumuotoja /7/

4.5.1 Muotoon vaikuttavat tekijät

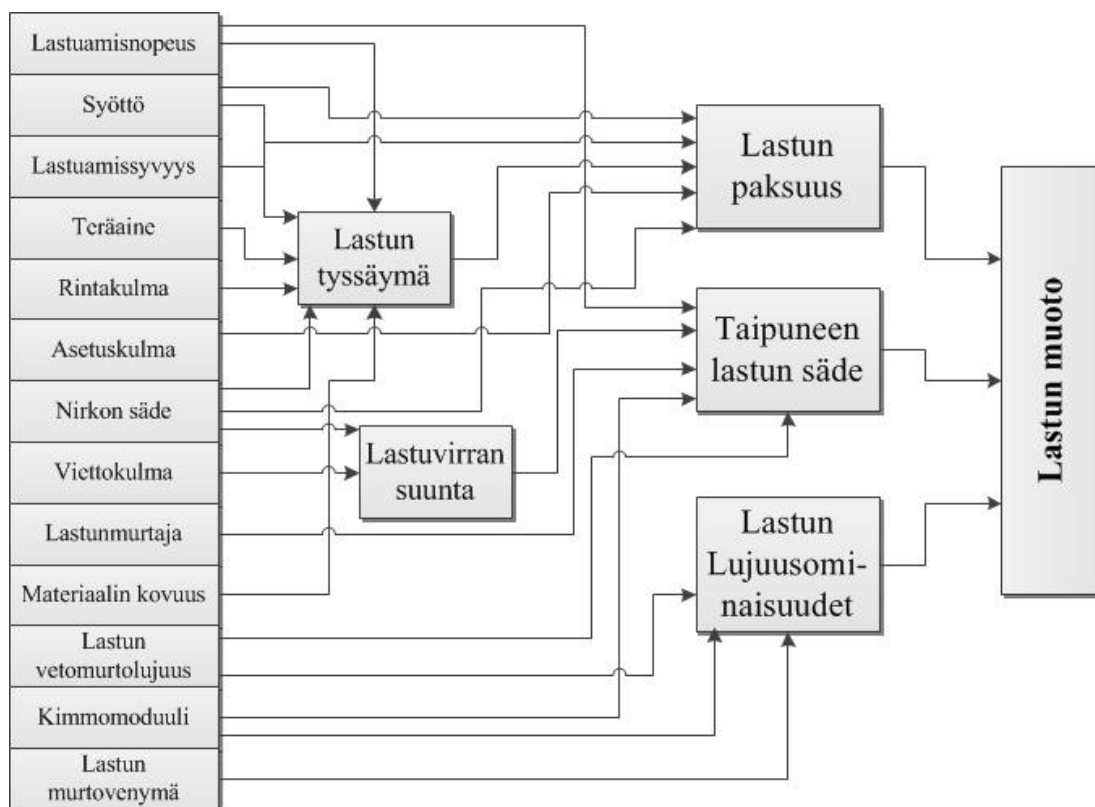
Lastun muotoon vaikuttavat työstettävä materiaali, menetelmä, työkappale, lastuamisarvot, työkalu sekä lastuamismenest. Lastun muotoon yksittäisessä työstötapahtumassa voidaan vaikuttaa vain lastuamisarvoja tai terägeometriaa muuttamalla. Työstettävä materiaali on suurin tekijä, mutta se ei yleensä ole muuttuja. /7,100/

4.5.2 Geometria ja siihen vaikuttavat tekijät

Suurimmat lastuvirtaan vaikuttavat tekijät ovat terän rintakulma, terän ja materiaalin välinen kitka ja materiaalin karkeneminen lastun muodostuessa. /9,43/

4.5.3 Murtumiseen vaikuttavat tekijät

Lastun murtuminen ja murtumattomuus on monimutkainen ja osin selvittämätön tapahtuma. Vaikuttavia tekijöitä on useita, kuva 7.



Kuva 7. Lastun murtumisen lastuamistekniset parametrit /7/

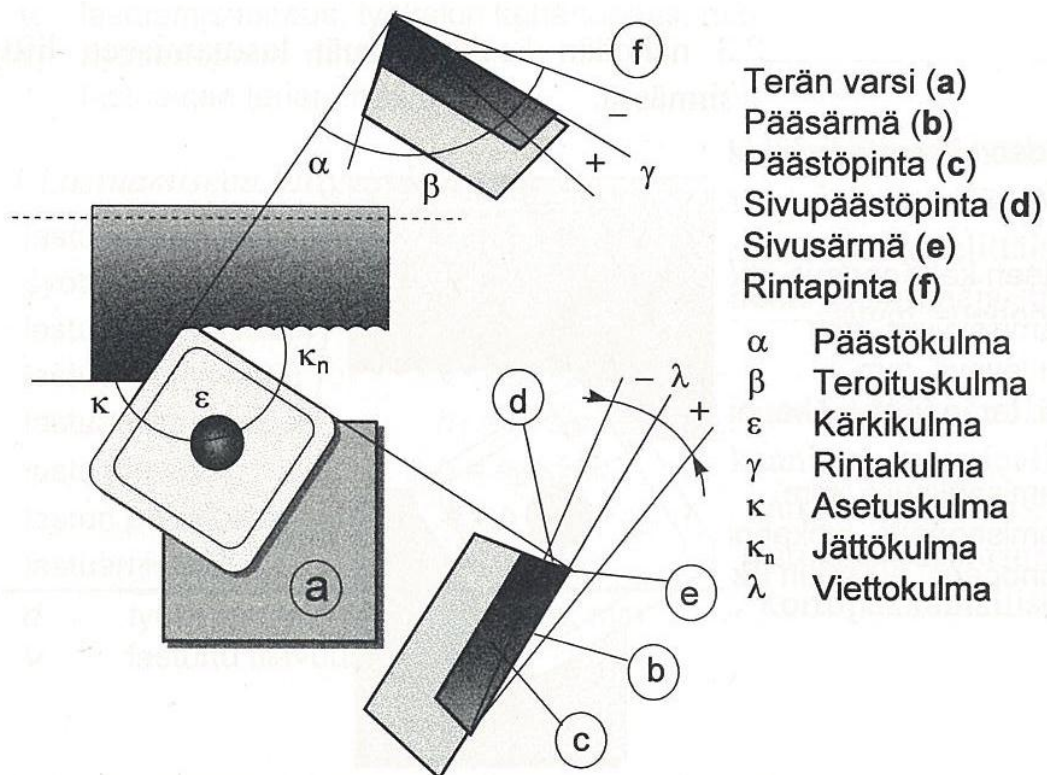
Suurimmat murtumiseen vaikuttavat tekijät ovat materiaalin plastomekaanisten ominaisuuksien lisäksi lastukierukan säde ja poikkipinta-ala. Työstön edetessä muuttuvat tekijät kuten terän kulumisesta johtuva terägeometrian muuttuminen, materiaalin mekaaniset ja työstökoneen dynaamiset ominaisuudet, sekä kappaleen halkaisija ja ominaisvärähtelytaajuus vaikuttavat osaltaan lastunmurtumiseen /7,101/.

Yleisin lastunmurtomekanismin lähtökohta on lastukaaren sisäpinnan jännitykset. Niitä syntyy kun lastun eteenpäin työntävä pää osuu esteeseen. /7,106/

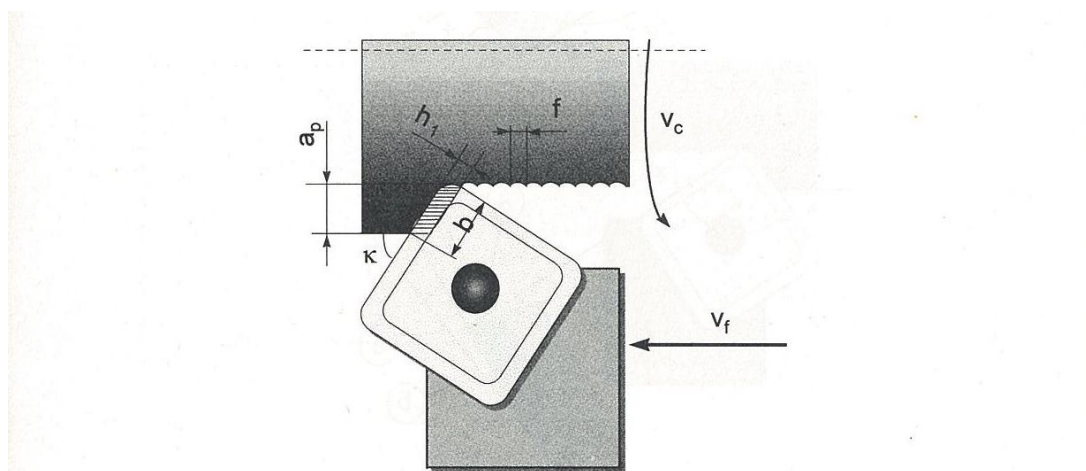
Materiaalin ominaisuudet ovat merkittävin murtumiseen vaikuttava tekijä. Siihen voidaan vaikuttaa myös erilaisilla toimenpiteillä kuten lastuamisarvojen tai -geometrian muuttamisella sekä lastunmurtajien ja murtourien käytöllä. /7,107-108/

4.5.4 Lastuamisgeometria

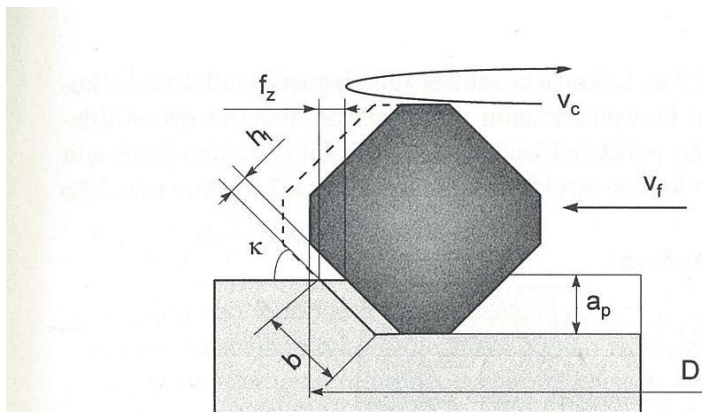
Lastuamisgeometria tarkoittaa lastuavan terän kulmia ja niiden keskinäisiä suhteita. Sillä on merkittävä vaikutus lastuamisen ilmiöihin, kuten lastuamisvoimiin ja -lämpötilaan, lastunmuodostukseen ja murtumiseen. Kuvassa 8 esitetään terägeometria sorvauksen osalta. Kuvassa 9 esitetään sorvauksen suureet, jossa v_c on lastuamisnopeus, v_f on syöttönopeus, f on syöttö yhtä kierrosta kohti, a_p on lastuamissyvyys ja h_1 on lastuamispaksuus. Kuvassa 10 esitetään suureet ja geometria jyrksinnässä, jossa D on jyrsimen halkaisija, v_c on lastuamisnopeus, v_f on syöttönopeus, f_z on palakohtainen syöttö, κ on teräkulma, a_p on lastuamissyvyys, h_1 on lastuamispaksuus, b on lastunleveys ja z on leikkaavien palojen määrä. Kuvassa 11 esitetään porauksen geometriaa ja suureita, jossa D on poran halkaisija, F_z on syöttö kierrosta kohti, Ω on pyörimisnopeus ja κ_r on leikkuusärmän kulma. /7,5/ /9,41/



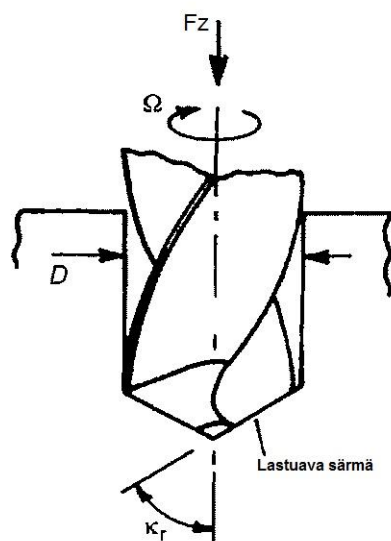
Kuva 8. Terägeometria Sorvaamisessa /7/



Kuva 9. Sorvaamisen suureet /7/



Kuva 10. Geometria ja suuret jyrksinnässä /7/



Kuva 11. Geometria ja suuret porauksessa /9/

Pieni rintakulma yhdistettynä sopiviin lastuamisarvoihin auttaa antamaan lastulle sopivat mitat, jolloin sen kierteisyys kasvaa. Esimerkiksi alumiinin ja nikkelseosten lastuamisessa voidaan lastun katkeamista parantaa pienellä tai negatiivisella rintakulmalla. /7,108-109/

4.5.5 Lastuamisarvot

Lastumateriaalin lastuamislämpötilaa alentamalla voidaan vaikuttaa lastun murtumiseen. Käytännössä tämä tapahtuu lastuamisnopeutta alentamalla tai lastuamislämpötilaa nostamalla. Toinen keino vaikuttaa murtumiseen on lastun muodonmuutosasteen ja jännityksen nostaminen. Tämä tapahtuu lastuamissyvyyttä ja syöttöä lisäämällä. Lastuamisnopeuden alentaminen on epäkäytännöllistä ja –taloudellista ja tulee siksi harvoin kysymykseen. Keskeisin vaikutus on suurella syötöllä. /7,108-110/

Alla on esitetty muutamia käytetyimpiä lastuamiskaavoja, kuten lastuamisnopeuden (3), pöytäsyötön (4), palakohtaisen syötön (5), kierroskohtaisen syötön (6) ja porauksen sisään syöttönopeuden (7) kaavat. Kaavoissa D on sorvauksen suhteen työkalun halkaisija ja jyrksinnässä ja porauksessa terän halkaisija ja n on kierrosten lukumäärä. /12,210-211/

$$v_c = D \times \pi \times n / 1000 \quad (3)$$

$$v_f = f_z \times n \times z \quad (4)$$

$$f_z = v_f / n \times z \quad (5)$$

$$f_n = v_f / n \quad (6)$$

$$v_f = f_n \times n \quad (7)$$

4.5.6 Lastuamislämpötilat

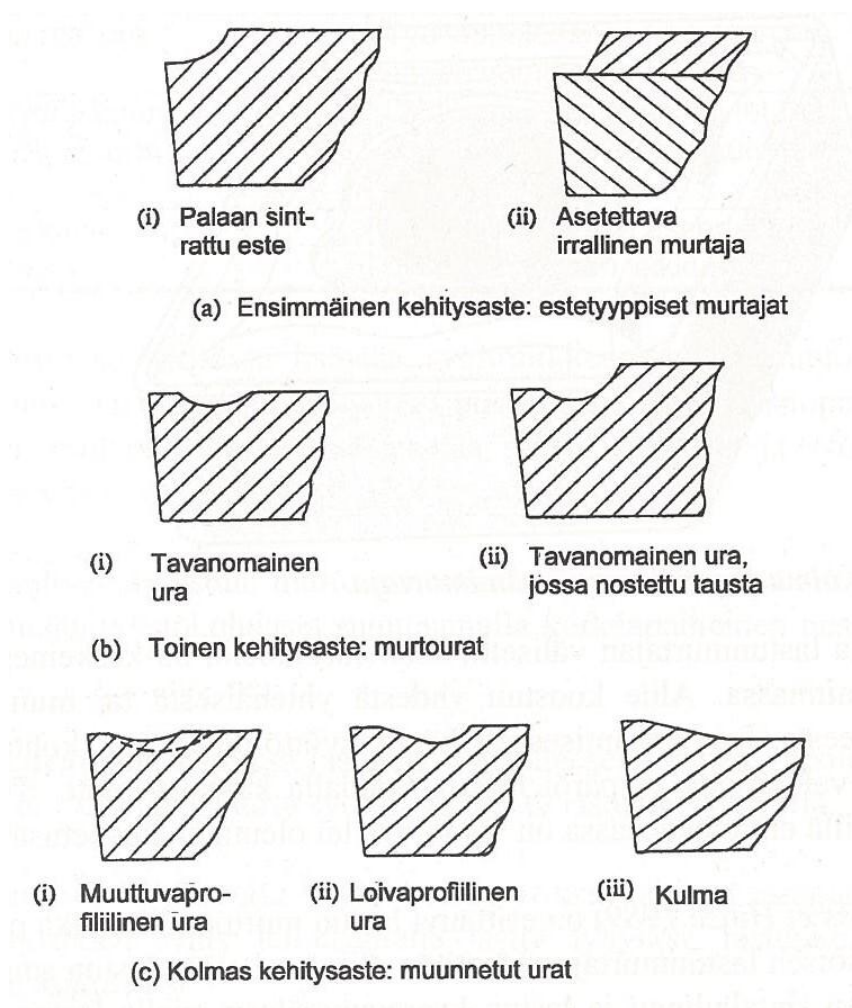
Lastuamislämpötilat käytetään lähinnä terän ja työstettävän kappaleen jäähtymiseen, muita käyttötarkoituksia on lastujen poistaminen kappaleesta, voitelu ja korroosiosuoja. /7,116/

Lastuamislämpötilat käytetään myös apuna lastunmurtamisessa korkeapainepumppujen avulla. /7,113/

Mallockin havaintojen mukaan lastuamislämpötilalla on suuri vaikutus lastunpaksuuteen, lastuamislämpötilan avulla lastusta tulee ohuempaa ja saa myös lastun taipumaan. /9,46/

4.5.7 Lastun murtaajat

Lastun murtajan tarkoituksena on murtaa lastu joko terässä olevan muodon kanssa tai ohjata se törmäämään joltain estettä päin, esimerkiksi työkappale. Murtaja voi olla terän rintapintaan tehty muoto tai irrallinen erikseen asetettava este, kuvassa 12 on esitetty joukko erilaisia murtaja tyyppejä. /7,111/



Kuva 12. Erilaisia lastunmurtajatyyppejä /7/

Murtoura mallit voidaan eritellä kahteen ryhmään, kaksi- ja kolmidimensioisiin, tämä jako tapahtuu poikkileikkauksen muodon perusteella. Ensimmäisessä mallissa uran muoto on terän nirkkoa lukuun ottamatta samanlainen koko terän särmän matkalla. Toisessa ryhmässä uran muoto vaihtelee joko syvyys- tai leveysuuntaan särmän matkalla, kuvassa 13 on esitetty yksi malli. /7,112/



Kuva 13. Esimerkki kolmidimensioisesta palasta /7/

Mainitaan vielä, että lastun murtamisessa voidaan käyttää myös muita hieman harvemmin esiintyviä tapoja, kuten mekaaninen leikkuri, hydraulinen lastunmurto, spiraaliura ja oskilloiva syöttö. /7,113/

5 MESSINKI

Messingit ovat pääosin kuparin ja sinkin seoksia, sinkin lisäksi käytetään myös muita seosaineita haluttujen ominaisuuksien mukaan. Messingit jaetaan lyijy-, erikois- ja seostamattomiin messinkeihin. /5/

5.1 Oraksen käyttämä normaali messinki

Käytössä olevassa messingissä kuparin määrä on noin 63 prosenttia, sinkin määrä 36 prosenttia ja lyijyn määrä on noin yksi prosentti kokonaismäärästä. /3/

Lyijyn tarkoitus on parantaa lastuttavuusominaisuuksia, se helpottaa lastun murtumista. Valuvaiheessa se asettuu rakenteeseen pieninä lastua katkaisevina. /5/

5.2 Vähälyijyinen messinki

Vähälyijyisessä messingissä kuparin osuus on noin 63 prosenttia, sinkin osuus noin 36 prosenttia ja lyijyn osuus on maksimissaan 0,2 prosenttia, vähälyijyisessä messingissä on alumiinin määrää nostettu. /4/

Tällä yritetään korvata puuttuvan lyijyn merkitystä eri tuotantovaiheissa.

5.3 Materiaalien erot alustavissa testeissä

Alustavat testit tehtiin tuotantokäytössä olevilla koneilla, jolloin testeihin käytettävä aika oli rajallinen eikä suuriin terägeometrisiin muutoksiin ollut mahdollisuuksia. Testeissä kokeiltiin lastuamisarvojen muutoksien ja pienten terägeometristen muutosten vaikutuksia.

Ennako-odotus oli että vähälyijyistä messinkiä koneistettaessa lastunmuodostus ja lastun katkeaminen olisi vaikeampaa. Oletamus osoittautui todeksi. Terillä, joilla normaalia messinkiä työstettiin, ei saatu lastua katkeamaan. Lastu muodostui yhtenäiseksi ja narumaiseksi joka jäädessään työstettävän kappaleen ja terän väliin aiheutti terärikkoka. Lisäksi keskuslastujärjestelmä ei prosessoanut yhtenäistä lastua mikä aiheutti sen että järjestelmä meni tukkoon.

Alustavissa testeissä huomattiin että lastuamisarvojen muuttaminen ja tehdyt terägeometriset muutokset eivät tuoneet riittäviä vaikutuksia. Tämän jälkeen aloitettiin ulkopuolisten resurssien käyttömahdollisuuksien kartoittaminen.

5.4 Materiaalikoheet

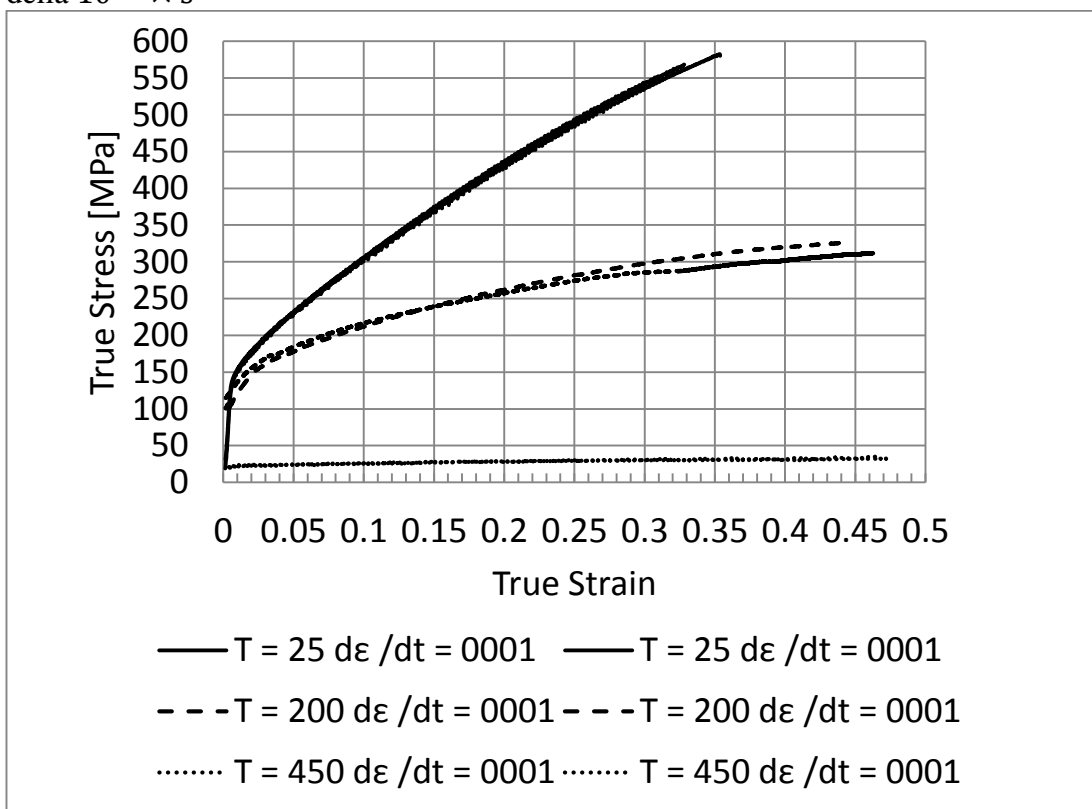
Aalto-yliopistolla oli resurssit tarjota tarvitsemaamme asiantuntemusta. Aalto-yliopisto teetti Tampereen Teknillisellä Yliopistolla materiaalikoheet toimittamastamme materiaalista. Aalto-yliopisto sai kokeiden tuloksista materiaaliparametrit simulointiin. Kokeet suoritettiin Hopkinson split bar tekniikalla. Kokeista ilmeni, että lyijytön messinki pehmenee todella paljon lämmitessään ja materiaali reagoi erityisen voimakkaasti lämmön kanssa pienessä rasituksessa. Voimakkaammassa rasituksessa reagointi on pienempää. Tämä selittyy sillä, että materiaalin dislokaationopeus ei pysy mukana jolloin materiaali ei lämpene niin paljon.

Alla olevilla taulukoilla havainnollistetaan miten materiaali reagoi eri lastuamisnopeuksilla. Ne eivät ole suoraan verrannollisia, mutta riittäviä havainnollistamaan tätä muuten niin vaikeaa asiaa.

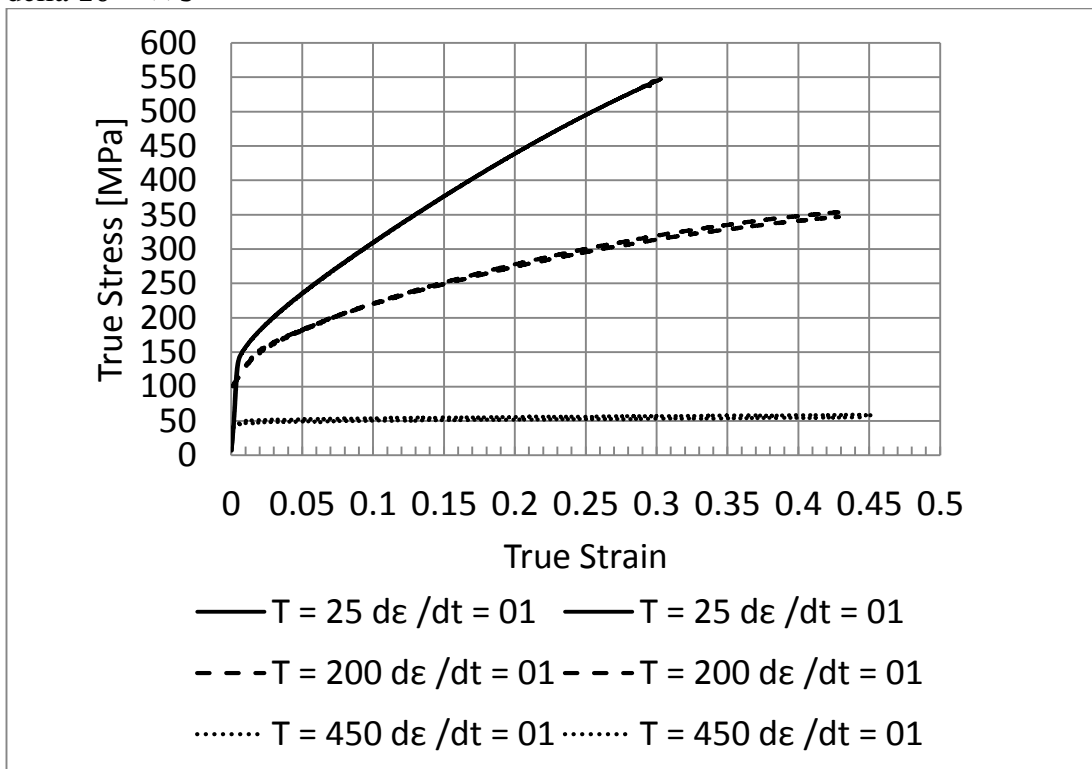
Kaksi ensimmäistä taulukkoa osoittavat että pienillä lastuamisnopeuksilla lämpötilojen noustessa lastu ei katkea vaan venyy. Kaksi jälkimmäistä taulukkoa havainnollistavat, että suurilla lastuamisnopeuksilla lämpötilat eivät vaikuta niin ratkaisevasti ja lastu katkeaa.

Taulukot 5.1 ja 5.2 esittävät pienemmillä rasituksilla tehtyjen materiaalitestien tuloksia. Taulukot 5.3 ja 5.4 kuvaavat suurempien rasitusten testituloksia. /10/

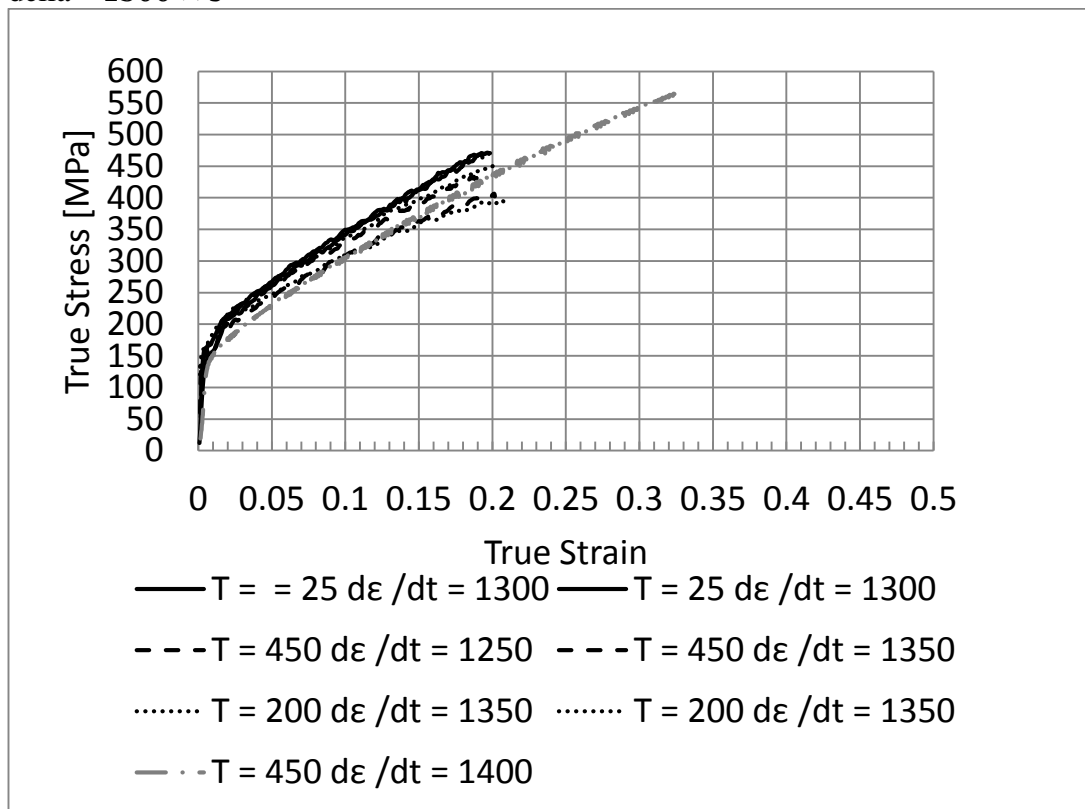
Taulukko 5.1 Jännitys muodonmuutos käyrät eri lämpötiloissa muodonmuutosnopeudella $10^{-3} \times s^{-1}$



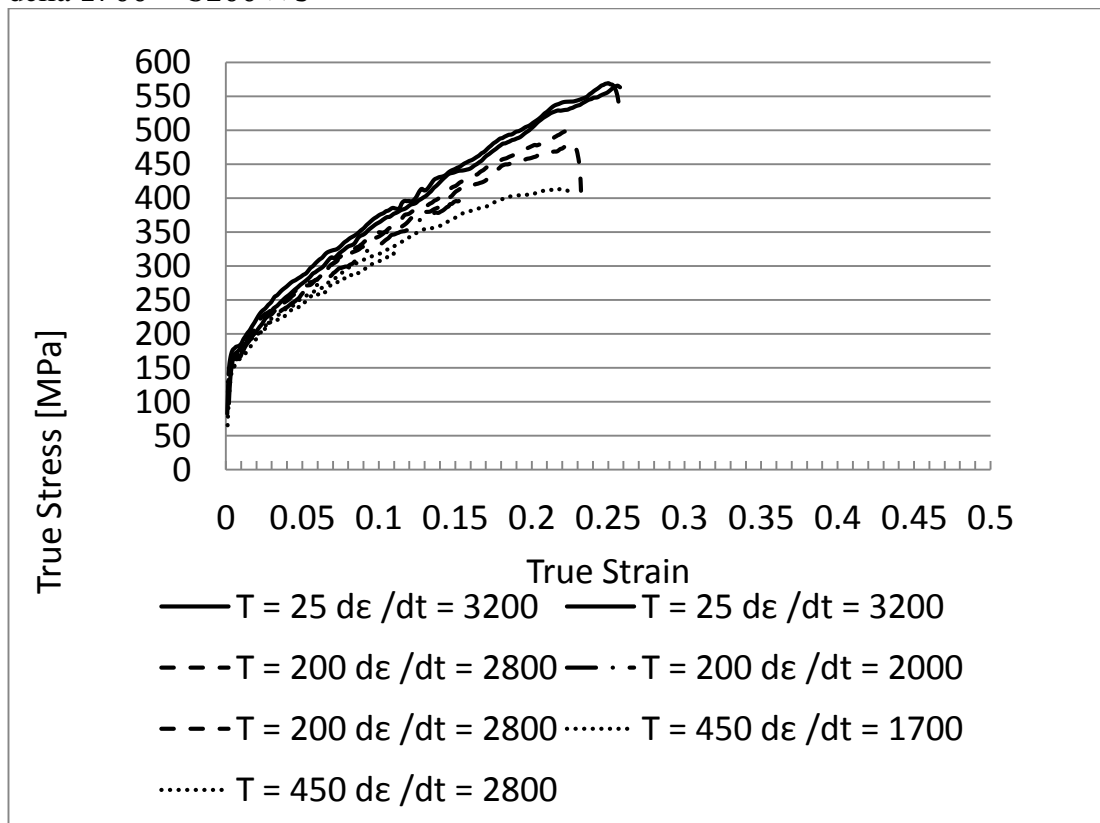
Taulukko 5.2 Jännitys muodonmuutos käyrät eri lämpötiloissa muodonmuutosnopeudella $10^{-1} \times s^{-1}$



Taulukko 5.3 Jännitys muodonmuutos käyrät eri lämpötiloissa muodonmuutosnopeudella $\sim 1300 \times s^{-1}$



Taulukko 5.4 Jännitys muodonmuutos käyrät eri lämpötiloissa muodonmuutosnopeudella $1700 - 3200 \times s^{-1}$



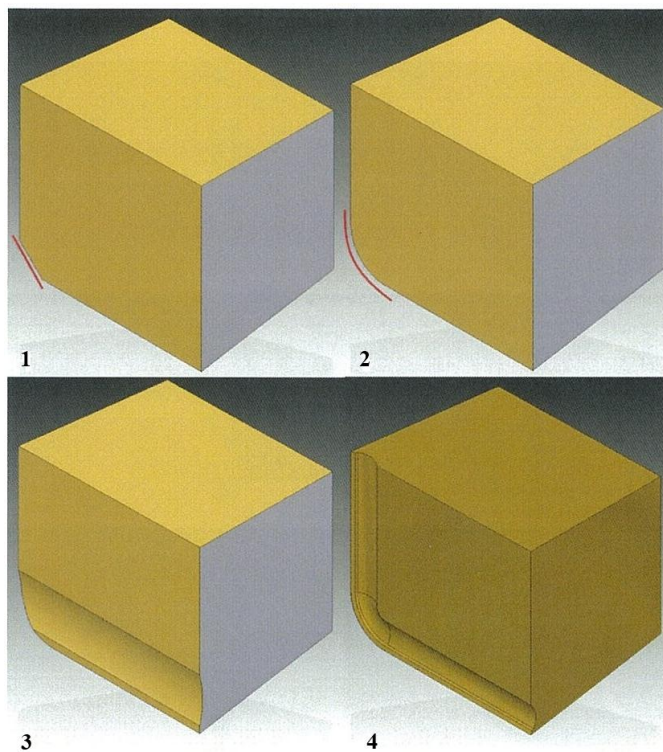
6 FEM-SIMULOINTI

Suurin osa nykyisistä lastunmuodostustutkimuksista tehdään käyttäen apuna erilaisia elementtimenetelmäsovelluksia. Näissä tutkimuksissa voidaan tarkasti huomioida erilaiset muuttujat. /7,11/

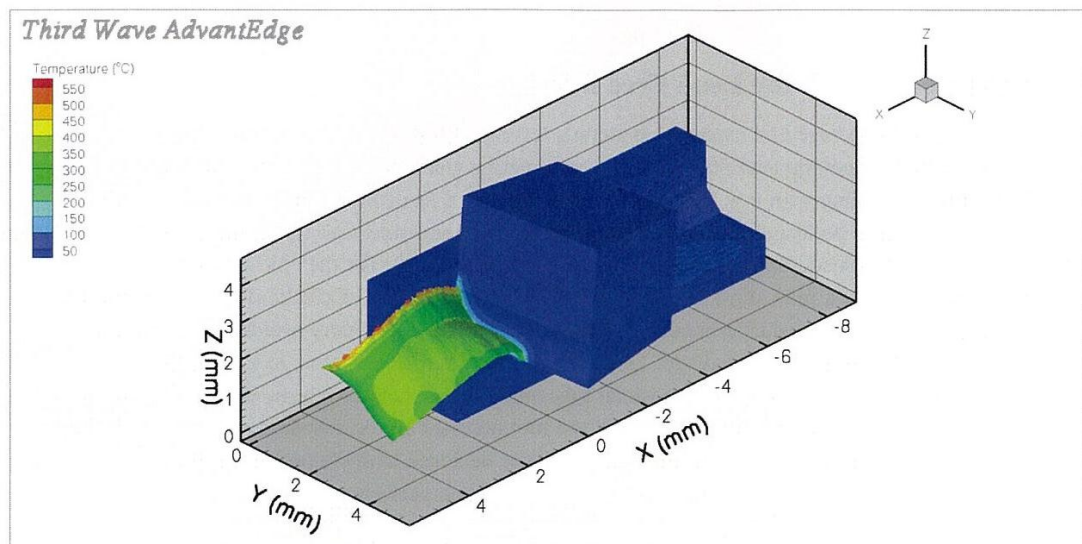
Aalto-yliopisto suoritti simulointeja, joiden toivottiin tuovan apua teräsuunnitteluun ja lastuamisarvoihin. Simulointien tulokset osoittavat, että positiivisella rintakulmalla saadaan parempia lastuamistuloksia kuin negatiivisella. Alustavat kokeemme osoittivat sen, että nollakulma ei toimi, sillä lastu ei katkea.

Tulokset osoittavat myös, että teräpalan nirkossa pyöristys on tehokkaampi kuin viiste. Simuloinnissa tehokkaimmaksi terämalliksi osoittautui terä, jossa on koko särmän matkalla murtajaura ja pyöristetty nirkko. Tuloksista ilmenee, että lastun on pysyttävä mahdollisimman viileänä, jotta se katkeaa. Samaa osoittivat myös materiaalikokeet. Simuloinnit myös toivat esille vähälyijyisen messingin lastuamisarvoista sen, että päästäkseen parhaaseen tulokseen on lastuamisnopeuden oltava suuri ja syötön pieni.

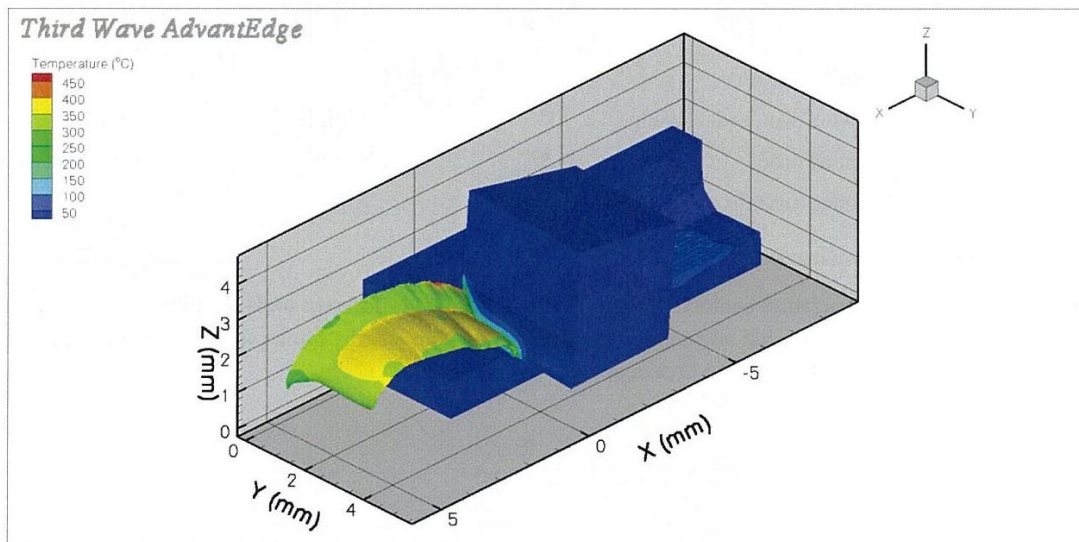
Kuva 14 esittää simuloinneissa käytettyjä terämalleja ja kuvat 15-19 esittävät miten simulointi ennustaa lastunmuodostuvan ja millaiset ovat lämpötilat lastussa. /10/



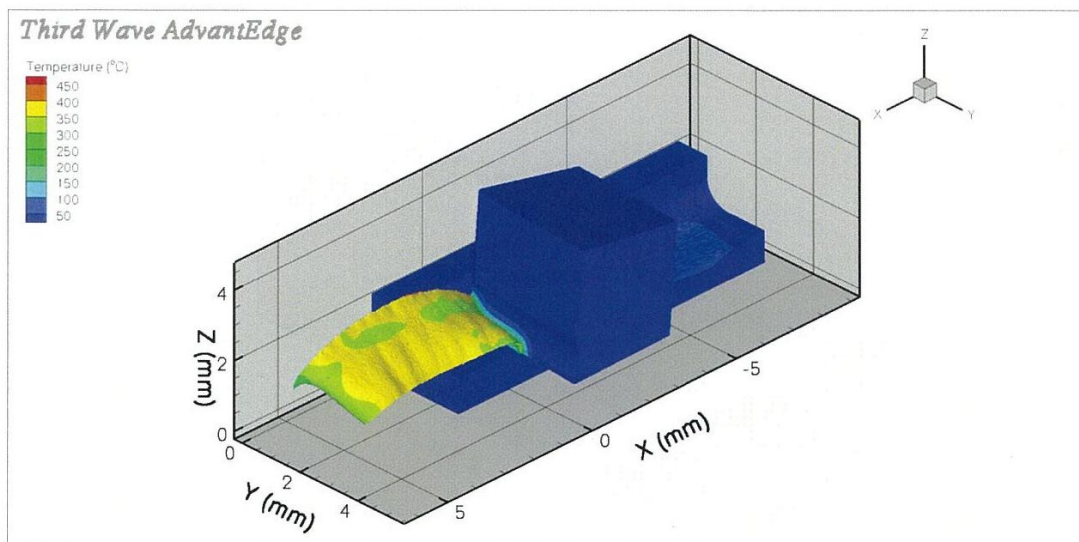
Kuva 14. Terä yksi viisteellä, terä kaksi pyöristyksellä, terä kolme pyöristyksellä ja murtajauralla ja terä neljä pyöristyksellä kokosärmällä olevalla murtajalla varustettuna.



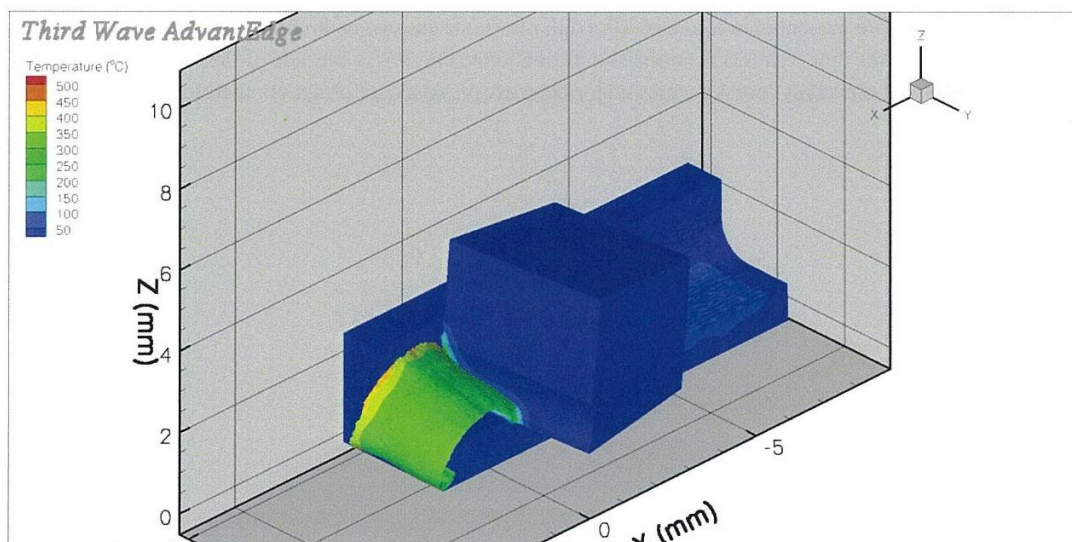
Kuva 15. Terä 1 positiivisella radiaalikulmalla, lämpötila korkeimmillaan 460°



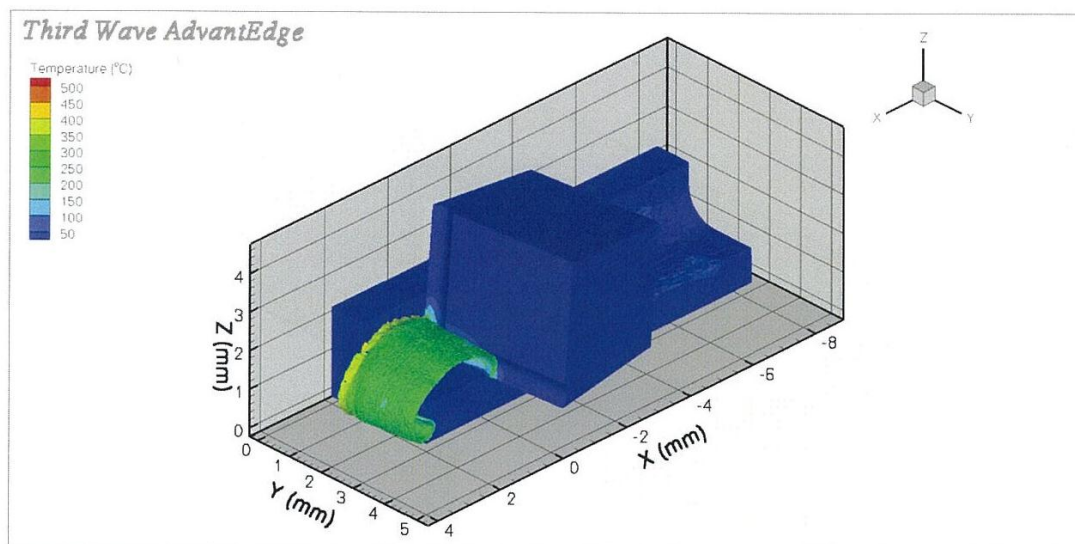
Kuva 16. Terä 1 negatiivisella radiaalikulmalla, lämpötila korkeimmillaan 460°



Kuva 17. Terä 2 negatiivisella radiaalikulmalla, lämpötila korkeimmillaan 420°



Kuva 18. Terä 3 positiivisella radiaalikulmalla, lämpötila korkeimmillaan 380°



Kuva 19. Terä 4 positiivisella radiaalikulmalla, lämpötila korkeimmillaan 310°

7 LASTUAMISKOKEET

Muuttujien suuren määrän takia ongelmana lastuamiskokeissa on tulosten suuri hajonta, siksi olisi hyvä yrittää vakioida muuttujia mahdollisimman paljon.

Työstöarvot tai materiaalit ovat usein tutkimuksen aiheina. Pohja tutkimuksille voidaan tiivistää kolmeen asiaan, jotka ovat työstökone, lastuava terä ja lastuttava materiaali.

Lastuamiskokeiden suorittamiseen on laadittu aika tiukkojakin kansainvälisiä ja yrityskohtaisia standardeja, joissa usein on tarkasti määritelty käytettävät lastuamisarvot, terägeometriat, terämateriaali ja työstettävä materiaali elleivät ole tutkimuksen kohteena.

Taloudellisia lastuamisarvoja tutkiessa on järkevää käyttää tuotantokappaleita, tämä on edullisempaa kuin juuri kokeita varten suunniteltujen koekappaleiden käyttö. Usein etsitään materiaali/työkalu-parille sopivimpia lastuamisarvoja, kuin tietylle kappaleelle. /7,136-142/

8 TERÄKOKKEET

Kaikissa suoritetuissa teräkokeissa oli käytössä sama terä, mutta monta erilaista versiota. Kyseisellä terällä lastunkatkeamattomuus aiheutti eniten terärikkoja, koska terällä koneistetaan syvää poteroa.

Terässä on kolme eri halkaisijaa: 49.92mm – 50.92mm – 52.00mm, tämä toi versioiden suunnitteluun ja niiden toteutukseen omat haasteensa.

Kuvia saadaksemme päätimme menetelmäsuunnittelijan kanssa, että teräkokeessa en avaa rungon pohjaa, paitsi ensimmäisessä kokeessa, koska siinä oli käytössä tuotantokäytössä oleva terä ja tiesimme kuinka se reagoi, jos ei kaikki mahdollinen lastu pääse ulos kappaleesta.

8.1 Teräkoe 1

Tässä kokeessa testattiin alustavasti positiivisen rintakulman vaikutusta lastunkatkeamiseen, samalla testattiin erilaisia syöttöarvoja.

Testissä käytettiin karan pyörimisnopeutena S2000rpm, jolloin edellä mainittua kaavaa (3) käyttäen ja edellä mainitut halkaisijat huomioiden saadaan lastuamisnopeudet v_c 314m/min – 320m/min – 327m/min.

Tulokset ovat hieman suuntaa antavat, koska terässä jolla testasin positiivisen rintakulman vaikutusta, oli vain yksi halkaisijoista hiottu $+5^\circ$ kulmaan.

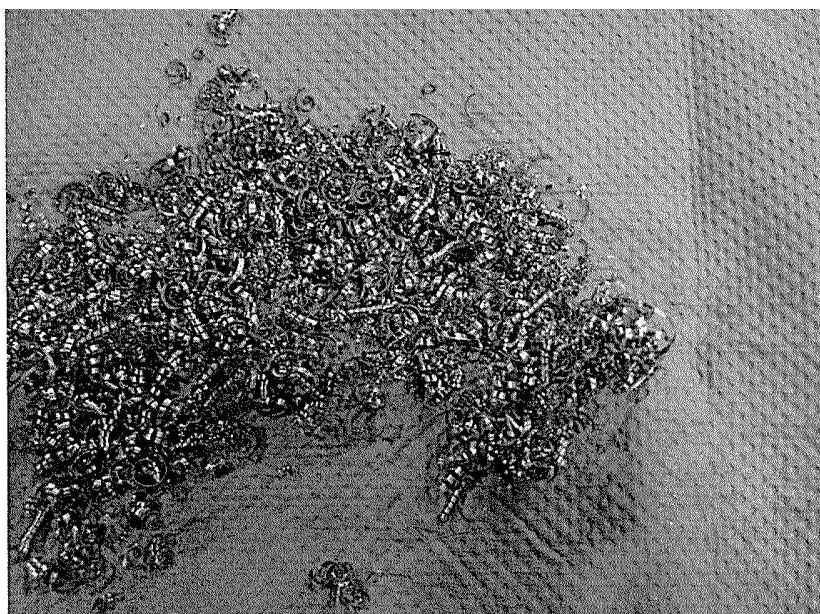
Käytössäni oli vertailua varten myös normaalissa tuotannossa käytettävä 0-kulmalla varustettu terä, jonka tuotantoarvot ovat karanopeutena S2000 ja syöttönä f_z 0,0375mm/kierrös/lastuava särmä.

8.1.1 Rintakulma 0°

0-kulmalla varustetulla terällä ajoin kahdella eri syöttöarvolla, ensin tuotannossa käytetyillä arvoilla syöttönä f_z 0,0375mm/kierrös/lastuava särmä ja karanopeutena S2000 ja toisena arvot olivat syöttönä f_z 0,15mm/kierrös/lastuava särmä ja karanopeutena edelleen S2000.

8.1.1.1 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,0375mm

Alla kaksi kuvaa lastuista, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 20. Yleiskuva lastuista



Kuva 21. Pitkää lieriökierrelastua

Näillä arvoilla lastut olivat pääosin spiraalimaista lieriökierrettä ja hyvin pitkää, kuten kuvasta 21. näkyy. Lyhyiden lastujen määrä oli hyvin vähäinen.

Tämä aiheutti sen, että lastut kasaantuivat terän edellä pohjaa vasten jolloin terärikköjen mahdollisuus kasvaa.

8.1.1.2 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,15mm

Alla kaksi kuvaa lastuista, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 22. Yleiskuva lastuista



Kuva 23. Pääasiallisesti spiraalikierrrelastua

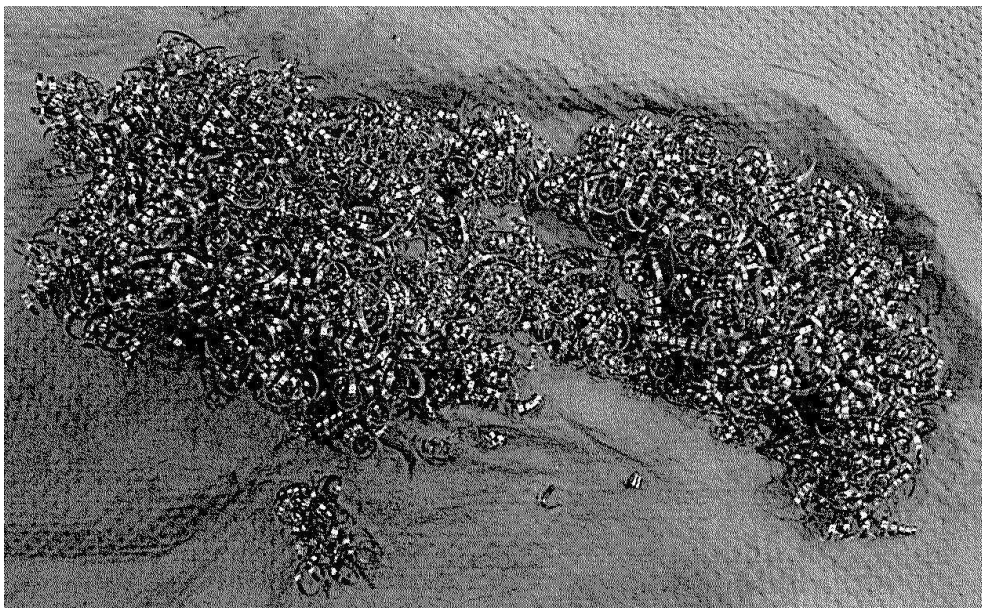
Syötön nosto muutti lastun muotoa, jolloin se oli spiraalikierteistä ja tasospiraalia ja joukossa oli myös isoja u-lastuja, kuten kuvasta 23. näkyy. Muodon muuttumisen lisäksi lastun pituus lyheni huomattavasti, mutta oli liian pitkää vieläkin.

8.1.2 Rintakulma 5°

Viiden asteen kulmalla varustetulla terällä ajoin kolmella eri arvolla, ensin tuotannossa käytetyillä arvoilla syöttönä f_z 0,0375mm/kierros/lastuava särmä ja karanopeutena S2000. Toisella kerralla arvoina olivat syöttö f_z 0,095mm, karanopeutena oli edelleen S2000. Kolmantena arvot olivat syöttönä f_z 0,15mm/kierros/lastuava särmä ja karanopeutena edelleen S2000.

8.1.2.1 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,0375mm

Alla kaksi kuvaa lastuista, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 24. Yleiskuva lastuista



Kuva 25. Pääasiassa lieriökierteestä koostuva lastukasa

Näillä arvoilla koneistettaessa lastuissa ei ole havaittavaa eroa nollarintakulmaisella terällä koneistettuihin. Huomattava asia oli tehon tarpeen väheneminen. Karkeasti arvioituna koneen mittarista karatehon kulutus oli noin 20 prosenttia alhaisempi.

8.1.2.2 Syöttönä f_z 0,095mm

Alla kaksi kuvaa lastuista, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 26. Yleiskuva lastuista



Kuva 27. Spiraalikierre lastuja

Näillä arvoilla koneistettaessa lastun muoto muuttui lieriökierteestä spiraalikierteen muotoon, kuten kuva 27. osoittaa, mutta lastu oli edelleen liian pitkä.

8.1.2.3 Syöttönä f_z 0,15mm

Alla kaksi kuvaa lastuista, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 28. rintakulma 5° f_z 0,15mm



Kuva 29. Enimmäkseen tasospiraalilastuja

Näillä arvoilla koneistettaessa päästiin parhaaseen tulokseen. Lyhyiden tasospiraalilastujen osuus oli suurin ja pidemmät lastut olivat hauraita spiraalikierteisiä lastuja. Pidemmät lastut olivat todennäköisesti peräisin terän särmistä, joista rintakulmaa ei hiottu positiiviseksi.

Huomioitavaa oli myös että testeissä käytetyssä koneistuskeskuksessa oli ongelmia lastuamismesteen syötössä työkalun läpi. Tämä johtui venttiilin jumiutumuksesta. Jäähdytys olisi ollut huomattavasti tehokkaampaa jos tämä toiminto olisi ollut käytössä. Syötön kasvaessa lastun paksuus kasvoi, jolloin lastuista tuli hauraampia. Tehon tarpeen vähenemisen lisäksi värähtelyt ja lastuamisen äänitaso pienenevät positiivisella rintakulmalla. Pinnan laatu oli silmin tarkasteltuna hyvin samanlainen molemmilla terätyypeillä.

8.2 Teräkoe 2

Ensimmäisessä teräkokeessa oli käytössä terä, jossa oli teräpalan kärkeen hiottu rintapintaan viiden asteen kulma, tähän toiseen sitä hieman lisättiin ja kulma muutettiin kymmeneen asteeseen. Ensimmäisen kokeen pohjalta päätimme, että jätetään tulevista kokeista pois pienimmät syöttöarvot ja keskitytään korkeammilla arvoilla lastuamiseen ja toimivien terägeometrioiden etsimiseen.

Tätä koetta ennen käytettävään koneeseen korjattiin karanläpikäähdytyksen toiminta.

8.2.1 Rintakulma 10°

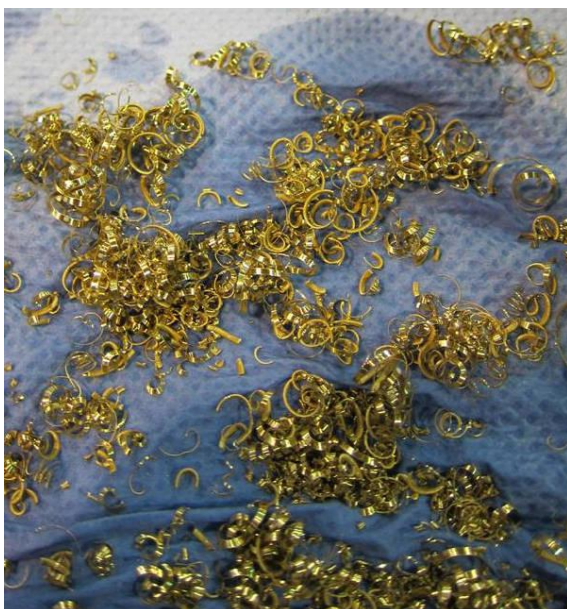
Kymmenen asteen kulmalla varustetulla terällä suoritin kokeet kolmella eri työstöarvolla. Ensimmäiseksi suoritin kokeen arvoilla jotka oli toiminut ensimmäisessä kokeessa, karanopeutena S 2000 ja syöttönä f_z 0,15mm/kierros/leikkaava särmä. Toisella kerralla oli syöttönä f_z 0,2mm/kierros/leikkaava särmä, karanopeuden pysyessä samana S 2000. Kolmannella kerralla muutin karanopeuden S2500, mutta pidin syötön f_z 0,15mm/kierros/leikkaava särmä.

8.2.1.1 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvissa 35 ja 36 esitetään erilaisia lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa tuli.



Kuva 35. Lastupallo



Kuva 36. Muru ja u-lastuja

Näillä arvoilla koneistettuna tulokset olivat hieman paremmat, kuin viiden asteen positiivisella kulmalla varustetulla terällä vastaavilla arvoilla. U-lastujen osuus olin suurin, mukaan mahtui jopa murulastuja, mutta myös spiraalilastua ja tasomaista lieriökierrelastua.

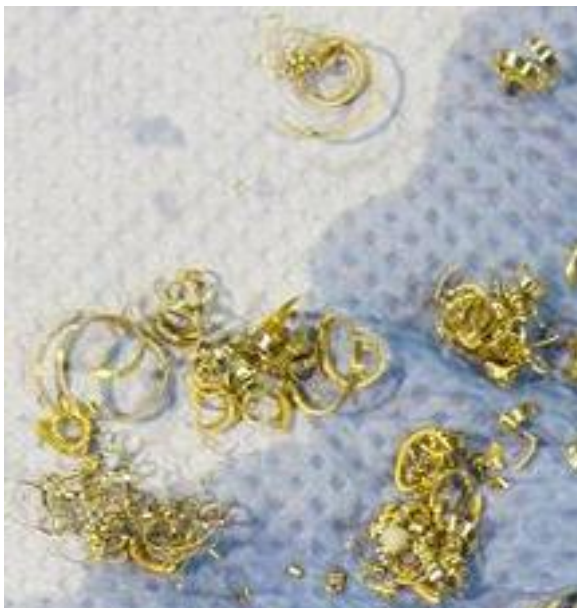
Pitkäksi jäävät lastut ovat edelleen todennäköisesti särmistä joissa rintapintaa ei ole hiottu, kuvassa 35 esitetään miten pitkät lastut keräävät itseensä pieniä lastuja muodostaen ikävyyksiä aiheuttavia lastupalloja.

Tällä kertaa rungon sisälle jäävien lastujen määrä pieneni, joka selittyy sillä, että lastun pituus lyheni, mutta edelleen pohjalla oli melko iso tolo lastuja.

Näillä parametreilla koneistettuna pinnanlaatu oli silmämääräisesti paras.

8.2.1.2 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,2mm

Kuvissa 37 ja 38 esitetään erilaisia lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa tuli.



Kuva 37. Lastupallo osina



Kuva 38. Muru ja u-lastuja

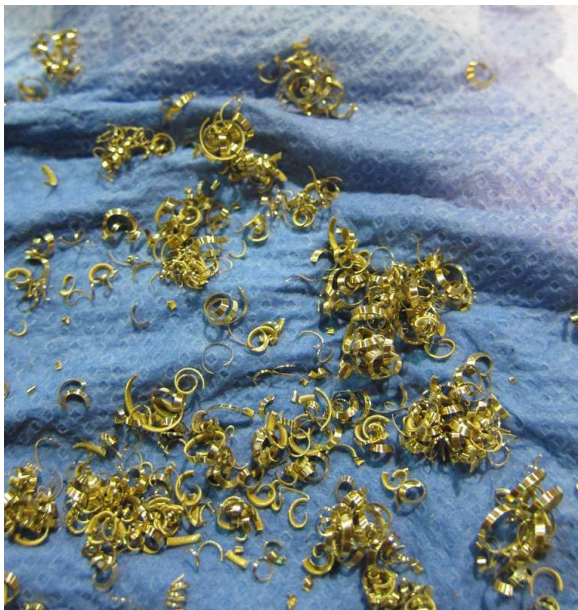
Syötön nosto 0.2mm/kierrös/leikkaava särmä muutti odotetusti lastun paksuutta, mutta ehkä jo hieman liiankin paksuksi. Pinnanlaatu kriittisillä pinnoilla silmämääräisesti nousi ja tehonkulutus myös mittarin mukaan nousi noin 10 – 20 prosenttia.

Kaikkein pisimpien lastujen osuus laski kuitenkin aika pieneksi, mutta nyt pisimmäksi jääneet lastut olivat paksuutensa takia hankalia ja todennäköisesti tulisivat aiheuttamaan ongelmia. Pieniä murulastuja ei tullut juuri yhtään ja paksujen u-lastujen määrä nousi suurimmaksi.

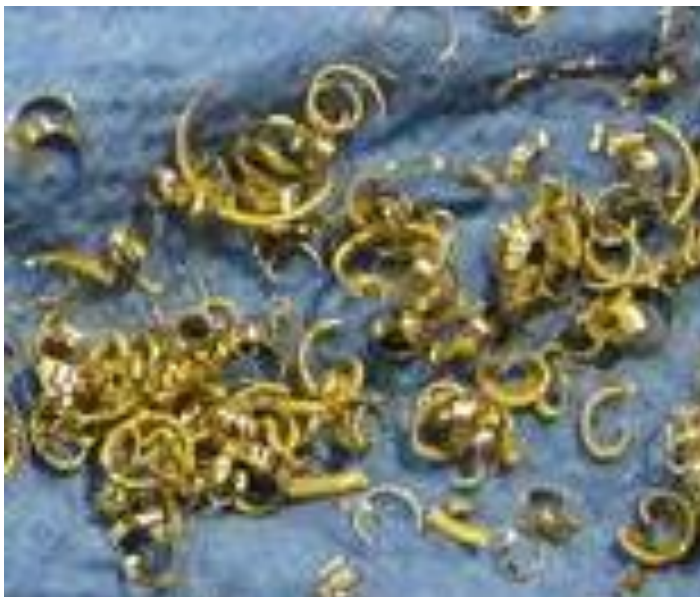
Terän tylstyessä voisi pinnanlaatu huonontua entisestään hyvin nopeastikin, ja tehonkulutus nousisi entisestään. Lastun muodostusta on vaikea ennustaa, mutta ei se ainakaan paremmaksi menisi.

8.2.1.3 Karanopeus S2500 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvissa 39 ja 40 esitetään erilaisia lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa tuli.



Kuva 39. Lastupalloja



Kuva 40. Muru ja u-lastuja

Näillä arvoilla koneistettaessa tehonkulutus ja lastun muodot olivat samaa laatua kuin ensimmäisillä arvoilla, tämä pohjautuu siihen että pidin kierroskohtaisen syötön samana kuin ensimmäisellä kerralla.

Korkeampi karan pyörintänopeus toi koneistettuun pintaan pientä loimua, joka aiheutui terän väriseemisestä. Terän tylstyminen voi poistaa tämän loimun aiheuttaneen värinän, mutta se voi tuoda pinnanlaatuun muita ongelmia.

Rungon sisään jääneiden lastujen määrä väheni, tämä voi johtua tuosta korkeammasta karan pyörintänopeudesta. Samalla kuvasta 39 voidaan huomata, että rungon sisällä oli neljä erikokoista lastupalloa.

Pinnanlaatumittarilla mitattuna pinnan laadut liikkuivat R_a 0.22 - 0.38 välimaastossa, joka on aika loistava tulos kun katsoo menetelmää ja työstöarvoja. Terissä oleva pyöröhionta antaa tähän oman tukensa.

8.3 Teräkoe 3

Tämän teräkokeen suoritin samalla terällä kuin toisessa kokeessa mutta erona oli se, että otin karanläpijäähdytyksen pois. Tarkoituksena oli selvittää miten suuri vaikutus lastunmuodostukseen on karan läpi tulevalla jäähdytyksellä.

8.3.1 Rintakulma 10°

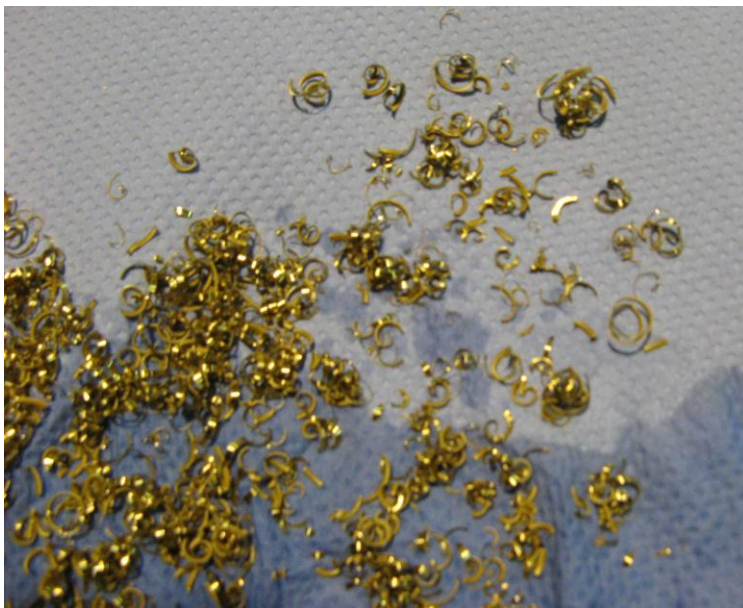
Edellisen kokeen tavoin suoritin kokeet kolmilla eri työstöarvoilla. Ensimmäiseksi suoritin kokeen arvoilla jotka olivat toimineet ensimmäisessä kokeessa, karanopeutena S2000 ja syöttönä f_z 0,15mm/kierros/leikkaava särmä. Toisella kerralla oli syöttönä f_z 0,2mm/kierros/leikkaava särmä, karanopeuden pysyessä samana S2000. Kolmannella kerralla muutin karanopeuden S2500, mutta pidin syötön f_z 0,15mm/kierros/leikkaava särmä.

8.3.1.1 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvissa 41 ja 42 esitetään erilaisia lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 41. Kuvassa vasemmalla lastupallo

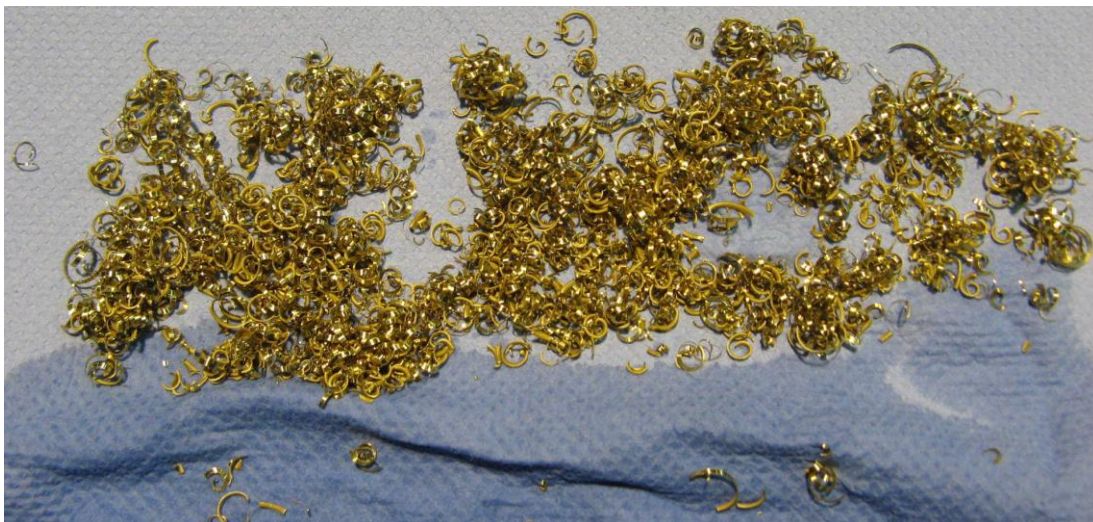


Kuva 42. Kuvassa murulastuja ja u-lastuja joita tavoitellaan

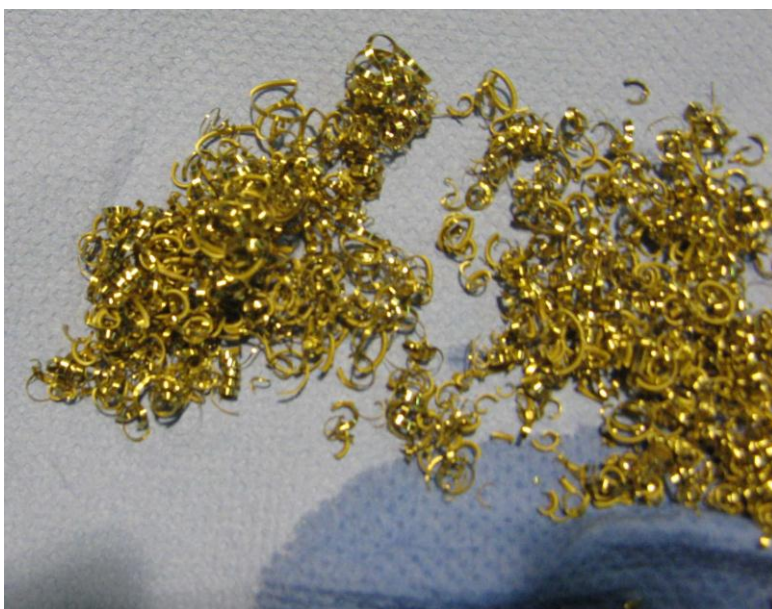
Näillä arvoilla koneistettuna tulokset osoittautuivat huonoimmiksi tässä kokeessa koneistetuista eristä. Verrattuna edelliseen kyseisellä terällä koneistettuun erään tulokset olivat huomattavasti heikompia. Tulokset olivat verrattavissa ensimmäisen kokeen tuloksiin, kyseisessä kokeessa koneistin viiden asteen kulmalla varustetulla terällä. Tassospiraalilastujen määrä oli suurin, osa lastuista oli hyvin pitkiä. U-lastujen määrä oli hieman suurempi kuin viiden asteen terällä koneistettaessa. Terän särmistä, joihin ei ole hiottu kulmamuutosta tuli odotetusti pitkät ja spiraalikierteiset lastut, jotka olivat tosin hauraita. Edelliseen kokeeseen verrattuna runkojen sisään jäävien lastujen määrä oli odotetusti suuri.

8.3.1.2 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,2mm

Kuvissa 43 ja 44 esitetään lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 43. Yleiskuvaa lastuista



Kuva 44. Edelleenkin lastut kasaantuvat palloksi

Näillä arvoilla koneistettaessa U-lastujen osuus kasvoi ja mukaan tuli lisäksi murulastua. Tärkeintä kuitenkin oli se että todella pitkien lastujen määrä väheni huomattavasti. Rungon sisälle jäi silti huomattavasti enemmän lastuja verrattuna edelliseen koe-erään joka koneistettiin samoilla arvoilla. Tässä koe-erässä näillä arvoilla pinnan laatu oli parempi kuin syötön ollessa f_z 0,15mm/kierros/leikkaava särmä. Tämä oli selvä ero edelliseen kokeeseen jossa pinnan laatu oli parempi pienemmällä syötöllä.

8.3.1.3 Karanopeus S2500 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvissa 45 ja 46 esitetään lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



Kuva 45. Yleiskuvaa lastuista



Kuva 46. Kasaan kertyvät lastut

Näillä arvoilla koneistettuna tulokset olivat kokeen parhaat, verrattuna edelliseen samoilla arvoilla koneistettuun erään lastujen koossa ei ole yllättäen suurtakaan eroa. Suurin ero ilmenee rungon sisään jäävien lastujen määrässä, joka tässä kokeessa oli huomattavasti suurempi.

Lastut olivat suurimmalta osalta isohkoa u-lastua ja tasospiraalilastua, näitä näkyy kuvassa 45. Hiomattomista särmistä tuli yllättävän vähän pidempää lastua, kun vertaa muihin arvoihin joilla tässä kokeessa koneistin.

8.3.1.4 Yhteenveto

Pinnanlaatumittarilla mitattuna tämän kokeen tulokset huononivat edelliseen nähden, mutta tulokset olivat vieläkin hyvät. R_a arvot olivat 0.3 – 0.45. Kuitenkin silmillä katsottuna tiivistepintojen kohdilla näyttäisi olevan eroja edelliseen kokeeseen nähden. Tämä johtuu todennäköisesti huonommasta emulsion kulusta rungon sisällä. Omat tulokseni olivat selviä ja tukivat sitä teoriaosuudessa käsiteltyä Mallockin teoriaa että poraemulsiolla on suuri merkitys lastun muodostuksessa. /9,46/v

8.4 Teräkoee 4

Tämä teräkoee poikkeaa muista siinä, että tässä ei niinkään tutkita terägeometrian vaikutusta lastunmuodostukseen, vaan tutkin hieman normaalista terätyypistä poikkeavan terän vaikutusta tehonkulutukseen, pinnanlaatuun ja lisäksi tutkin millaiset vaikutukset muutoksilla on lastunmuodostukseen.

Normaalisti terissämme on rintakulma 0-asteinen ja pyöröhionta koko teräpalan särmällä, tämän tarkoitus on tukea ja toimia myös kalvaimen tai valssaimen tavoin. Tähän kokeeseen muutatin yhtä terää niin, että pyöröhionnat palan särmällä korvattiin viiden asteen päästöllä, myös kaksi suurinta halkaisijaa hiottiin pois.

Kaksi suurinta halkaisijaa poistettiin siksi, että tällainen terä jossa palan särmällä on pyöröhionnan sijaan leikkuu on todella herkkä haukkaamaan sivuleikkuunsa takia.

Ennen tätä teräkoetta testeissä käytetty työstökeskus oli käynyt myös läpi karan laakeriremontin, joka myös toimi yhtenä syynä miksi aloin tätä koetta tekemään.

8.4.1 Rintakulma 0° ilman pyöröhiontaa

Koneistin tämän kokeen samalla kolmella työstöarvolla kuin kaksi edellistäkin koetta, tulokset olivat kaikilla arvoilla miltei identtiset. Kaksi suurempaa halkaisijaa kun hiottiin pois, niin terän lastuava pinta-ala jäi aika pieneksi. Jäljelle jääneestä halkaisijasta kun poistettiin pyöröhionta, niin näiden muutosten myötä terän tehonkulutus koneen

mittarin mukaan nousi kaikilla arvoilla vain noin 3 – 8 prosenttia normaaliin pyörintäkulutukseen verrattuna.

8.4.2 Yhteenveto

Lastuja ei runkoihin jäänyt sisälle niin, että niistä olisi kuvia saanut. Tämä selittyy sillä, että lastun paksuus oli niin pieni koska terässä oli vain yksi halkaisija käytössä ja kuitenkin karanläpijähdytys oli käytössä.

Pinnanlaadussa ilmeni pientä heikkenemistä, mutta vieläkin tässä kohtaa tulokset olivat ihan hyviä. Terän tylstyminen voi huonontaa laatua hyvin radikaalisti, koska ei ole pyöröhiontaa leikkaavaan särmän takana silottamassa pintaa. Ra arvot olivat 0.4 – 0.5 välillä.

8.5 Teräkoe 5

Tässä teräkokeessa koneistin yhteensä viidellä eri terällä, joissa terägeometriat poikkeavat toisistaan. Teräkokeessa käytin samaa kolmea työstöarvoa joita edellisissäkin kokeissa sekä karanläpijähdytys oli myös käytössä kaikissa, koska sen vaikutus oli havaittu niin merkittäväksi.

Tähän teräkokeeseen olin vienyt teräsuunnittelun pitemmälle kuin edeltävissä kokeissa, sillä suunnittelin kaikkiin kolmeen terän halkaisijaan erilaisia lastunmuodostusta ja lastunmurtoa tukevia yksityiskohtia. Tähän hain tukea Aalto-yliopistolla tehdyistä simuloinneista.

8.5.1 Aksiaalinen kulma 5° ja radiaalikulma 5°

Terän numero on 3601898 ja tämän terän suunnittelin sellaiseksi, että siinä oli rintapinnan osalta viiden asteen kulma sekä aksiaalisesti että radiaalisesti. Tämän toteutin niin että suunnittelin teräpalan poteron radiaalisesti viiden asteen kulmaan ja terän rintapintaan suunnittelin hiottavan viiden asteen aksiaalisen kulman jokaiseen kolmeen halkaisijaan, kuva terästä liitteessä 1.

Suunnittelemani terä on kuvassa 13. esitettyjen terien 1 ja 2 yhdistelmä. Viistettä koitin nirkkoon pyörityksen tilalle, koska sen terän valmistus on nopeampaa ja yksinkertaisempaa kuin pyörityksen teko.

Terän valmistus vaatii tällä hetkellä menetelmillämme käsihiontaa ja siksi aiheuttaa enemmän töitä. Teränhionta ei sitten loppujen lopuksi onnistunut ihan sellaiseksi kuin suunnittelin, vaikka sen alustavien suunnitelmien mukaan piti olla toteutettavissa. Toteutunut hionta korosti radiaalista kulmaa enemmän ja hieman vähensi aksiaalisen kulman vaikutusta, mutta periaate oli miltei sama kuin alkuperäisessä.

8.5.1.1 Karanopeus S 2000 ja syöttönä f_z 0.15mm

Kuvissa 47 ja 48 esitetään näillä työstöarvoilla runkoihin sisälle jääneitä lastuja.



Kuva 47. Yleiskuva lastuista



Kuva 48. Lastupalloksi kasaantuvia lastuja

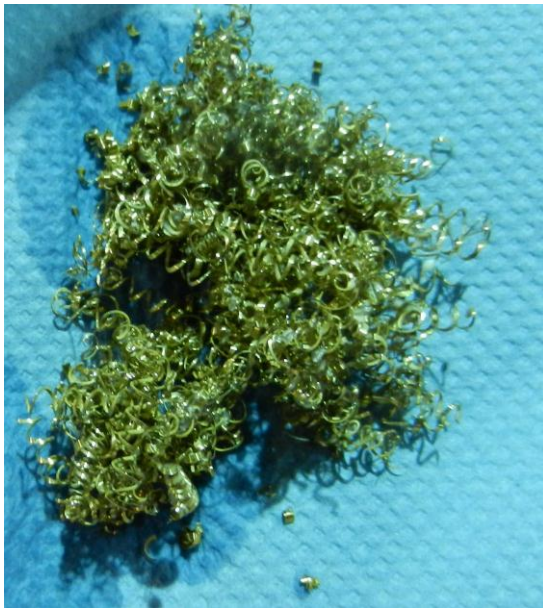
Näillä arvoilla koneistettaessa lastut olivat pääosin pitkää lieriökierrettä ja pitkää tasokierrelastua. Koneen mittarin mukaan tehon tarve kasvoi normaaliin pyrintään nähden noin 20 prosenttia.

8.5.1.2 Karanopeus S 2000 ja syöttönä f_z 0.2mm

Kuvissa 49 ja 50 esitetään näillä työstöarvoilla runkoihin jääneitä lastuja.



Kuva 49. Yleiskuva lastuista



Kuva 50. Lastupallo

Näillä arvoilla koneistettaessa lastun muoto muuttui niin, että pitkä lieriökierteinen lastu muuttui lyhyeksi lieriökierteiseksi lastuksi ja samalla u-lastuja tuli mukaan. Tehon tarve mittarin mukaan oli edellisiä arvoja noin 5 prosenttia korkeampi.

8.5.1.3 Karanopeus S 2500 ja syöttönä f_z 0.15mm

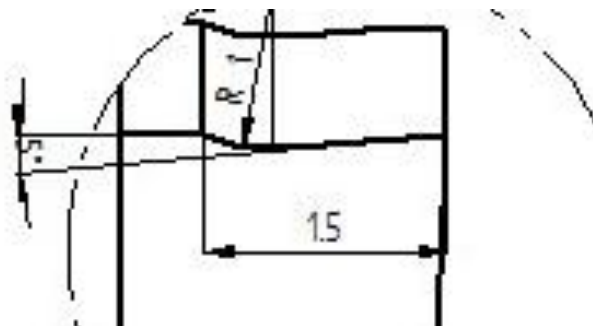
Näillä arvoilla koneistettaessa lastujen muoto ei eronnut ensimmäisten arvojen lastuista, määrä ehkä oli hieman pienempi. Tehon tarve oli näillä arvoilla korkein, mutta sekin oli vain 10 prosenttia ensimmäistä korkeampi.

8.5.1.4 Yhteenveto

Ra-arvo oli kaikilla työstöarvoilla lähes sama, 0.4-0.6 välillä. Lastun muoto ja pituus poikkesi odotetusta ja jäi paljon pitemmäksi, mikä todennäköisesti osittain johtui siitä, että terähionta oli hieman erilainen kuin suunniteltu.

Odotukseni oli, että muutoksesta huolimatta lastu kaartuu jyrkemmin ja tämä auttaisi lastua katkeamaan. Terään hiotut katkaisu-urat olivat kooltaan jokaisessa halkaisijassa samanlaiset, uran R on 1.7mm ja syvyys 0,2mm ja se lähtee heti palan särmästä. Suunniteltu murtaja esitetään kuvassa 51. Hiotun uran R oli ehkä hieman iso ja tasainen,

siksi lastu kiertyi lieriökierteelle ja näin ollen ei katkennut. Muodonmuutokset urassa olisivat todennäköisesti myös vaikuttaneet edistävästi lastun katkeamiseen.



Kuva 51. Suunniteltu murtaja.

8.5.2 Radiaalikulma viisi astetta

Terän 3601897 teräpala oli viiden asteen radiaalikulmassa, mutta aksiaalisesti nollakulmassa. Tämän toteutin niin, että suunnittelin teräpalan nollakulmaan, mutta palan potero oli viiden asteen radiaalisessa kulmassa. Tällaisen terän valmistaminen on melkein yhtä yksinkertaista kuin kokonaan nollakulmalla olevankin terän valmistus, koska palaan ei tule rintapintaan mitään kulmia. Kuva terästä liitteessä kuusi.

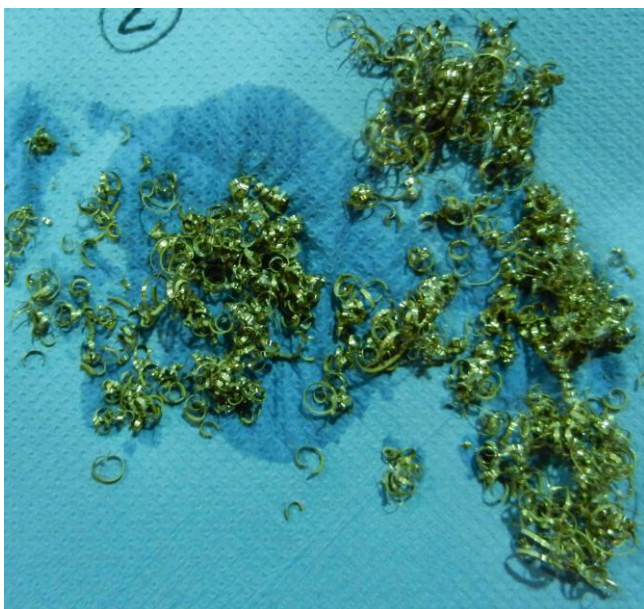
Terä perustuu kuvan 13. terään yksi, jonka simulointi tulokset on esitetty kuvassa 14.

8.5.2.1 Karanopeus S 2000 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvat 52 ja 53 esittävät lastuja joita runkoon jäi sisälle näillä arvoilla koneistettaessa.



Kuva 52. Lastut kasassa



Kuva 53. Lastukasa eroteltuna

Näillä arvoilla tällä terällä lastut olivat pitkähköä tasospiraalilastua ja hieman u-lastua sekä sykkyrälastua mukana. Pitkähkö tasospiraali lastu oli haurasta, mutta kuitenkin ensimmäinen pitkäsilmukka ja sykkyrät keräsi muita lastuja itseensä. Tehontarve koneen oman mittarin mukaan nousi normaaliin pyörintään verrattuna noin 30 prosenttia ja oli tämän teräryhmän toiseksi korkein.

8.5.2.2 Karanopeus S 2000 ja syöttönä f_z 0,2mm

Kuvat 54 ja 55 esittävät lastuja joita runkoon jäi sisälle näillä arvoilla koneistettaessa.



Kuva 54. Sykkyrä lastua



Kuva 55. Yleiskuvaa lastuista

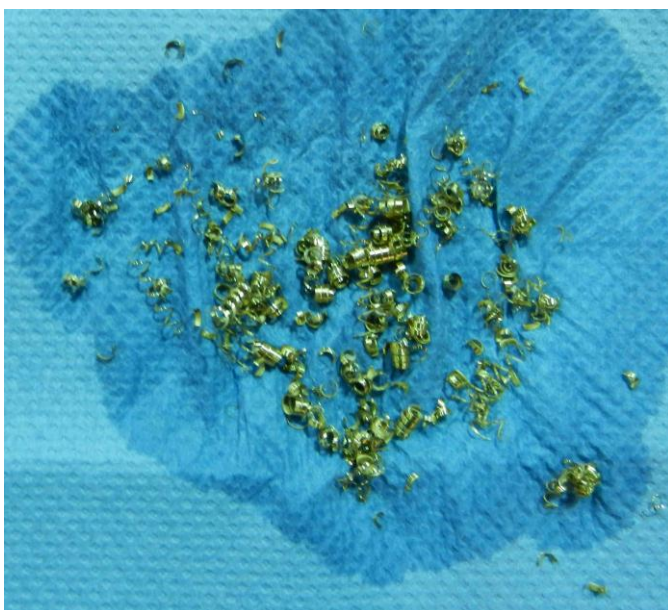
Näillä arvoilla koneistettaessa lastut muuttuivat enemmän sykkyräksi ja samalla mukana oli lyhyttä kierrelastua, spiraalikierrettä ja tasospiraalilastua. Sykkyrä oli aika paksua ja vahvaa. Tehontarve näillä arvoilla nousi vielä 5 prosenttia edellisestä.

8.5.2.3 Karanopeus S2500 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvat 56 ja 57 esittävät lastuja joita jäi runkoihin näillä arvoilla koneistettaessa.



Kuva 56. Pitkää lieriökierre- ja tasokierrelastua



Kuva 57. Lyhyttä lieriökierre- ja spiraalikierrelastua

Näillä arvoilla koneistettaessa lastujen muoto muuttui pitkäksi lieriökierre- ja tasokierrelastuksi, mukana oli myös hiukan lyhempää lieriökierre- ja spiraalikierrelastua. Tehontarve pysyi samana kuin edellisillä arvoilla koneistettaessa.

8.5.2.4 Yhteenveto

Pinnanlaadun Ra-arvo tässä sarjassa liikkui 0.4 – 0.55 välissä, koneistusarvojen välillä ei näkynyt suurta heittelyä.

Tällä terällä lastu jäi pitkäksi kaikilla arvoilla, toisaalta terä eroaa nollakulmalla olevasta terästä niin vähän, ettei tulos ole kovin yllättävä. Lastujen runkoon jäävä määrä oli myös tällä terällä suurin, jos vertaa muihin tässä kokeessa käytettyihin teriin.

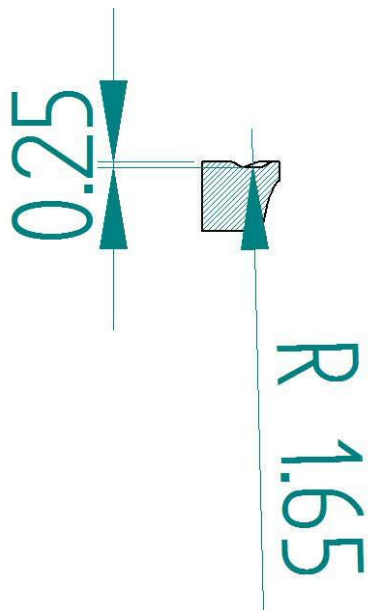
Simulointien tulokset pitävät näiltä osin paikkaansa, sillä lämpö nousee liian korkeaksi ja lastu ei siksi katkea. Voidaan siis todeta, että pelkkä radiaalikulma terässä ei vaikuta kovinkaan paljon lastunkatkeamiseen.

Tällä terällä koneistettaessa ääni oli hieman jyrisevä, mikä oli yllättävää. Nämä lastumäärät voivat aiheuttaa terärikkojakin, koska lastu jää sykkyräksi.

8.5.3 Murtajaurat ja nirkossa R 0.5 pyörästys

Tämän terän numero on 3601914. Terään on suunniteltu jokaiseen halkaisijaan rintapintaan murtajaurat ja palan nirkossa on R 0.5 pyörästys. Murtajaurat tuovat rintapintaan aksiaalisesti positiivisen kulman, mutta radiaalista kulmaa ei tässä terässä ole. Terä perustuu kuvan 13. terään 3 ja simulointitulokset on esitetty kuvassa 17.

Suunnittelin terän jokaiseen halkaisijaan murtajauran, joka on esitetty kuvassa 51. Urien hionta ei tälläkään kertaa mennyt kuten suunniteltiin ja jouduttiin turvautumaan muutettuihin uriin, joiden R on 1.65mm ja ne ovat 0.25mm syviä. Kuva toteutuneesta murtajajan hionnasta kuvassa 58. Kuva terästä liitteessä kolme.



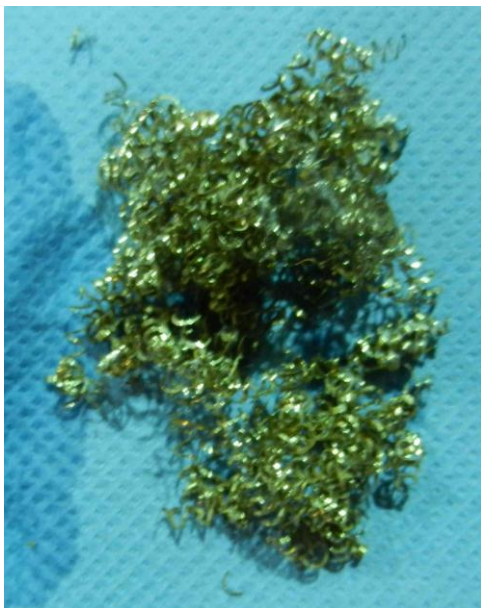
Kuva 58. Murtajan profiili

8.5.3.1 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvat 59 ja 60 esittävät lastuja joita tällä terällä ja näillä arvoilla koneistettaessa runkoihin jäi.



Kuva 59. Murulastuja, u-lastuja ja lyhyttä lieriökierrelastua



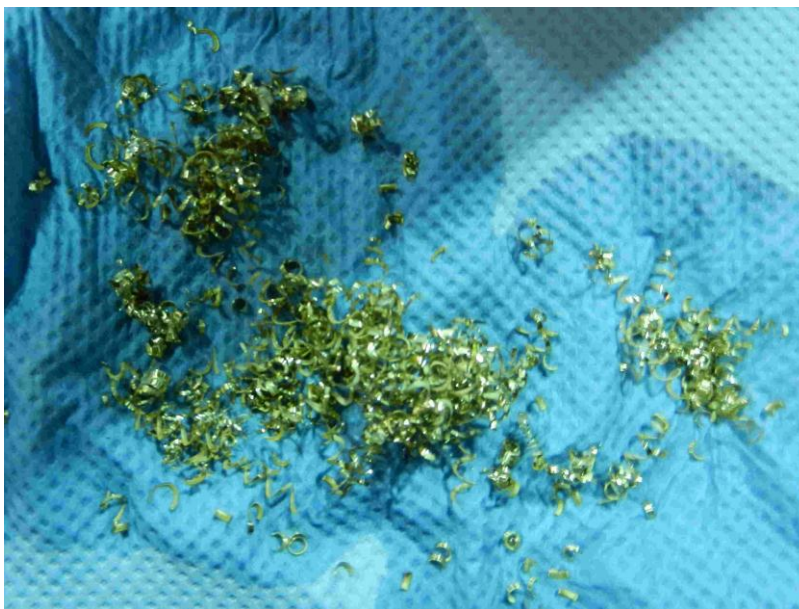
Kuva 60. Tasokierrelastut kasana

Tällä terällä ja näillä arvoilla alkoi jo näyttää hiukan lupaavammalta, kun lastukasa oli pieni ja muut lastut olivat u-lastuja ja murulastuja.

Tehontarve nousi koneen mittarin mukaan noin 20 prosenttia normaaliin pyörimiseen nähden.

8.5.3.2 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,2mm

Kuva 61 esittää lastuja joita tällä terällä näillä arvoilla koneistettaessa runkoihin jäi.



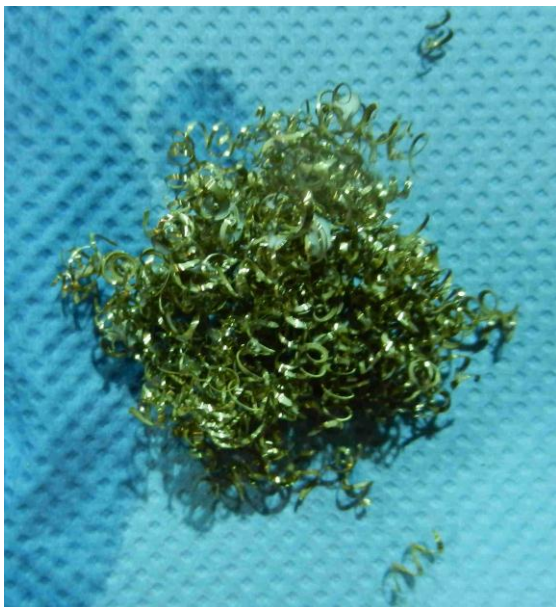
Kuva 61. Lyhyttä lieriökierrelastua sekä u-lastuja

Näillä arvoilla tulokset paranivat edellisistä, sillä lastujen määrä rungon sisällä pieneni selvästi. Lastut eivät kasaantunut palloihin tai muihinkaan muotoihin näillä arvoilla, nyt on sellainen tilanne lastujen suhteen johon on pyritty.

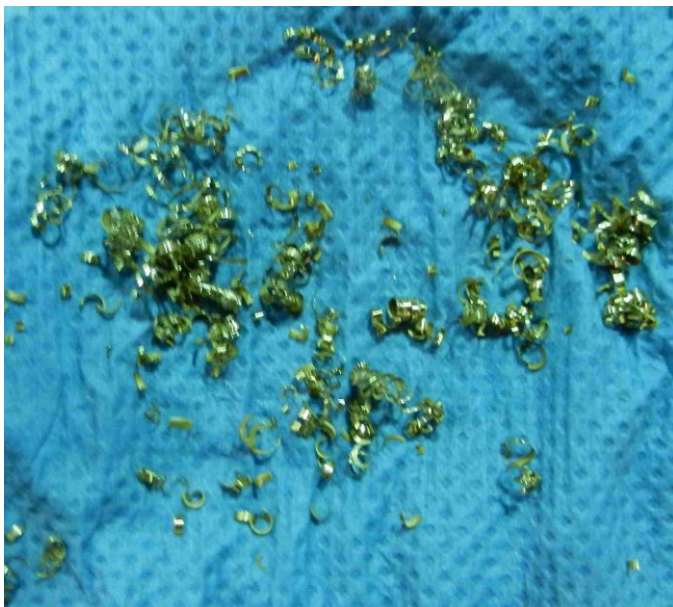
Tehontarve nousi edellisiin arvoihin verrattuna vielä noin 5 prosenttia.

8.5.3.3 Karanopeus S2500 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvat 62 ja 63 esittävät lastuja joita tällä terällä näillä arvoilla koneistettaessa runkoihin jäi.



Kuva 62. Palloksi kertyneet tasokierrelastut



Kuva 63. U-lastuja ja lyhyttä lieriökierrelastua

Näillä arvoilla tulokset olivat melko identtiset kuin ensimmäisilläkin arvoilla, karanopeuden nostaminen ei auta lastua poistumaan rungosta tällä terällä, kuten jollakin muulla terällä auttaa.

Tehontarve pysyi edellisten työstöarvojen tasolla.

8.5.3.4 Yhteenveto

Pinnanlaadun Ra-arvo tällä terällä pysyi 0.5 – 0.6 välillä ja viimeisillä koneistusarvoilla se oli parhaalla tasolla, vaikka kaikilla se on edelleen todella hyvällä tasolla.

Tällä terällä lastut alkoivat näyttää sellaisilta, että se voisi mennä läpi lastujärjestelmästämme ilman hintavia lastumurskaimiakin. Terärikkoja nämä lastut eivät enää aiheuta, sillä runkoon jäävä lastumäärä on pieni.

Suunnittelin terän samoihin aikoihin kuin kokeen ensimmäisenkin terän, tästä syystä uran R on tälläkin terällä liian iso ja tasamuotoinen. Teräpalan radiaalikulman puuttuminen ja nirkon pyöritys näyttävät vaikuttavan joko yhdessä tai molemmat yksinään siihen, että lastunmuoto ja erityisesti pituus muuttuu. Tästä syystä lastu on lyhempää kuin ensimmäisellä terällä jossa oli käytössä murtajaurat.

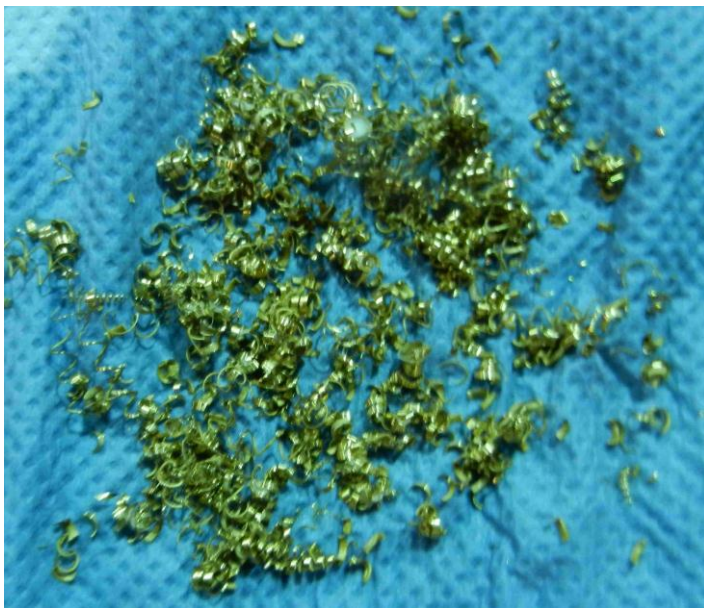
8.5.4 Murtajaurat ja nirkossa 0.5 X 45° viiste

Tämä terä perustuu terään jossa on murtajaurat ja nirkossa pyöritys, tähän terään suunnittelin pyörityksen sijaan viisteen. Murtajaurat ovat taas hiottu hieman erilaisesti kuin ne oli suunniteltu, myös urat eroavat hieman terästä josta tämä on muunnos. Tässä terässä murtajaurien R on 1.7 ja niiden syvyys 0.12mm.

Simulointien pohjalta kun tätä ja pyörityksellistä terää verrataan, niin tämän terän pitäisi tuoda huonommat tulokset, tosin täyttä verrattavuutta ei ole kun esimerkiksi murtajaurat eivät ole samanlaiset.

8.5.4.1 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvat 64 ja 65 esittävät lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa runkoihin jäi sisälle.



Kuva 64. u-lastuja ja muutamia lieriökierrelastuja



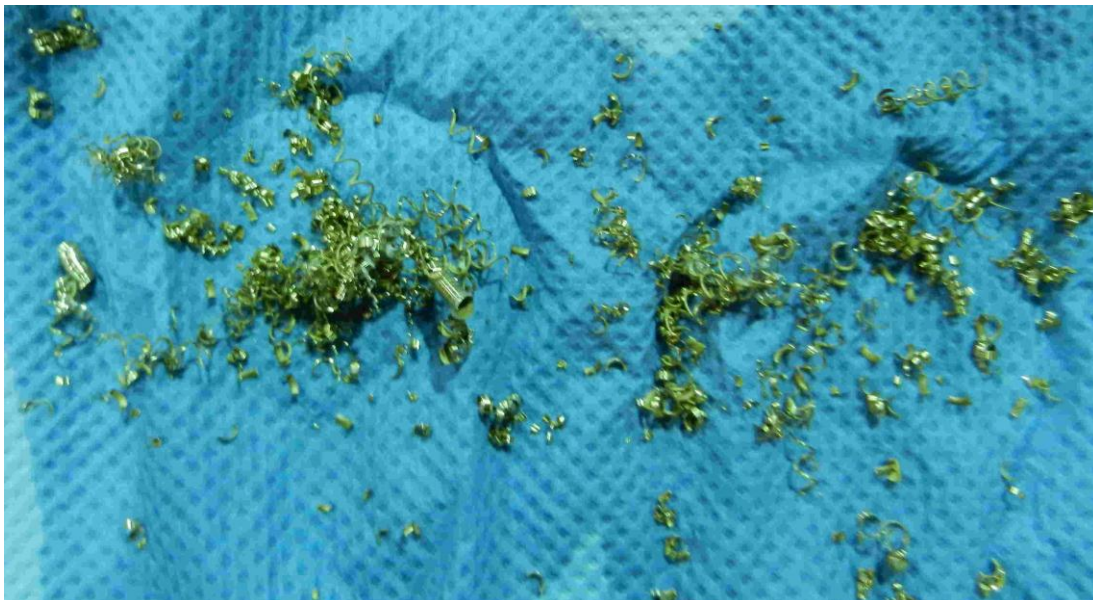
Kuva 65. lieriökierrelastut kasassa

Näillä arvoilla suurin osa runkoihin jääneistä lastuista oli melko isoa u-lastua, mutta pidemmät pääasiassa lieriökierteiset lastut muodostivat vielä pienen lastupallon.

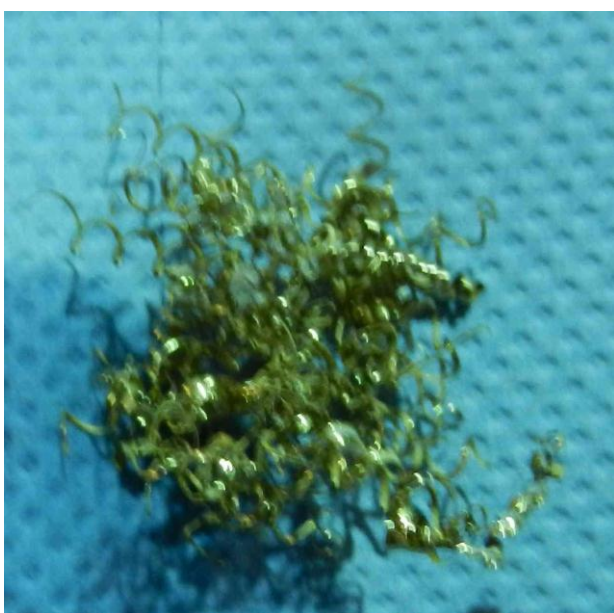
Tehontarve nousi tällä terällä ja näillä arvoilla koneen mittarin mukaan noin 20 prosenttia normaalista pyörimisestä.

8.5.4.2 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,2mm

Kuvat 66 ja 67 esittävät lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa runkoihin jäi sisälle.



Kuva 66. U-lastuja ja muutamia lieriökierrelastuja



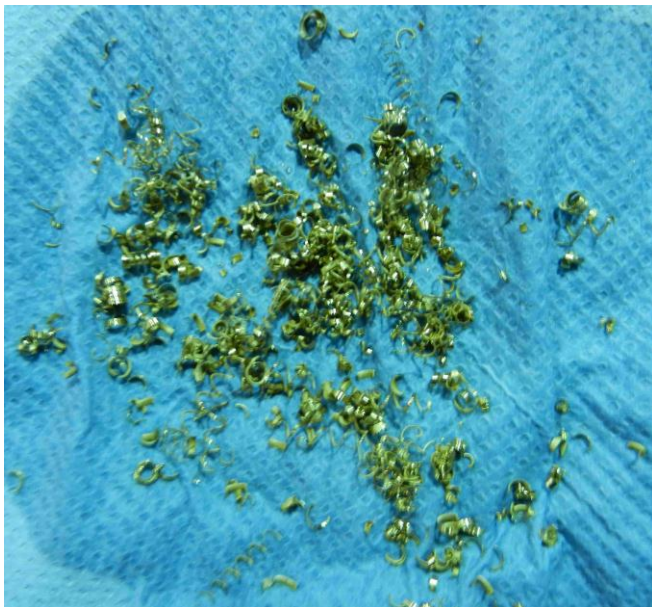
Kuva 67. Muutamia hieman pidempiä lastuja

Näillä arvoilla koneistettaessa lastuja jäi runkoon sisälle todella vähän, ne olivat pääasiassa u-lastuja, mukana oli myös muutamia lieriökierre- ja tasokierrelastuja.

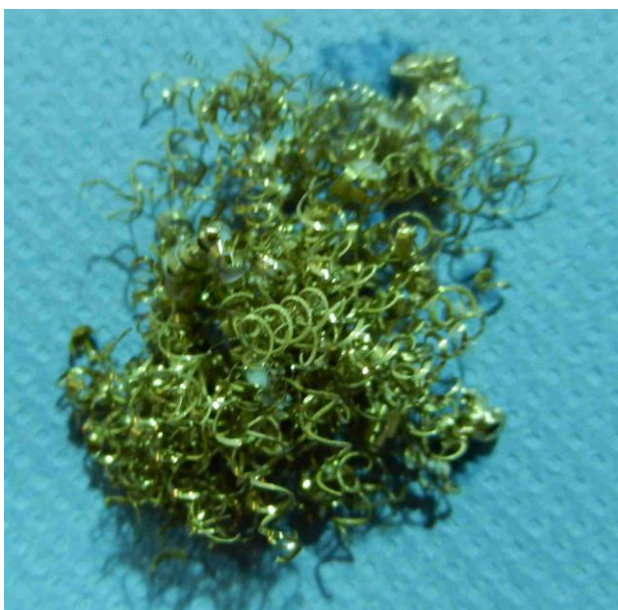
Tehontarve näillä arvoilla nousi normaaliin pyörimiseen nähden noin 30 prosenttia.

8.5.4.3 Karanopeus S2500 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuvat 68 ja 69 esittävät lastuja, joita näillä arvoilla koneistettaessa runkoihin jäi siälle.



Kuva 68. Isoja u-lastuja



Kuva 69. Tasokierrelastuja pienessä kasassa

Näillä arvoilla koneistettaessa lastut olivat muodoltaan isoja u-lastuja ja mukana oli myös tasokierteisiä lastuja ja muutamia lieriökierteisiä lastuja. Tasokierrelastut muodostivat pienen kasan.

Tehontarve koneen mittarin mukaan näillä arvoilla nousi normaalista pyörimisestä noin 25 prosenttia.

8.5.4.4 Yhteenveto

Ra-arvo tässä sarjassa oli 0,4 - 0,7 välillä, ensimmäisillä arvoilla se oli parhaimmalla tasolla. Tälläkin terällä lastut alkoivat näyttää sellaisilta, että ne voisivat mennä läpi lastujärjestelmästä ilman hintavia lastumurskaimia, erityisesti arvoilla S2000 ja f_z 0,2mm. Terärikkaja nämä lastut eivät enää aiheuta, sillä runkoon jäävä lastumäärä on pieni.

Terän suunnittelin samoihin aikoihin kuin kaksi edeltävääkin murtajaurallista terää, tästä syystä uran R on tälläkin terällä liian iso ja tasamuotoinen.

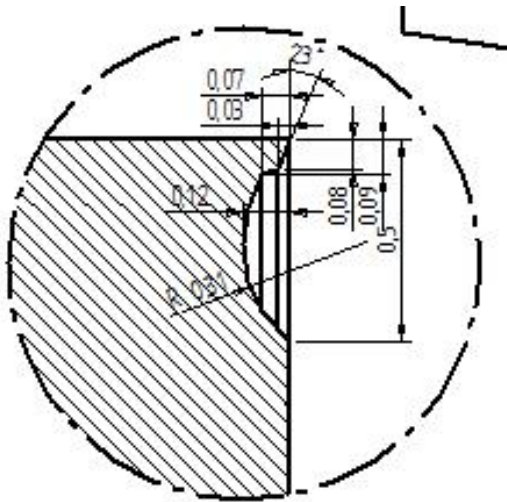
Nirkon pyöritys todellakin näyttää vaikuttavan niin, että lastunmuoto ja erityisesti pituus muuttuu. Simulointien pohjalta tätä osasin odottaa, pyöritys nirkossa laskee lastun lämpötilaa ja näin ollen lastu katkeaa helpommin.

8.5.5 Lastunmurtaja

Terän numero on 3601895. Tähän terään on teräpalaan suunniteltu murtajaura, joka kulkee koko palan särmän matkalla. Kuvassa 70 esitetään suunniteltu murtajaura.

Suunnittelemani terä perustuu kuvan 13. terään neljä, terän simulointi tuloksia esitetään kuvassa 18. Simulointien perusteella tällä terällä lastun lämpötila pysyy alhaisena ja näin ollen lastun pitäisi katketa.

Murtajaura joudutaan tekemään kipinöimällä, mikä tarkoittaa, että teräpalan valmistaminen on aika hankalaa ja hintavaa. Kuva terästä liitteessä 5.



Kuva 70. Murtajauran profiili

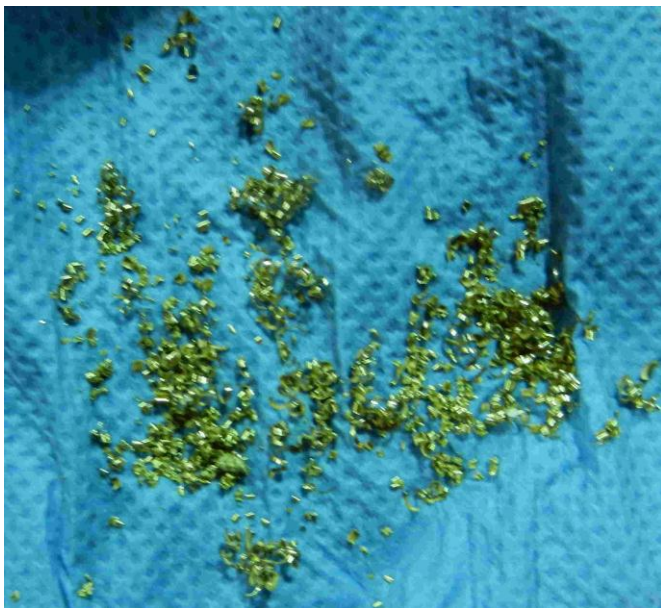
8.5.5.1 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,15mm

Näillä arvoilla koneistettaessa runkoihin ei jäänyt sisälle yhtään lastua, josta olisi saanut kuvaa, lastut menivät niin pieneksi.

Tehontarve nousi normaaliin pyörimiseen nähden noin 35 - 40 prosenttia.

8.5.5.2 Karanopeus S2000 ja syöttönä f_z 0,2mm

Kuva 71 esittää lastuja joita näillä arvoilla koneistettaessa jäi runkoon sisälle.



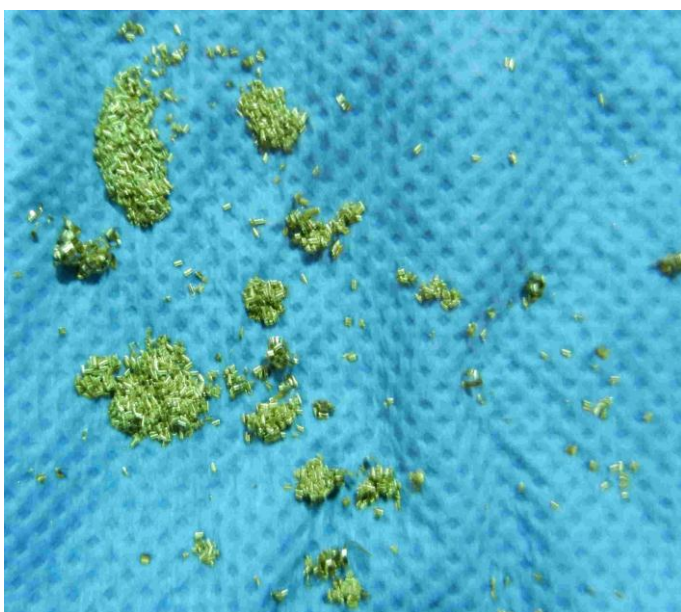
Kuva 71. murulastua

Tällä terällä ja näillä arvoilla koneistettaessa lastut olivat pientä murulastua ja niitä jäi runkoon sisälle hyvin vähän.

Tehontarve nousi normaaliin pyörimiseen nähden 45 prosenttia, nousu oli tämän terän ja koko teräsarjan korkein.

8.5.5.3 Karanopeus S2500 ja syöttönä f_z 0,15mm

Kuva 72 esittää lastuja joita jäi runkoon näillä arvoilla koneistettaessa.



Kuva 72. Todella hienoa murulastua

Näillä arvoilla koneistettaessa murulastu oli vieläkin hienompaa kuin edellisillä arvoilla, todennäköisesti ensimmäisillä arvoilla lastu oli samanlaista kuin näillä, koska molemmilla syöttönä f_z 0,15mm.

Tehontarve nousi näillä arvoilla normaaliin pyörimiseen nähden 40 – 45 prosenttia.

8.5.5.4 Yhteenveto

Ra-arvo oli tällä terällä 0,5 - 0,6 välillä, vaikka pelkäsin sen olevan huonompi, koska koneistaessa kuului yllättävän jyrisevää ääntä. Yllättävän siksi, että murtajaura oli aikaisemmissa terissä ollut jo jyrkempilähtöinen palan särmältä, joten siitä se ei voinut johtua. Teränsärmällä olevalla murtajauralla ei pitäisi myöskään olla vaikutusta ääneen, koska sillä ei varsinaisesti ole vaikutusta lastun leikkuutapahtumaan, sillä leikkuu tapahtuu jokaisen halkaisijan kohdalla teräpalan nirkossa.

Suunnitellessani tätä terää epäilin sen toimivuutta ja nähdessäni terän epäily vain vahvistui. Ajattelin, että lastu menee uran yli muotoaan muuttamatta, koska se on vain 0,12mm syvä ja koko uran leveys on särmästä vain 0.5mm.

Terä toimi kuitenkin jopa paremmin mitä simulointien pohjalta oli odotettavissa, koska lastu meni niin pieneksi muruksi, että siitä oli hankalaa saada kuvia.

Vähälyijyinen messinki näillä sekoitussuhteilla vaatii melko jyrkän ja todella pienen uran. Olettamuksena on, että lämmitessään materiaali pehmenee ja seuraa teräpalan pintaan tehtyä muotoa. Näin ollen lastu katkeaa urassa, mikäli on jäähtytys kunnossa.

9 YHTEENVETO TULOKSISTA JA PÄÄTELMÄT

Tämän työn tavoitteena oli etsiä ratkaisuja vähälyijyisen messingin lastun katkaisuun koneistuksessa ja todentaa FEM-simulointien tuloksia. Työssä esiteltiin lastunmuodostuksen teoriaa sekä simulointien tuloksia. Alustavien lastuamiskokeiden, työssä hankitun kokemuksen ja Aalto-yliopiston tekemien simulointitulosten pohjalta suunnittelin viisi terää, joissa terägeometria poikkeaa toisistaan.

Lastuamiskokeiden perusteella voidaan todeta, että Aalto-yliopistolla suoritettujen simulointien tulokset vastaavat melko tarkasti lastuamiskokeiden tuloksia. Voidaan todeta myös, että simulointien käyttö menetelmäsuunnittelun tukena on hyvä ja nopea tapa saada lähtökohtia esimerkiksi työkalusuunnitteluun ja koneistusparametreihin.

Lastuamiskokeet myös osoittivat että jos käytössä on samanlainen messinki ja lastujärjestelmä kuin lastuamiskokeissa, niin paras terä syvien reikien poraamiseen joista lastu ei pääse pohjan kautta pois on terä, jossa on teräpalassa murtajaura koko särmällä. Murtajauran tulee olla melko pieni, jotta se aiheuttaa lastussa riittävän jyrkän kaartumisen. Tämän terän valmistus on hankala prosessi, joka vaatii joko uppokipinöintikoneen tai alan viimeisintä tekniikkaa olevan hiomakoneen jolla uran hiominen onnistuu.

Voidaan myös todeta että lastun ihanteellinen katkeaminen edellyttää lastun pitämistä mahdollisimman viileänä. Tällöin teräsuunnittelussa on otettava huomioon poraemuksion tuonti mahdollisimman lähelle niitä terän kohtia missä lastuaminen tapahtuu.

Mikäli lastujärjestelmä mahdollistaa niin on mahdollista myös käyttää kahta muutakin terää, joissa lastunmurtajat ovat vain jokaisen halkaisijan kohdalla rintapinnassa, ja nirkossa on joko pyöritys tai viiste. Näilläkin terillä lastu menee niin pieneksi, etteivät ne aiheuta teräriikkoja. Näiden kahden terän valmistaminen ei vaadi välttämättä uppokipinöintivälineitä.

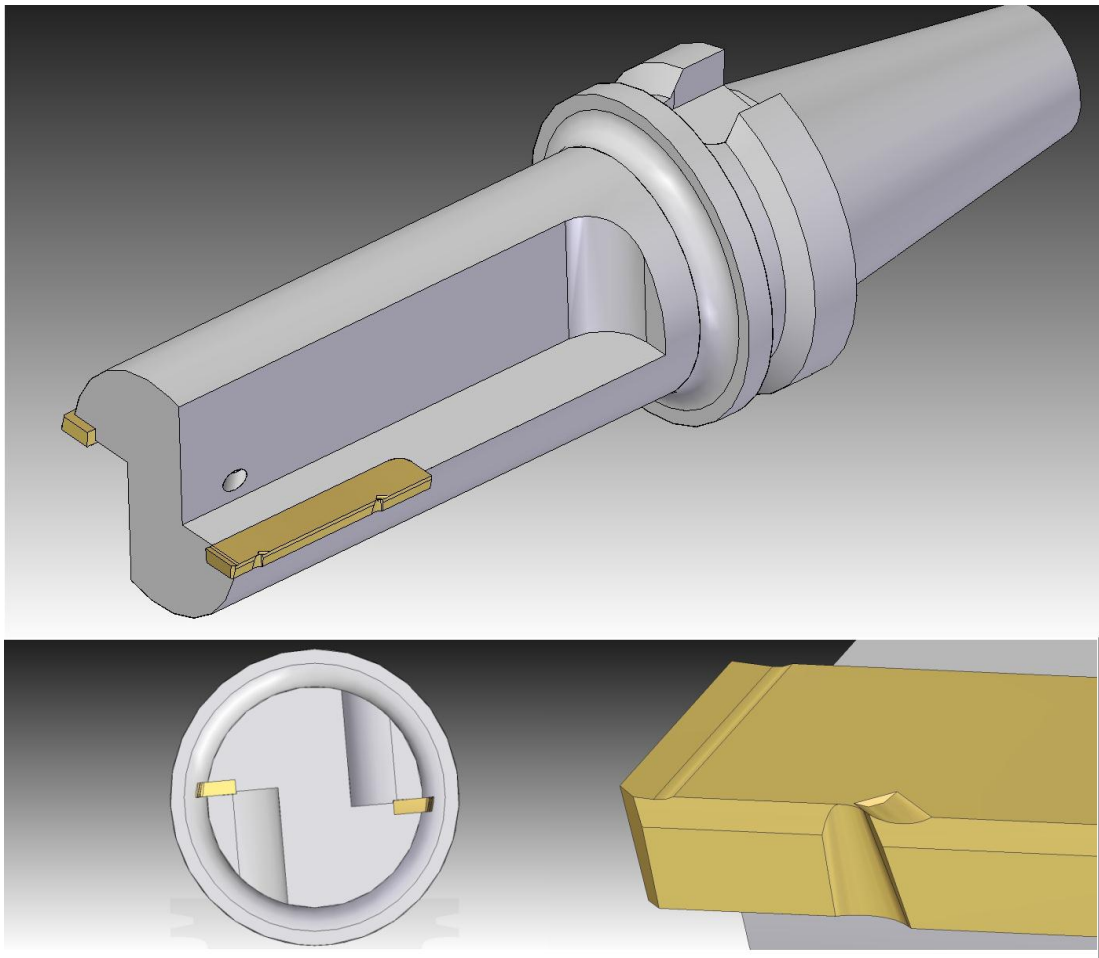
Teräkokeet osoittivat, että kolme terätyyppiä katkaisee lastun. Terä, jossa on murtajaura palan koko särmällä, osoittautui selvästi toimivimmaksi. Kyseisen terän valmistuksen hankaluudesta johtuen olisi järkevää myös tutkia vaihtoehtoisten materiaalien käyttöä. Jos porattavan reiän halkaisijan mittatarkkuusvaatimukset eivät alita $\pm 0,1\text{mm}$ tarkkuutta niin tarjolla on valmiita teräratkaisuja jotka on toteutettu vaihtopaloilla.

Mikäli kokeessa käytettyä materiaalia käytetään, olisi aiheellista tehdä kolmella parhaaksi valitulla terällä lisälastuamiskokeet, joissa testataan terien kulumiskestävyys ja rikkoutumisherkyys. Tämän tutkimuksen teräkokeissa ei niitä tutkittu työnrajuksen takia.

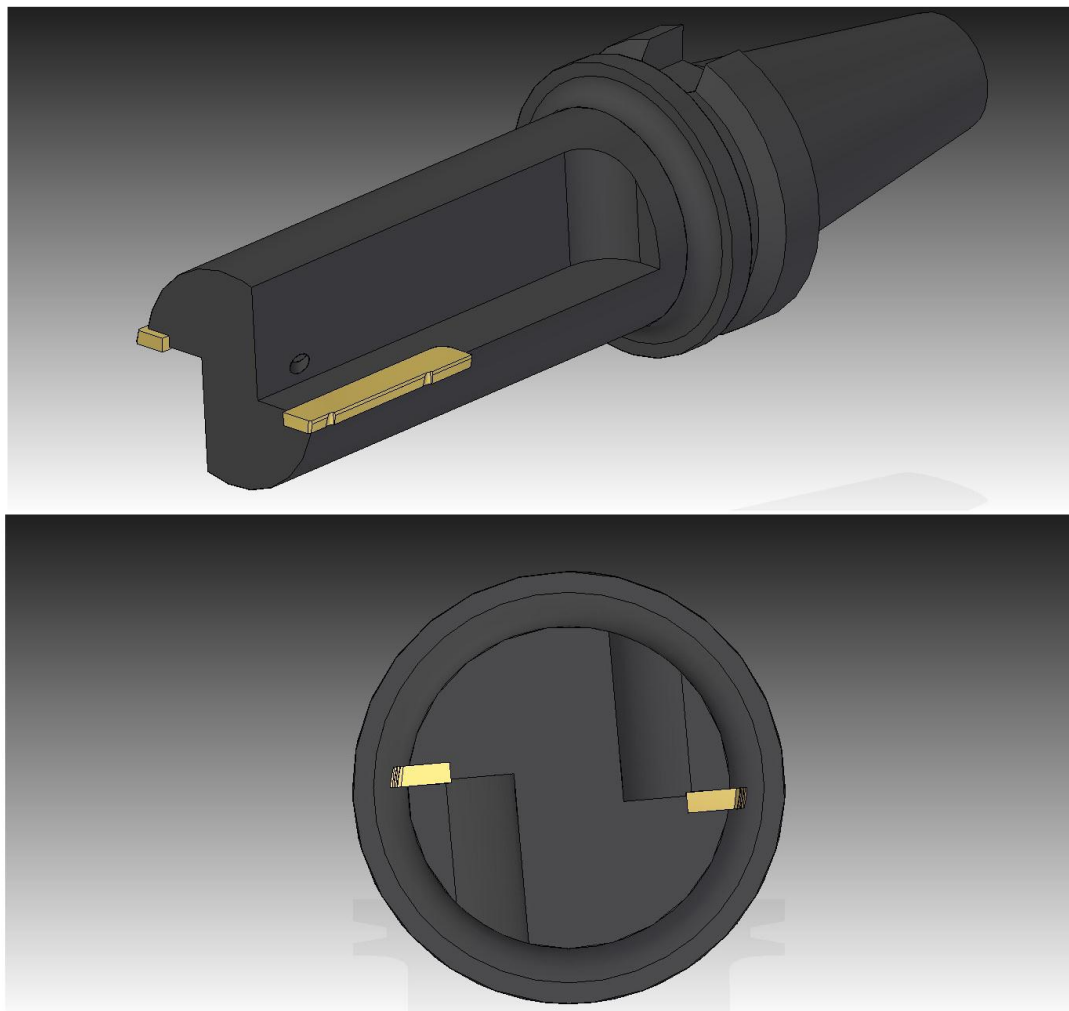
LÄHTEET

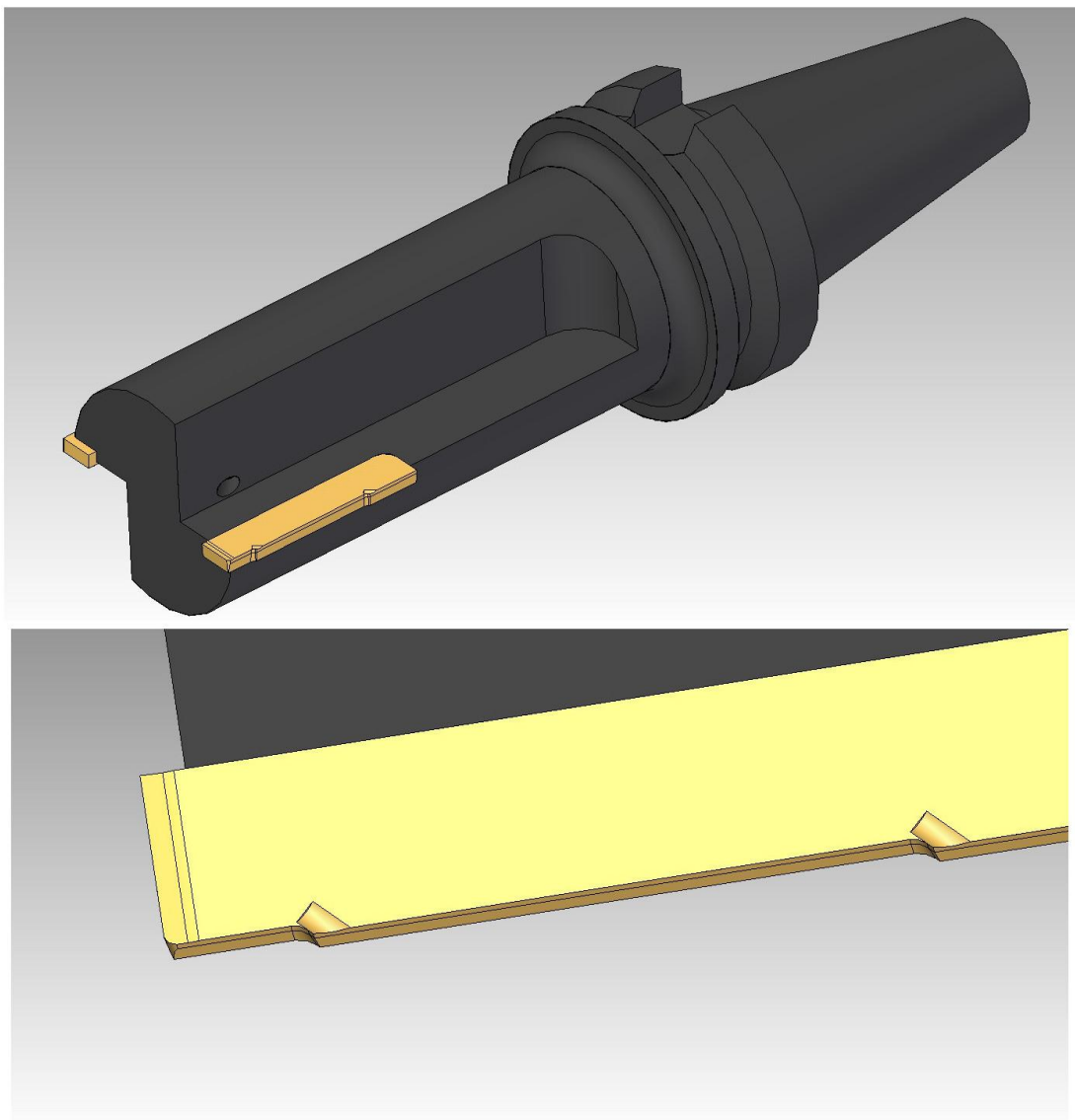
1. Oras Oy 2012
2. YCM-V96A Mechanical Manual part 1
3. Inspection Certificate by Nordic Brass Gusum AB
4. Chemical Composition Certificate by Latones Del Carrión
5. <http://www.sdda.com/kupari/messingit.html>
6. Ansaharju, T. & Maaranen, K. 1997. Koneistus. 1.p. Porvoo: WSOY
7. Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Koneistustekniikat. 1.p. Porvoo: WSOY
8. Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2002. Valmistustekniikka. 9.p. Helsinki: Otatieto Oy
9. Childs, T., Maekawa, K., Obikawa, T. & Yamane, Y. 2000. Metal Machining Theory and Applications. London: Arnold
10. Sähköposti keskustelu Sampsa Laakso kanssa
11. Keskustelu Menetelmäsuunnittelija Ilkka Saarisen kanssa

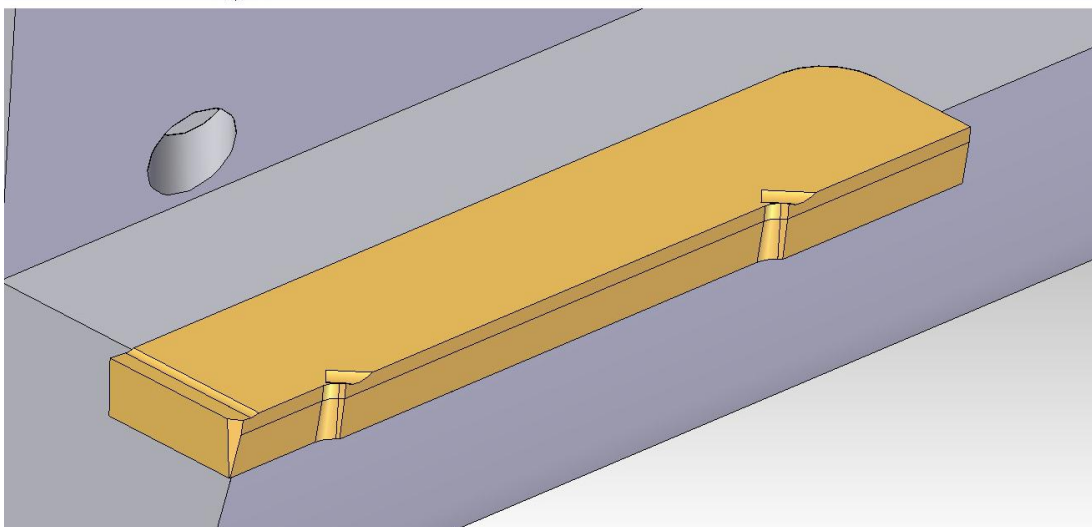
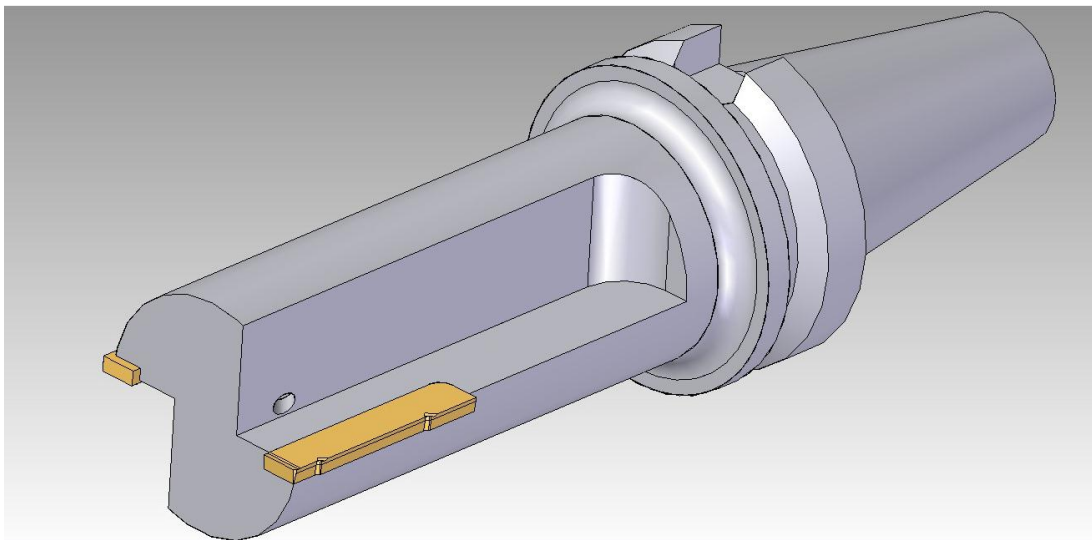
LIITE 1



LIITE 2







LIITE 5

