

LAPPEENRANNAN TEKNILINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 - Kandidaatintyö ja seminaari

FEEDCHIP-JÄRJESTELMÄN TOIMIVUUS M-TERÄKSEN TESTAUKSESSA JA
LASTUAMISNOPEUDEN VAIKUTUS M-TERÄKSEN LASTUTTAVUUTEEN

FEEDCHIP –SYSTEM’S FUNCTIONALITY ON TESTING OF M-STEEL AND
CHIPPING SPEED EFFECT ON M-STEEL CHIPPING

Lappeenranta 26.1.2009

Tapani Ahonen

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	Yritysesittely ja tutkimusongelma.....	1
1.2	Työn tavoite ja rajaus	2
2	OVAKON M-TERÄS.....	3
3	LASTUAMISTAPAHTUMA	6
3.1	Lastuamisparametrit	6
3.2	Lastuamisvoimat	8
4	FEEDCHIP-JÄRJESTELMÄ.....	9
4.1	Adaptiivinen rouhintasorvausjärjestelmä.....	9
4.1.1	Rauhaton työstö	10
4.1.2	Viistekuluminen.....	11
4.2	Mitattavat signaalit.....	12
4.2.1	Teho	12
4.2.2	Akustinen Emissio	12
4.2.3	Ääni.....	13
4.2.4	Kiihtyvyys.....	14
5	KOEJÄRJESTELYT	15
5.1	Sorvi	15
5.2	Materiaali	15
5.3	Teräpala.....	17
5.4	Kokeen kulku	17
6	TULOKSET JA ARVIOINTI.....	19
6.1	Kiihtyvyys-lastuamisnopeus	19
6.2	Akustinen emissio- lastuamisnopeus	22
6.3	Ääni- lastuamisnopeus	24
6.4	Teho- lastuamisnopeus.....	25
6.5	Teräpalan viistekuluminen	26
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	30

1 JOHDANTO

Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT-metallin Konepaja- ja levytyötekniikan laboratoriossa on kehitetty adaptiivinen rouhintasorvaus-järjestelmä, joka on nimetty FeedChip:ksi. Tässä työssä käsitellään FeedChip-järjestelmän toimivuutta M-teräksen testauksessa sekä lastuamisnopeuden vaikutusta M-teräksen lastuttavuuteen. Tarkoituksena on tutkia FeedChip-järjestelmän käyttömahdollisuuksia Ovako Bar Ab:n lastuttavuuskokeissa.

Työ on jaettu kahteen osioon: teoriaosuus ja tutkimusosuus. Työn ensimmäisessä osiossa on tarkasteltu M-käsitellyn teräksen eroavaisuuksia verrattuna M-käsittelemättömään teräkseen. Ensimmäisessä osiossa on lisäksi käsitelty lastuamiseen liittyviä tärkeimpiä parametreja. Työssä on esitelty FeedChip-järjestelmä sekä sorvaustapahtuman aikana tarkkailtavat muuttujat. Tieto on koottu kirjallisuutta ja tietokantoja hyväksi käyttäen. Työn toisessa osiossa kuvataan koejärjestelyt ja suoritettavat kokeet. Osiossa käsitellään lisäksi sorvauskokeen tuloksia ja tulkitaan eri signaalien käyttäytymistä lastuamistapahtumassa.

1.1 Yritysesittely ja tutkimusongelma

Imatran terästehdas sai alkunsa vuonna 1915, kun Elektorometallurgiska AB perustettiin. Nykyisen Imatran terästehtaan rakentaminen alkoi vuonna 1935. Teräksen tuotanto Imatralla aloitettiin pari vuotta myöhemmin vuonna 1937. Yrityksen historiaan on kuulunut useita yrityskauppoja sekä fuusioita. Vuonna 2005 tapahtuneessa teräsyhtiöiden fuusiossa syntyi uusi nykyisin Ovakona tunnettu konserni. Ovako on johtava eurooppalainen pitkien erikoisteräksien tuottaja, jonka liikevaihto on 1,7 miljardia euroa. Yritys työllistää 4000 ihmistä 15:sta eri tuotantolaitoksessa. Kokonaistuotanto on vuosittain 2 miljoonaa tonnia terästä. (Ovako.)

Ovako Bar Oy Ab:n Imatran tehtaalla on käytössä 20 vuotta vanha lastuttavuuskoe, jolla määritetään teräksen M-käsittelyn onnistuminen. Koe on riippuvainen käytetystä teräpalasta, jonka valmistus on lopetettu. Yrityksellä on varastossa vielä teräpaloja, mutta varastot hupenevat parin vuoden sisällä. Nyt käytössä olevalle teräpalalle on etsitty

korvaavaa vastaavanlaista teräpalaa tuloksetta. Nykyinen lastuttavuuskoe ei varsinaisesti kerro kuinka hyvä materiaali on lastuta, vaan koe mittaa M-käsittelyn onnistumista tietyissä lastuamisolosuhteissa. Ongelmana on ollut myös heikkojen koetulosten painottuminen suurille lastuamisnopeuksille, joita käytetään etenkin lastuttaessa pehmeitä teräslaatuja. (Ryynänen 2008, s. 2.)

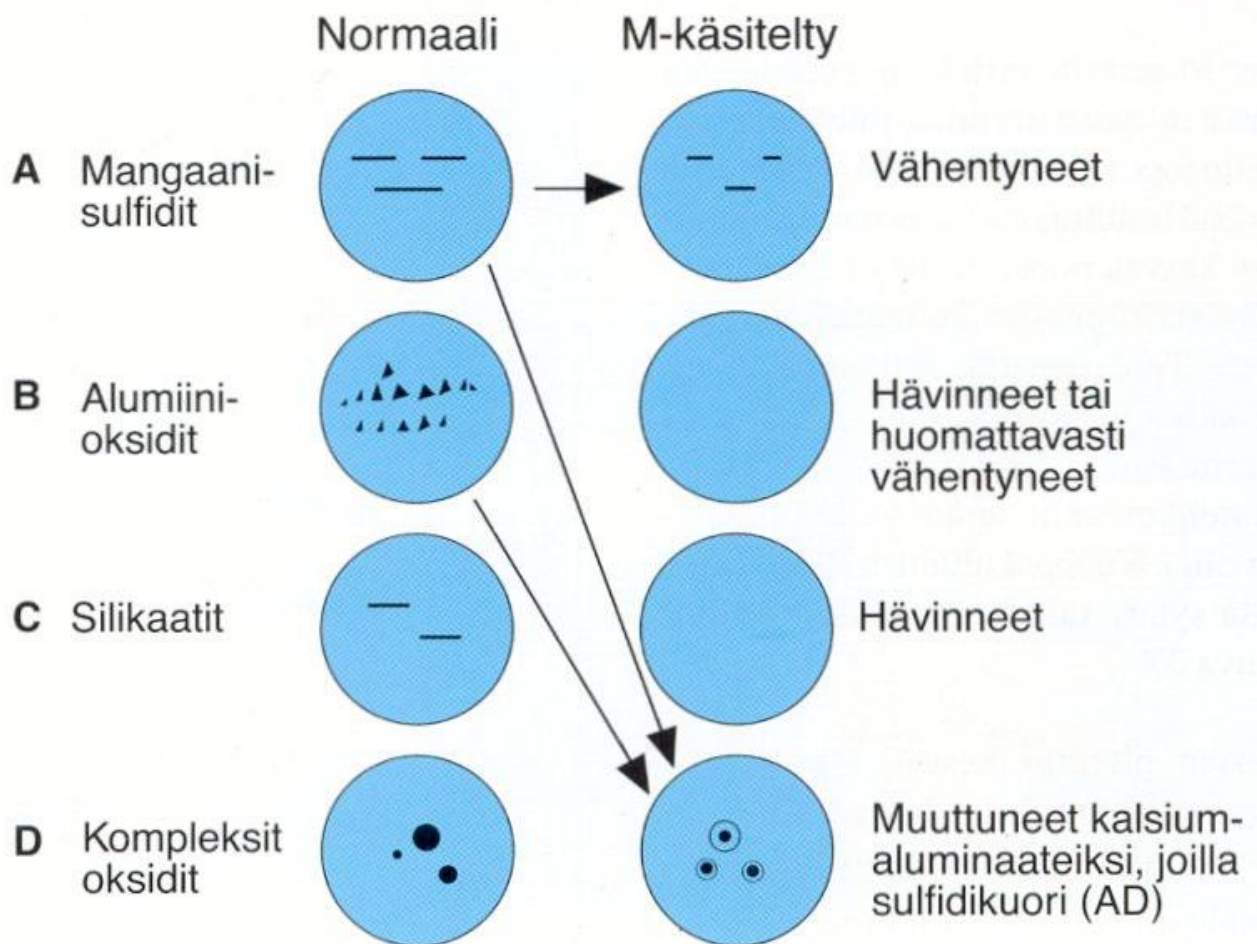
1.2 Työn tavoite ja rajaus

FeedChip-järjestelmän soveltuvuutta M-käsittelyn onnistumisen testauksessa tarkasteltiin sorvauskokeilla. Tarkoituksena oli löytää järjestelmän avulla muuttujien eroavaisuuksia ei M-käsitellystä teräksestä ja M-käsitellystä teräksestä. Sorvauskokeissa saatavien muuttujien perusteella oli tarkoitus arvioida järjestelmän soveltuvuutta M-teräksen testaukseen. Lisäksi sorvauskokeissa tarkastellaan lastuamisnopeuden vaikutusta M-teräksen lastuttavuuteen. Työn tarkoituksena oli selvittää soveltuuko FeedChip-järjestelmä M-teräksen testaukseen ja pohtia mahdollisuutta käyttää järjestelmää Ovakon lastuttavuuskokeissa.

Työ teoriaosuus on rajattu käsittelemään lastuamistapahtumassa esiintyvien tärkeimpien lastuamisparametrien ja lastuamisvoimien vaikutusta lastuamiseen. On hyvä huomioda, että nykyinen FeedChip-järjestelmä on luotu rouhinnalle, jolloin lastuamisen tärkein edellytys on poistaa tarpeetonta materiaalia mahdollisimman nopeasti.

2 OVAKON M-TERÄS

M-teräksen M-kirjain tulee englanninkielestä sanasta machinability, joka tarkoittaa vapaasti suomennettuna lastuttavuus, työstettävyys, koneistettavuus. Sanalla on haluttu tuoda ilmi teräksen parempia lastuamisominaisuuksia M-käsittelmättömään teräkseen verrattuna. Lastuamisominaisuuksien parantuminen johtuu teräksen kalsiumkäsittelystä (myöhemmin Ca-käsittely), jossa muokataan teräksen mikrorakennetta lastuttavuuden kannalta suotuisampaan suuntaan. Kuvassa 1 on esitetty Ca-käsittelyn avulla saavutettavia hyötyjä normaaliteräkseen verrattuna (Ovako, terästangot. 2006).



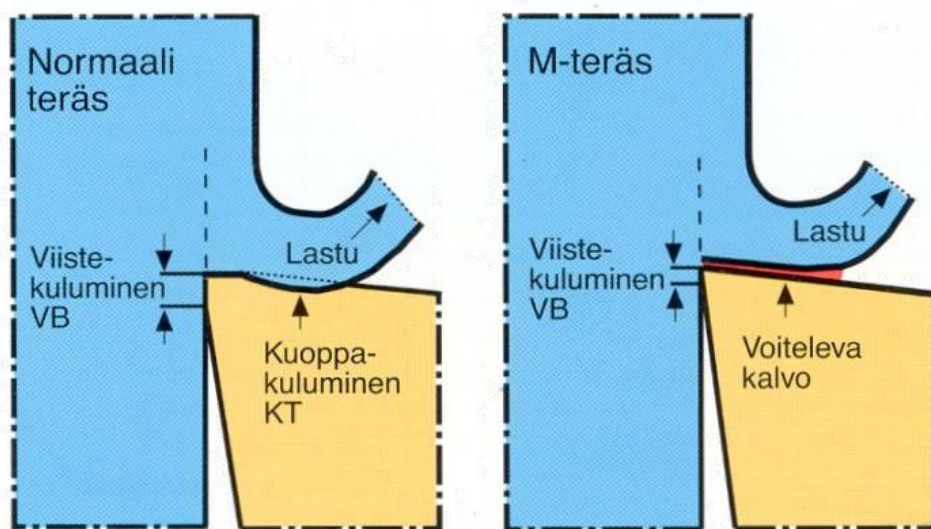
Kuva 1. M-käsittelyn vaikutus teräksen mikrorakenteeseen (Tanskanen, A. 2005).

Kalsium käsittelyllä on saatu haitallisia yhdisteitä vähentymään tai muuttumaan paremmin lastuttavaan muotoon, kuten kuvan 1 periaatekuvasta on havaittavissa. Mangaanisulfidit,

alumiinioksidit ja silikaatit vähentyvät huomattavasti tai häviävät kokonaan käsittelyn jälkeen. Kompleksiset oksidit sekä alumiinioksidit muuttuvat Ca-käsittelyssä kalsiumaluminaateiksi, joilla on sulfidikuori. Muuntuneet kalsiumaluminaatit ovat helpommin lastuttavia kuin alkuperäiset oksidit. Ca-käsittelyn toimivuus perustuu hallittuun sulkeumarakenteen saavuttamiseen, jossa haitalliset partikkelit saadaan hävitettyä tai muutettua paremmin lastuttaviksi. Ca-käsittelyllä on saavutettavissa parempia ominaisuuksia, jotka ovat seuraavanlaisia:

- suojakalvon muodostuminen teränpinnalle
- parantunut lastunmurto
- lastuamislämpötilan alentuminen voitelun ansiosta
- lyhyempi kontaktipinta-ala teränpinnalla
- helpompi teräksen muokkaantuminen muodonmuutosalueilla. (Lastuavat valmistusmenetelmät.)

Suojakalvon muodostuminen terän pinnalle parantaa teräpalojen kulumiskestävyyttä ja vähentää varsinkin kuoppakulumisen esiintymistä. Kuvassa 2 on esitetty suojakalvon muodostuminen M-teräksen ja teräpalan välille. Normaalisessa teräksessä suojakalvoa ei esiinny, jolloin teräpalan viiste- ja kuoppakulumisen on huomattavasti suurempaa kuin M-terästä lastuavan teräpalan. (Lastuavat valmistusmenetelmät.)



Kuva 2. Teräpalan pinnalle muodostuvan suojakalvon kulumista estävä vaikutus M-teräksessä (Tanskanen 2005).

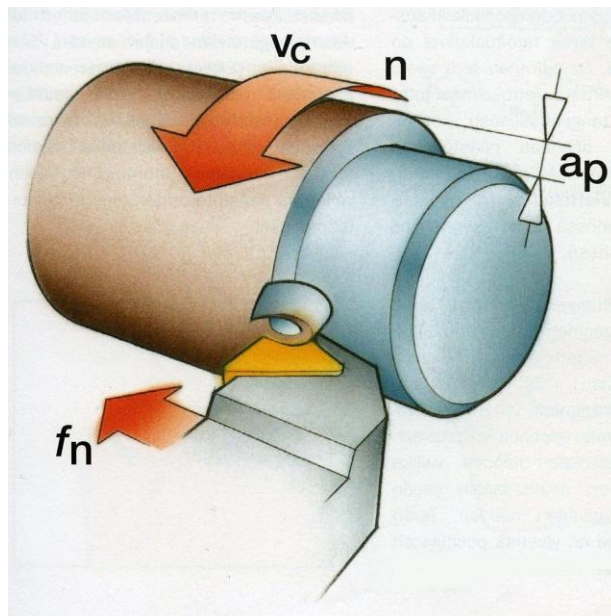
M-teräksessä voiteleva kalvo vähentää teräpalan viiste- ja kuoppakulumista, kuten kuvasta 2 on havaittavissa. Kulumisen vähentymisen johdosta teräpalalla voi lastuta M-terästä huomattavasti suuremmilla lastuamisnopeuksilla tai pidemmän aikaa kuin normaaliterästä. Voitelevan kalvon ansiosta yhden teräpalan tuottavuus kasvaa huomattavasti verrattuna tilanteeseen, jolloin lastutaan perinteistä terästä. (Lastuavat valmistusmenetelmät.)

3 LASTUAMISTAPAHTUMA

Lastuttavuus käsitteenä on vaikeasti määriteltävä, sillä lastuttavuuteen vaikuttaa useat eri tekijät. Yleisimmin lastuttavuuteen vaikuttavat materiaalin ominaisuudet, työstömenetelmä ja parametrit. Lastuttavuutta ei näin ollen voida ilmaista yhdellä ainoalla lukuarvolla, vaan lastuamista arvioidaan yleensä saavutettavan pinnanlaadun tai työkalun kestoiän avulla. (Andersson 1997, s. 133.) Tässä luvussa on esitetty oleellisia tekijöitä, jotka vaikuttavat lastuttavuuteen.

3.1 Lastuamisparametrit

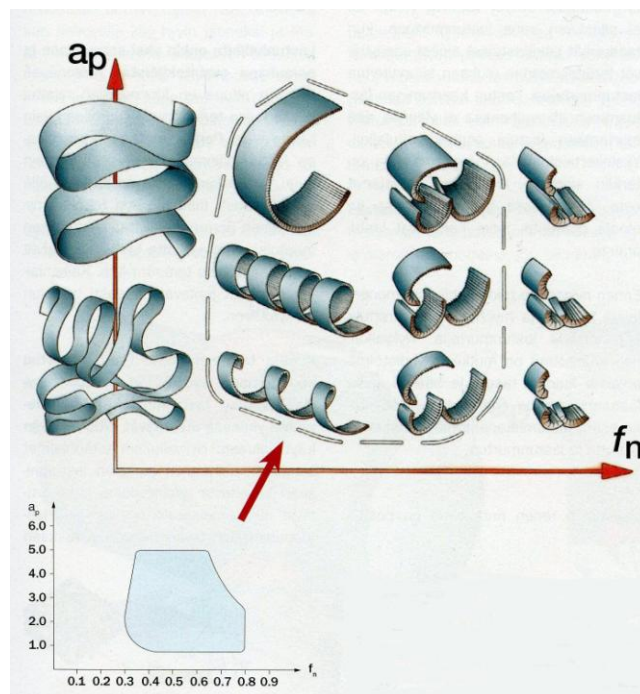
Lastuamisparametrit ovat yksi tärkeimmistä lastuttavuuteen vaikuttavista tekijöistä, jotka vaikuttavat lastuttavuuteen. Merkittävimmin lastuttavuuteen vaikuttavat parametrit ovat lastuamisnopeus v_c [m/min], syöttö f_n [mm/r] ja lastuamissyvyys a_p [mm]. (Ansaharju & Maaranen 1997, s. 219.) Lastuamisparametreista lastuamisnopeus vaikuttaa eniten terän kulumiseen, syöttö lastuamisen rauhallisuuteen ja lastuamissyvyys syntyyviin lastuamisvoimiin ja näin ollen työstössä käytettyyn konetehoon (FeedChip 2009, s. 5). Kuvassa 3 on esitetty sorvauksen tärkeimmät parametrit.



Kuva 3. Sorvauksen tärkeimmät parametrit (Sandvik Coromant 2005, s. A9).

Karanopeus (n) kuvaa työkappaleen pyörimistä akselinsa ympäri kierrosta minuutissa. Lastuamisnopeus (v_c) saadaan, kun otetaan huomioon karanopeuden lisäksi kappaleen halkaisija lastuttavassa kohdassa. Terän liikkuminen kappaleeseen nähden kuvataan syöttönä (f_n), joka ilmoitetaan teräpalan liikkeenä millimetreinä kierrosta kohti. Lastuamissyvyys (a_p) kuvaa lastutun alueen syvyyseroa lastuamattomaan pintaan nähden. (Sandvik Coromant 2005, s. A9.)

Lastuamisparametrien valinta riippuu hyvin pitkälti lastuttavasta materiaalista ja lastuavasta teräpalasta. Työvaiheen merkitys on lisäksi merkittävässä asemassa, eli rouhitaanko vai viimeistelläänkö työkappaletta. Parametrien valintaan vaikuttavat myös taloudelliset tekijät ja valitun strategian tavoitteet. Strategiassa voidaan painottaa yleisesti kolme eri vaihtoehtoa; työkustannuksien minimointi, työstöajan minimointi tai tuoton maksimointi. Sopivien lastuamisparametrien valinnassa tehdään yleensä kompromissi strategian, teränkestoajan ja lastuamisnopeuden suhteen. (Andersson 1997, s. 162.) Lastuttaessa parametrit on valittava siten, että lastun muoto ei ole liian pitkä eikä liian lyhyt. Kuvassa 4 on esitetty syötön ja lastuamissyvyyden yhdistelmät, joilla aikaan saadaan halutun lastun muoto ja koko. (Sandvik Coromant 2005, s. A6.)

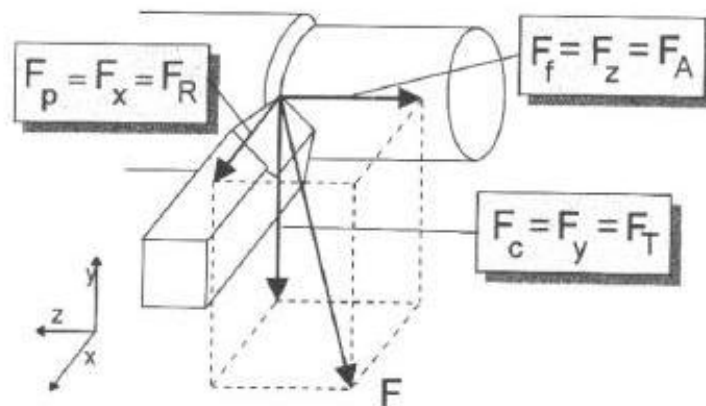


Kuva 4. Hyväksyttävä lastunkoko ja sen määrittelemä terägeometrian käyttöalue (Sandvik Coromant 2005, s. A7).

Huonosti valittujen parametrien seurauksena lastun muoto voi olla jatkolastua tai liian katkonaista, kuten kuvasta 4 on pääteltävissä. Jatkolastun kiertyessä kappaleen ympärille sekä katkolastujen sinkoutuminen ympäristöön hallitsemattomasti voivat aiheuttaa turvallisuusriskin koneistajalle tai aiheuttaa koneistusvirheen lastun mennessä työkappaleen ja terän väliin. Hyväksyttävä lastun muoto on yleensä näiden kahden ääripään välissä. (Sandvik Coromant 2005, s. A6.)

3.2 Lastuamisvoimat

Lastuamisprosessissa esiintyvät voimat ovat keskeisempiä työstöprosessin ilmiöitä, joiden tuntemusta tarvitaan muun muassa työstettävän kappaleen kiinnityksen suunnittelussa, lastuamisparametrien valinnassa kiinnitysvoimia vastaaviksi, tarvittavan tehon määrittelyssä ja teräpalan kestoajan määrittämisessä. Kuvassa 5 on esitetty lastuamisprosessissa esiintyvät lastuamisvoimat.



Kuva 5. Lastuamisprosessissa ilmenevät lastuamisvoimat (Andersson 1997, s. 14).

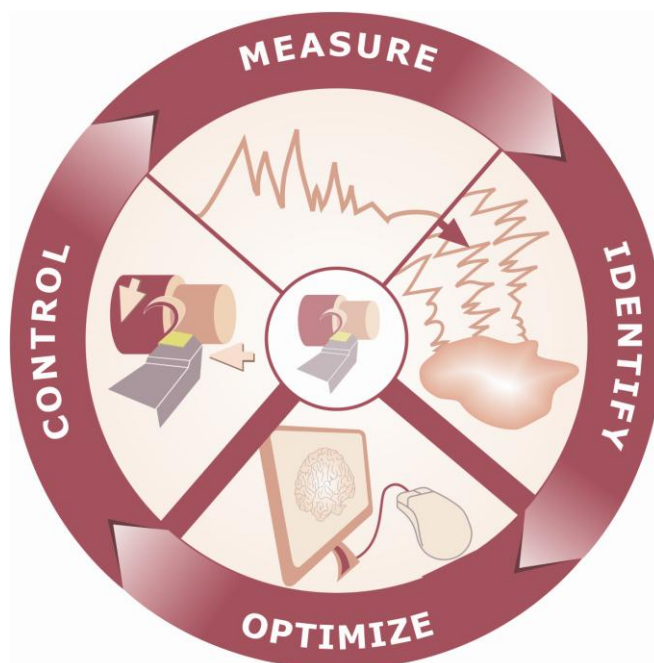
Kuvasta 5 on nähtävissä lastuamisvoimat, joista suurin lastuamisvoima on y-akselin suuntainen voima (F_y). Tätä voimaa kutsutaan päälastuamisvoimaksi tai tangentiaalivoimaksi. Syöttövoima (F_z) on z-akselin suuntainen ja toiseksi suurin lastuamisvoima. Syöttövoimaa kutsutaan myös aksiaalivoimaksi. X-akselin suuntainen voima on pienin esiintyvistä voimista, jota kutsutaan radiaalivoimaksi tai passiivivoimaksi (F_x). Lastuamisvoimien suuruuteen vaikuttaa monta tekijää, minkä vuoksi voimien suuruudesta on vaikea tehdä tarkkoja laskelmia. Lastuamisvoimien suuruuteen vaikuttaa lastuttava materiaali, lastuamisparametrit ja käytettävä teräpala. (Andersson 1997, s. 12-16.)

4 FEEDCHIP-JÄRJESTELMÄ

Lappeenrannan teknillisen yliopiston käynnistämä tutkimushanke ”Oppiva reaaliaikainen analysointi- ja säätöjärjestelmä sorvaukseen” on osa Tekesin SISU 2010-teknoologiaohjelmaa. Teknoologiaohjelmassa on kehitetty adaptiivinen rouhintasorvausjärjestelmä, jota kutsutaan FeedChip-järjestelmäksi (FeedChip 2009, s. 2.) Tässä osiossa esitellään lyhyesti FeedChip-järjestelmän ominaisuuksia ja sorvaustapahtumassa saatavien signaalien vaikutusta lastuamisparametrien säätöön.

4.1 Adaptiivinen rouhintasorvausjärjestelmä

Adaptiivinen rouhintasorvausjärjestelmä seuraa reaaliajassa sorvaustapahtumaa ja poistaa lastuamisessa esiintyviä ongelmatilanteita. Lisäksi järjestelmä pyrkii optimoimaan lastuamisparametreja siten, että työstötapahtuma on mahdollisimman turvallinen, tehokas ja sujuva. Kuvassa 6 on esitetty yksinkertaistettu toimintakaavio FeedChip-järjestelmästä. (FeedChip 2009, s. 21.)



Kuva 6. Yksinkertaistettu toimintakaavio FeedChip-järjestelmästä (FeedChip 2009).

Kuvasta 6 on havaittavissa FeedChip-järjestelmän toimintaperiaate, jossa lastuamistapahtumasta reaaliajassa mitattuja signaaleja tunnistetaan ja optimoidaan lastuamisparametreja. Tämän jälkeen optimoidut parametrit syötetään lastuamistapahtumaan ja mittaustapahtuma alkaa uudestaan. Lastuamistapahtuma on optimaalisin silloin, kun ongelmia ei esiinny ja koneen koko teho on hyödynnetty. Järjestelmä eliminoi ongelmatilanteita ja optimoi työstötapahtumaa säätämällä lastuamisnopeutta ja syöttöä. Tehokkaan ja turvallisen lastuamisen ylläpitämiseksi järjestelmälle on ohjelmoitu ennalta ongelmatilanteiden raja-arvoja. Järjestelmä reagoi neljään eri ongelmatilanteeseen, jotka ovat jatkolastu, rauhaton työstö, kimeä ääni ja aliteho. Ongelmat poistetaan seuraavassa prioriteettijärjestyksessä:

1. Jatkolastu
2. Rauhaton työstö
3. Kimeä ääni
4. Aliteho. (FeedChip 2009, s. 79.)

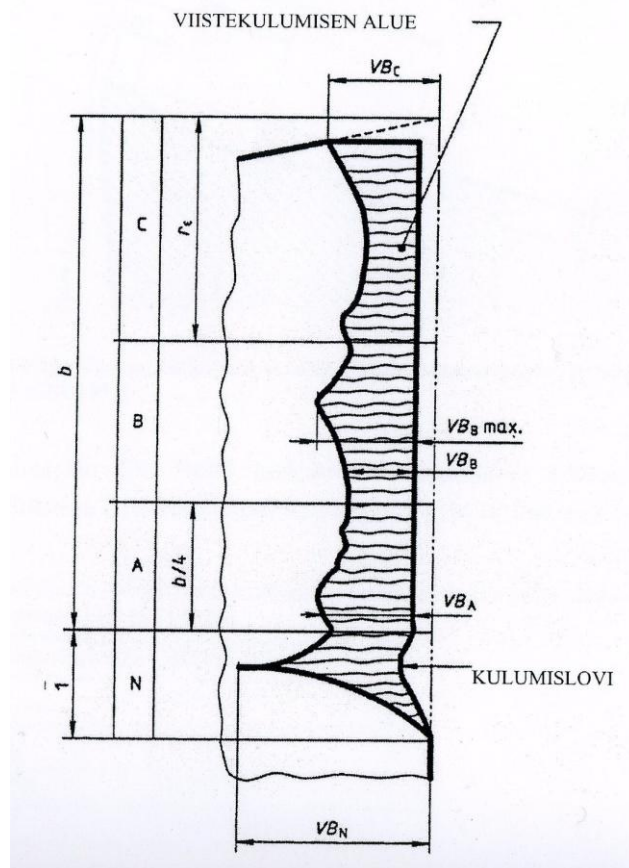
Kun ongelmia ei lastuamistapahtumassa enää esiinny, järjestelmä pyrkii maksimoimaan sorvin tehon lastuamistapahtumassa. Lastuamisnopeuden ja syötön säätelyllä järjestelmä maksimoi koneen tehon ja tekee lastuttavuudesta mahdollisimman tuottoisaa, lastuamistapahtuman pysyessä hallittuna. (FeedChip 2009, s. 79.)

4.1.1 Rauhaton työstö

Rauhaton työstö tunnistetaan usean signaalin tarkkailun tuloksena. Näitä ovat kiihtyvyys päälastuamisvoiman suuntaan (ACC1), akustinen emissio (AE) sekä ääni (MIC). Rauhaton työstö kuvaa tilannetta, jossa lastut lentelevät hallitsemattomasti. Lastujen hallitsematon lentely sorvaustapahtumassa on ensimmäisiä askeleita tilanteeseen, jossa koneistajan turvallisuus on uhattuna. Lisäksi rauhaton työstö enteilee laadun heikkenemistä sorvauksessa. Rauhattoman työstön hallinta on turvallisuutta parantava asia. (FeedChip 2009, s. 9.)

4.1.2 Viistekuluminen

Teräpala kuluu lastuamisen aikana johtuen kahden pinnan välisestä suhteellisesta liikkeestä. Kuluminen tapahtuu neljän eri kulumismekanismin seurauksena, joita ovat abrasiivinen kuluminen, adhesiivinen kuluminen, tribokemiallinen kuluminen sekä väsyminen. Eri kulumismekanismit vaikuttavat joko yhdessä tai erikseen johtaen teräpalan viiste- ja kuoppakulumiseen. (Andersson 1997, s. 72). Teräpalan viistekulumista voi mitata kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Teräpalan viiste- ja kuoppakulumisen mittausalueet ja mittausperiaatteet (Standard ISO 3685:1993, s. 12).

Viistekulumista merkitään kirjainyhdistelmällä VB ja sen alaindeksi riippuu mittausalueesta. Alue C on nirkon kulumista mittaava alue ja teräpalan keskikulumista mitataan kahdelta eri alueelta, B ja A. Alueelta N mitataan kulumislovia ja mikäli se on hallitsevin kulumissuure, niin sen mukaan on mitoitettava teräpalan kesto aika. Yleensä

alueen B kulumissuure on hallitsevin, ja jonka mukaan teräpalan kesto aika määritetään. (Standard ISO 3685:1993, s. 12).

4.2 Mitattavat signaalit

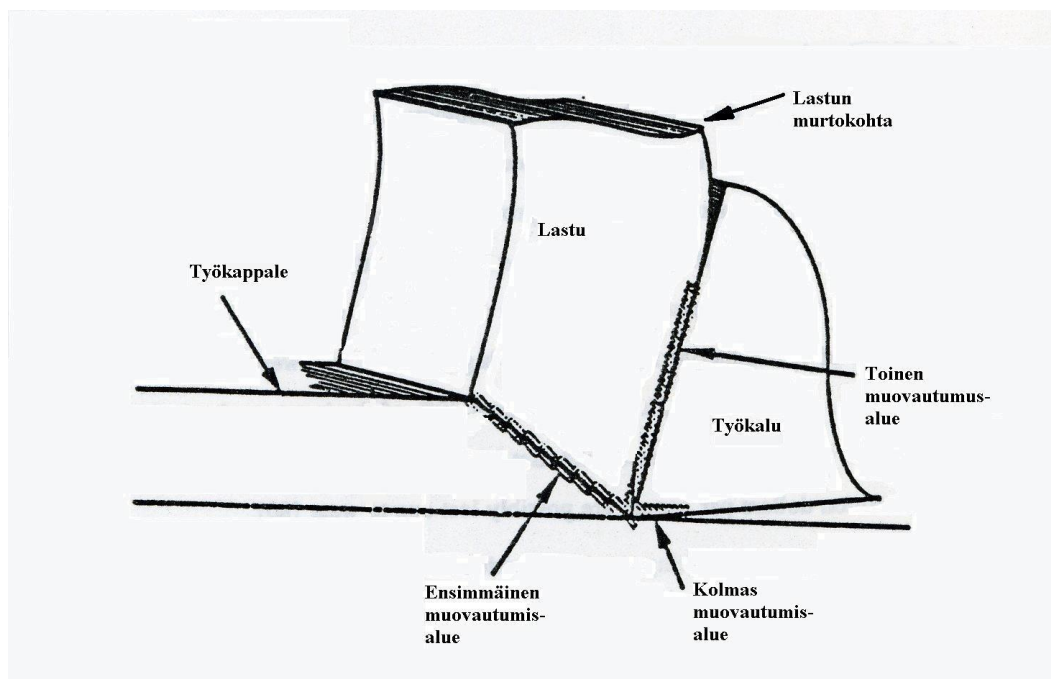
Mitattavat signaalit ovat avainasemassa FeedChip-järjestelmässä. Signaaleja mitataan antureiden ja mikrofonin avulla. Tässä osiossa on esitetty lastuamistapahtumasta saatavia signaaleja ja niiden vaikutusta FeedChip-järjestelmän säätö- ja optimointitilanteisiin.

4.2.1 Teho

Teholla mitataan suoritettua työtä aikayksikköä kohden, joka tässä tapauksessa tarkoittaa sorvauksesta aiheutuvaa mekaanista työtä suhteutettuna ajan funktioon (Luoma 1994, s. 112). FeedChip-järjestelmä laskee koneen otto- ja antotehon suuruuksista koneen hetkellisen tehon. Ongelmattoman tilanteen esiintyessä järjestelmä pyrkii parantamaan lastuamisprosessia siten, että hetkellinen teho on lähellä koneen maksimitehoa. Lastuamisprosessissa ei saa esiintyä muita ongelmatilanteita, kun tehoa aletaan maksimoida. (FeedChip 2009, s. 10.)

4.2.2 Akustinen Emissio

Akustinen emissio (AE) on materiaalin sisäisen rakenteen muutoksista johtuvaa värähtelyä, joka etenee kiinteässä materiaalissa ultraäänen tapaan (Sarkimo 1990, s. 7). Sisäisen rakenteen muutoksia voi olla muun muassa dislokaatioiden liike, mikrorakenteen murtuminen tai plastinen muodonmuutos. Sorvauksessa esiintyy akustista emissiota teräpalan lastuttaessa materiaalia. Ennen kuin materiaali irtoaa ahiosta, tapahtuu siinä sekä plastista muodonmuutosta että lastun katkeamista. Kuvassa 8 on esitetty akustisen emission syntymislähteitä sorvaustapahtuman aikana. (Jiaa 1989, s. 6.)



Kuva 8. Akustinen emissio syntyy lastuttavan materiaalin muodonmuutosalueilla ja lastujen katkeamiskohdassa (Jiaa 1989, s. 21).

Signaalikäsittelyn avulla akustisesta emissiosta voidaan päätellä lastun pituus. Lastun katkeaminen voidaan tulkita purskemaisesta AE:n muodosta, jossa aallon huippu tulkitaan lastun katkeamiseksi. Muodoltaan jatkuva AE on tulkittavissa materiaalissa jatkuvana tapahtumana, jonka värähtely tapahtuu ulkoisten tai sisäisten voimien aikaan saamana. Plastinen muodonmuutos on yksi esimerkki jatkuvan AE:n lähteistä sorvattaessa (Jiaa 1989, s. 13). Akustista emissiota esiintyy lastuamistapahtumassa koko ajan. Liian alhainen AE viittaa jatkolastuun ja liian korkea rauhattomaan työstöön. Järjestelmä säätää lastuamisparametreja siten, ettei kumpaakaan esiinny lastuamisprosessissa. (FeedChip 2009, s. 9.)

4.2.3 Ääni

Äänen voi luokitella aaltoliikkeeksi, joka saa aikaan kuuloaistimuksen. Ääni etenee yleensä pitkittäisenä aaltoliikkeenä kaasuissa ja nesteissä. Poikittaista aaltoliikettä voi esiintyä kiinteässä aineessa. Äänen syntylähteenä voi toimia mikä tahansa asia tai laite, joka aiheuttaa värähtelyä ilmamolekyyleissä. Molekyyliden värähtely saa aikaan ilmanpaineen vaihteluita, jonka ihminen aistii äänenä. (Lehto 1994, s. 180.) FeedChip-

järjestelmässä mitataan äänen intensiteettitason voimakkuutta. Tietyn intensiteettitason ylittyessä järjestelmä havaitsee kimeää ääntä, joka kuvastaa alhaisesta lastuamisnopeudesta johtuvaa lastuamisvärähtelyn lisääntymistä. Kimeää ääntä vähennetään nostamalla lastuamisnopeutta. (FeedChip 2009, s. 10.)

4.2.4 Kiihtyvyys

Kiihtyvyys kuvaa nopeuden muutosta aikaan nähden. Kiihtyvyys voi olla kiihtyvää, tasaista tai vähenevää (Lehto, H. & Luoma, T. 1994, s.70). FeedChip-järjestelmässä mitataan pysty- ja vaakasuuntaista kiihtyvyyttä. Pystysuuntainen kiihtyvyys on päälastuamisvoiman suuntainen ja vaakasuuntainen kiihtyvyys on syöttövoiman suuntainen. Kiihtyvyyden avulla FeedChip-järjestelmä tarkastelee värähtelyjä. Kohonnut värähtelytaso yhdessä kasvaneen akustisen emission kanssa viittaa epäsuotuisaan tapahtumaan lastuamisprosessissa, kuten jatkolastuun tai rauhattomaan työstöön. Kiihtyvyyden avulla järjestelmä pystyy tarkentamaan mahdollisia ongelmatilanteita ja poistamaan ne. (FeedChip 2009, s. 9.)

5 KOEJÄRJESTELYT

Tässä kappaleessa on esitetty lastuamiskokeissa käytetyt laitteet, sorvaustyökalut, materiaalit ja kuvattu kokeen kulku. Kokeet suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT-metallin Konepajatekniikan laboratoriossa.

5.1 Sorvi

Sorvauskokeet on tehty Doosan Daewoo Puma 2500 Y NC- sorvilla, jonka tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1. Sorvi on hankittu Lappeenrannan teknillisen yliopiston, Konepajatekniikan laboratorion vuonna 2005.

Taulukko 1. Puma 2005 Y NC-sorvin merkittävimmät tekniset tiedot.

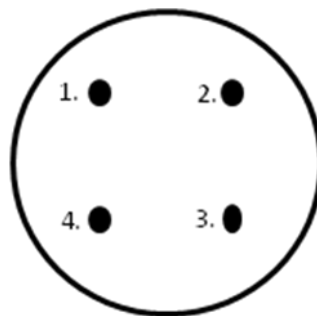
Ominaisuus	Luku	Yksikkö	Huomioita
Karateho	15/22	kW	Hetkellinen max teho 22 kW ~30 min
Vääntömomentti max	433	Nm	
Integroitu kara	50-3500	rpm	C-akseli
Työkalurevolveri	1	kpl	12 paikkaa, jossa 7,5 kW pyörivät työkalut
Sorvauspituus max	500	mm	
Sorvaushalkaisija max	330	mm	
Y-akselin liike	± 50	mm	
NC-ohjain Fanuc 18iTB			

5.2 Materiaali

Materiaalina sorvauskokeissa on käytetty 34CrNiMo6 nuorrutusterästä M-käsiteltynä ja M-käsittelemättömänä. Kalsium-käsittelyn avulla saavutettava sisäisen rakenteen muutos on

ainoa eroavaisuus kokeissa käytettävien teräseostuksien välillä. Ei M-käsitellyn teräksen aihion alkuperäinen halkaisija oli 92 mm ja pituus 400 mm. M-käsitellyn teräksen aihion alkuperäinen halkaisija oli 140 mm ja pituus oli 400 mm. M-käsitellyn teräksen halkaisijaa pienennettiin ennen kokeita halkaisijaltaan 90 millimetriin.

Kovuus on materiaalin mekaaninen ominaisuus, kyky vastustaa muodonmuutosta. Kovuutta voidaan mitata useilla eri tavoilla.. Kovuutta on mitattu neljästä erikohdasta kuvan 9 mukaisesti. (Kovuuskoe.)



Kuva 9. Koekappaleista mitattujen kovuuksien mittauspisteet.

Mittausjärjestys oli kuvan 9 mukaisesti. Yksi tärkeimmistä mittauskokeista on Vickers-kovuus, jota on käytetty koeaihioiden kovuuden selvittämiseksi. Kovuuskokeiden mittautulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kovuuskokeiden tulokset

M-käsitelty teräs		M-käsittelemättömän teräs	
1.piste	293	1.piste	306
2.piste	293	2.piste	315
3.piste	296	3.piste	310
4.piste	296	4.piste	313
Keskiarvo	295	Keskiarvo	311

M-käsitellyn teräksen kovuudeksi oli 295 HV ja M-käsittelemättömän teräksen kovuudeksi 311 HV. Kovuus eron yhtenä osasyynä voi olla erikokoiset aihiot, sillä M-käsitellyn teräksen alkuperäisen aihio halkaisija oli 130 mm ja M-käsittelemättömän teräksen aihio halkaisija 90 mm. Ovakon ainetodistuksessa M-teräksen kovuus on minimissään 322 HB.

Muuntotaulukoiden mukaan 295 HV on noin 279 HB. Ero on huomattava (44 HB), eikä sitä voi olla sivuuttamatta arvioidessa tuloksia. M-teräksen aihion kokoero normaaliteräksen verrattuna lisää myös kovuuden eroavaisuutta aihion keskellepäin mentäessä. Huomioitavaa suuressa erossa on valssauksen tai lämpökäsittelyn merkitys, jolloin M-teräksen kovuus ei välttämättä yllä kappaleen keskiöön asti.

5.3 Teräpala

Kokeissa käytettiin Sandvikin teräpalaa 120412-PR GC4015 ja teränpidintä DSBNL 2525M12. Teräpalan valmistaja suosittelee 5 mm lastuamissyvyyttä (1,5–7 mm) ja 0,5 mm/r syöttöä (CoroKey 2006, s.29). Kokeissa on käytetty valmistajan suositteluun 0,5 mm/r syöttöä, mutta lastuamissyvydeksi on valittu 3 mm. Teräpalan valmistajan suositukset ottavat kantaa vain materiaalin kovuuteen 180 HB asti ja 15 min kestoajalle. Koekappaleiden materiaali on kuitenkin kovempaa kuin 180 HB ja kaiken lisäksi suositukset eivät huomioi myötö- ja murtolujuutta. Tämän vuoksi kokeissa käytettiin suositus arvoista poikkeavaa lastuamissyvyyttä.

5.4 Kokeen kulku

Ensimmäisenä M-käsittlemättömälle teräsaihiolle tehtiin pienennys sorvaus, jotta kummankin teräksen halkaisija olisi samankaltainen. Tämän jälkeen sorvattiin kumpaakin aihiota 3 mm lastuamissyvyydellä ja 0,5 mm/r syötöllä. FeedChip-järjestelmässä viistekulumista mittaava kamera oli sorvaustestien aikana epäkunnossa, joten viistekulumisen mittaus suoritettiin manuaalisesti käyttäen hyväksi laboratorion mikroskooppia. Jokaisen lastuamiskerran jälkeen teräpala otettiin irti ja viistekulumisen mitattiin manuaalisesti. Kaikki tulokset on mitattu saman henkilön toimesta. Tulokset ovat näin ollen verrannollisia toisiinsa nähden.

Ensimmäinen sorvaus suoritettiin 160 m/min lastuamisnopeudella, lastuamissyvyyden 3 mm ja syötön 0,5 mm/r pysyessä vakiona. Teräpalan kulumisen tarkistettiin jokaisen sorvauskerran jälkeen. Toinen ja kolmas sorvauskerta suoritettiin 180 m/min lastuamisnopeudella. Neljäs ja viides sorvauskerta suoritettiin 200 m/min lastuamisnopeudella. Koekappaleen halkaisija pienentyi 6 mm jokaisella kerralla ja oli

viidennen sorvauskerran jälkeen 54 mm. Kuudes ja seitsemäs sorvauskerta suoritettiin 220 m/min lastuamisnopeudella. Kahdeksas ja yhdeksäs sorvauskerta suoritettiin 240 m/min lastuamisnopeudella. Aihion halkaisija oli pienentynyt yhdeksän sorvauskerran jälkeen 36 mm. Aihio vaihdettiin suurempaan ja sorvaustestejä jatkettiin uudella 90 mm halkaisijan ahiolla. Uudelle ahiolle lastuamisnopeus nostettiin 270 m/min asti.

Lastuamiskokeiden jälkeen kahdesta ensimmäisestä ahiosta sorvattiin koepalat kovuuskokeita varten. Koepalat olivat halkaisijaltaan 36 mm ja noin 10 mm pituudeltaan. Koekappaleet hiottiin ja syövytettiin kovuuskokeita varten. Kokeena käytettiin Vickers-kovuuskoetta.

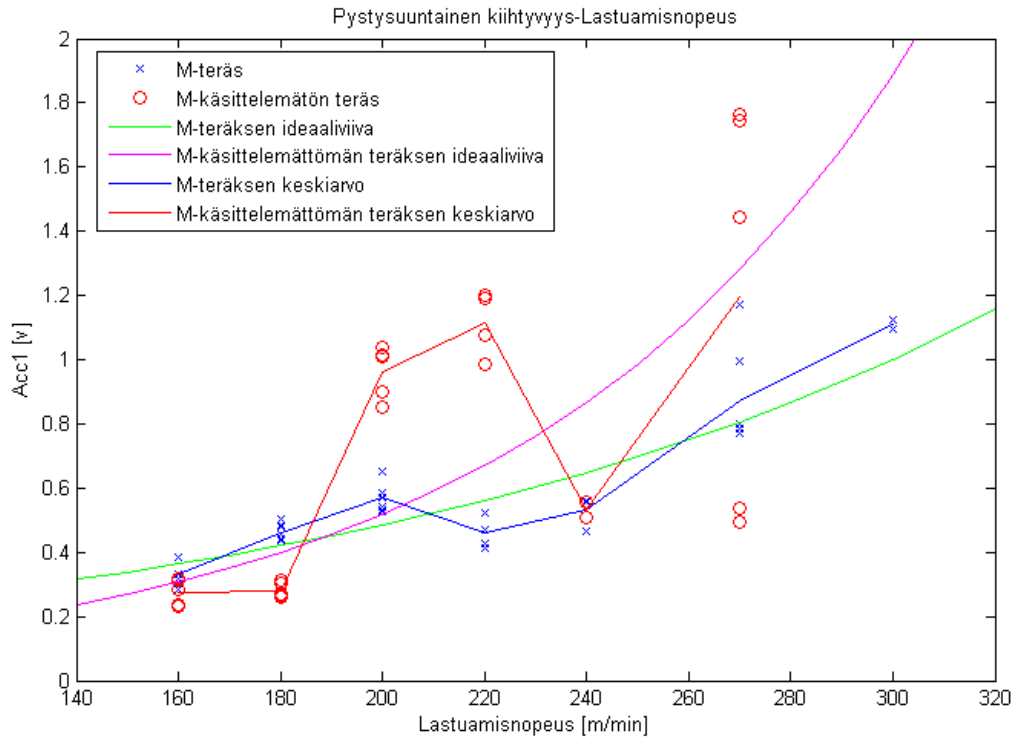
6 TULOKSET JA ARVIOINTI

Tässä osiossa esitellään tulokset sorvaustapahtumasta saaduista signaaleista, joita olivat akustinen emissio, ääni, teho sekä aksiaaliset kiihtyvyydet. Lisäksi esitellään teräpalan viistekulumisen eteneminen.

6.1 Kiihtyvyys-lastuamisnopeus

FeedChip-järjestelmästä saatujen signaalien merkintä on esitetty kuvaajissa M-käsittelyn teräksen osalta sinisellä x:llä ja M-käsittelemättömällä teräksellä punaisella o:lla. Lisäksi signaalipisteiden keskiarvo ja niitä yhdistävä viiva on kuvattu M-käsitellyllä teräksellä sinisellä värillä ja M-käsittelemättömän teräksen keskiarvoviiva on kuvattu punaisella värillä. Kuvaajissa on myös matemaattinen malli, jolla on kuvattu järjestelmän signaaleista saatu ideaalisuora. M-käsitellyn teräksen ideaalisuora on esitetty vihreällä ja M-käsittelemättömän teräksen vaaleanpunaisella viivalla. Värikoodit koskevat kuvaajia 1-3.

Pystysuuntainen kiihtyvyysanturi ACC1 kuvaa päälastuamisvoimasta (F_c) aiheutuvia lastuamisvärähtelyjä. ACC1 on yksi tärkeimmistä kuvaajista FeedChip-järjestelmässä, sillä kiihtyvyyden muutokset enteilevät usein lastuamisen ongelmatilanteita. Kuva 10 on esitetty M-teräksen ja normaaliteräksen lastuamisesta rekisteröidyt kiihtyvyysanturin signaalit.



Kuva 10. Päälastuamisvoiman suuntaisen signaalin lastuamisvärähtely.

Kuvasta 10 on havaittavissa M-käsitellyn teräksen suhteellisen vähäinen värähtelytaso, kun puolestaan M-käsitlemättömän teräksen värähtelytaso on hyvin vaihtelevaa. M-käsitellyn teräksen värähtelytason kasvun vähäisyys lastuamisnopeuden kasvaessa osoittaa teräksen soveltuvuuden lastuamiseen suurillakin nopeuksilla.

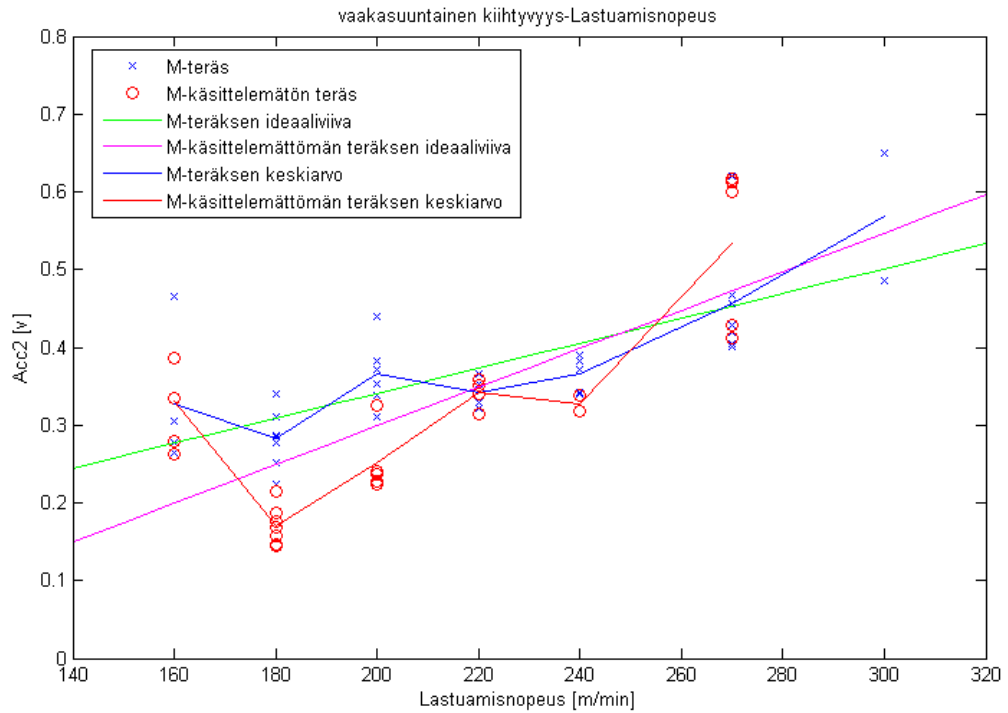
Ei M-käsitellyn teräksen värähtelytason vaihtelevuus lastuamisnopeuden kasvaessa ennakoivasti teräksen alttiutta häiriötilanteille, kuten rauhattomalle työstölle. Häiriötilanteiden esiintyminen johtaa heikentyneeseen pinnanlaatuun ja koneistajan turvallisuuden vaarantumiseen. FeedChip-järjestelmä havaitsikin pientä työstön rauhattomuutta M-käsitlemättömästä terästä lastuttaessa 200 m/min ja 220 m/min lastuamisnopeuksilla, jolloin M-käsitlemättömän teräksen kohdalla signaalit ovat suhteellisen kaukana ideaalisuorasta.

M-käsitlemättömästä terästä lastuttaessa teräpala ei kestänyt 270 m/min lastuamisnopeutta, vaan murtui kesken lastuamisen. Teräpala kesti sorvattavan aihion noin puoleen (200 mm) väliin saakka, kunnes koneistaja keskeytti kokeen. FeedChip-järjestelmä kuitenkin rekisteröi signaaleja ennen terärikkoa ja hieman sen jälkeen. M-käsitlemättömän teräksen

kuvaajat voivat 270m/min lastuamisnopeuden osalta sisältää virheellistä tietoa johtuen teräpararikosta. Varsinkin päälastuamisvoiman suuntaisen kiihtyvyyssanturin ACC1 ja osittain syöttövoiman suuntaisen kiihtyvyyssanturin ACC2 kuvaajissa (kuvat 10 ja 11) voi olla nähtävissä teräpalan hajoamisesta johtuvaa signaalien heittoa 270 m/min lastuamisnopeuden kohdalla.

Viistekulumisen tarkistuksessa M-käsittelemättömän teräksen teräpala todettiin tuhoutuneen käyttökelvottomaksi. Teräpalaan oli syntynyt plastisen muodonmuutoksen seurauksena murtumia ja lohkeamia. M-käsittelyn teräksen teräpalalla suoritettiin vielä kaksi sorvauskertaa 270 m/min lastuamisnopeudella sekä kaksi sorvauskertaa 300 m/min lastuamisnopeudella. M-käsittelyn teräksen teräpala todettiin loppuun kuluneeksi toisella 300 m/min lastuamisnopeuden sorvauskerralla. Teräpalan muoto oli säilyttänyt vielä muotonsa, mutta kuluminen oli edennyt hylkäysrajalle asti. M-käsittelemättömälle teräkselle saatiin yhdeksän 9 mittaustulosta ja M-käsitellylle teräkselle 13 mittaustulosta.

Vaakasuuntainen kiihtyvyyssanturi ACC2 mittasi syöttövoiman (F_f) suuntaista värähtelytasoa. ACC2:ssa ei havaita yhtä selkeästi terästen välisiä eroavaisuuksia, mutta anturin antamaa tietoa voidaan käyttää hyödyksi vahvistamaan muista signaaleista saatuja epäilyksiä esimerkiksi rauhattomasta työstöstä tai jatkolastusta. Kuvassa 11 on esitetty M-käsitellyn teräksen ja M-käsittelemättömän syöttövoiman suuntaista värähtelytasoa.

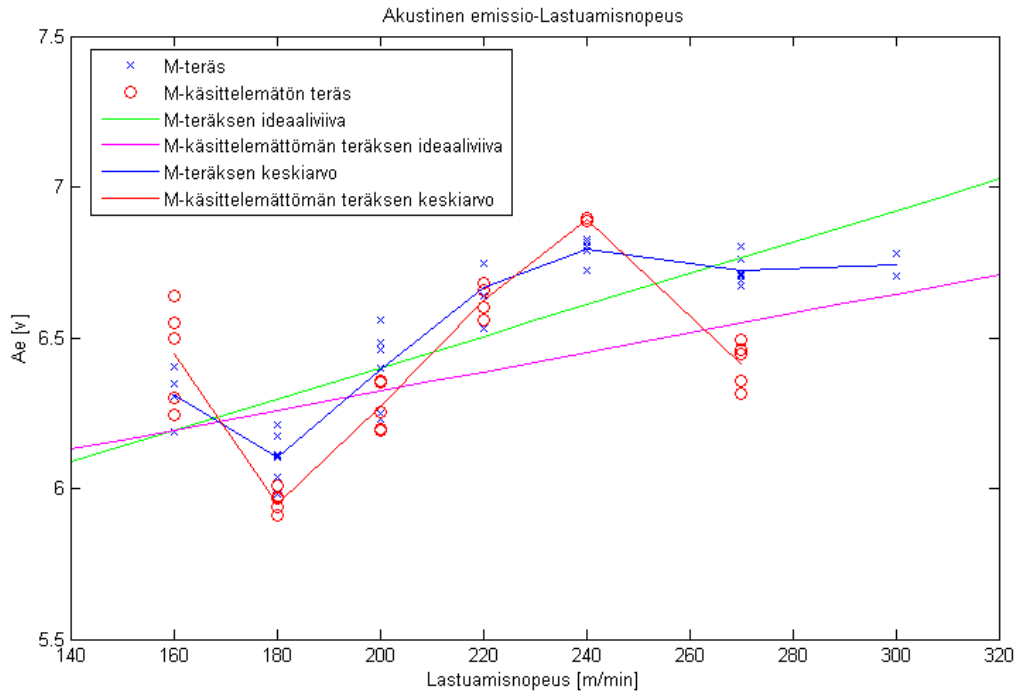


Kuva 11. Syöttövoiman suuntaisen signaalin lastuamisvärähtely.

Kuvasta 11 on havaittavissa M-teräksen verrannollisen suhteellisen pieni värähtelyamplitudi, lastuamisnopeuden kasvusta huolimatta. Teräksen värähtely ylittää vaihteluvälin vasta lastuamisnopeuden ollessa huipussaan 300 m/min. Teräpalan kuluneisuus vaikuttaa värähtelytason nousuun, joten tämä voi olla yksi syy vaihteluvälin ylittymiseen. M-käsittelemättömän teräksen värähtelytaso on vaihtelevaa ja kasvaa hienoisesti lastuamisnopeuden suurentuessa. Huomioitavaa on, että teräpalarikosta johtuen M-käsittelemättömän teräksen kuvaaja voi sisältää virheellistä tietoa 270 m/min lastuamisnopeuden kohdalla.

6.2 Akustinen emissio- lastuamisnopeus

Akustinen emissio mittaa sorvauksessa syntyviä jännitysaaltoimpulsseja, jotka muodostuvat kun lastu katkeaa tai sorvattavassa aihiossa tapahtuu plastisia muodonmuutoksia. Sorvaustapahtumassa esiintyvä akustinen emissio on kuvattu kuvassa 12.



Kuva 12. Akustisen emissio esiintyminen sorvaustapahtumassa.

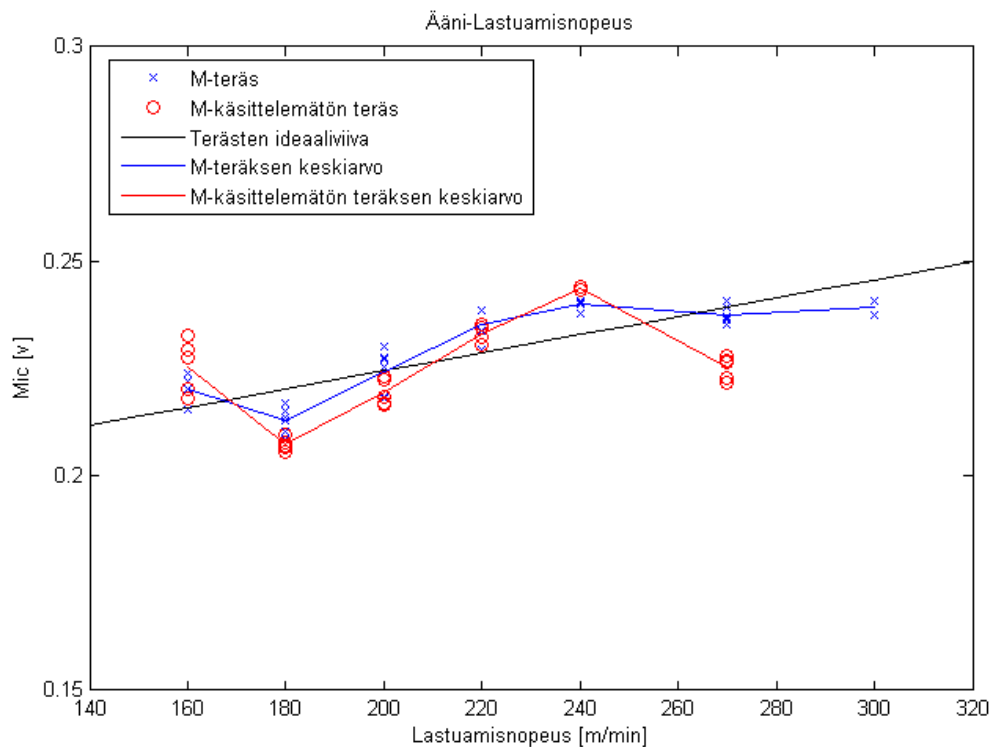
Kuvasta 12 on havaittavissa kummankin teräksen osalta hieman aaltomaista käyttäytymistä akustisessa emissiossa sekä AE:n arvot ovat suhteellisen voimakkaita. M-käsitellyn teräksen lastuamisessa akustinen emissio on vaihteluväliltään vähäisempää kuin M-käsittelemättömän teräksen. Akustinen emissio on saanut suurimmat ja pienimmät arvonsa M-käsittelemättömältä terästä lastuttaessa. AE on alhaisin jatkolastun yhteydessä, jolloin normaalin kaltaista lastun katkeamista ei tapahdu. Lastun katkeamattomuuden vuoksi akustinen emissio on hyvin vaimeaa.

Toisena ääripäänä voidaan pitää rauhatonta työstöä jossa lastut lentävät hallitsemattomasti joka puolelle. Akustinen emissio yhdessä äänen ja poikittaisen kiihtyvyyden kanssa kuvaavat rauhatonta lastuamista. Akustisen emissio ollessa huipussaan, tapahtuu eniten plastista muodonmuutosta ja lastujen katkeilua. Kuvan 12 mukaan akustisista emissioita esiintyi eniten 240 m/min lastuamisnopeudessa. Todennäköisesti lastujen koko on vain pienentynyt lastuamisnopeuden kasvaessa, sillä FeedChip-järjestelmä havaitsi ainoastaan pientä rauhattomuutta M-käsittelemättömän teräksen lastuamisessa 200 m/min ja 220 m/min lastuamisnopeudessa.

FeedChip-järjestelmässä Rauhaton työstö koostuu kahdesta muustakin signaalista, äänestä ja pystysuuntaisesta kiihtyvyyssiikkeestä (Mic & ACC1). Rauhattomuuden voidaan todeta olevan korkeimmillaan, kun kaikkien kuvaajien signaalit ovat huipussaan. FeedChip-järjestelmässä yhden tai kahden kuvaajan huippu ei välttämättä vielä johda rauhattomaan työstöön. Akustisen emission osalta voidaan todeta, että värähtelytason kasvu johtuu joko lastun pientymisestä tai lastuamisnopeuden kasvusta.

6.3 Ääni- lastuamisnopeus

Mic-mittausanturi mittaa sorvauksessa syntyvää ääntä lastuamistapahtuman välittömään läheisyyteen asennetun mikrofonin avulla. Kuvassa 13 on esitetty äänen esiintyminen sorvaustapahtumassa. Kuvaajassa on esitetty mustalla viivalla molempien terästen matemaattisen mallin ideaaliviiva.



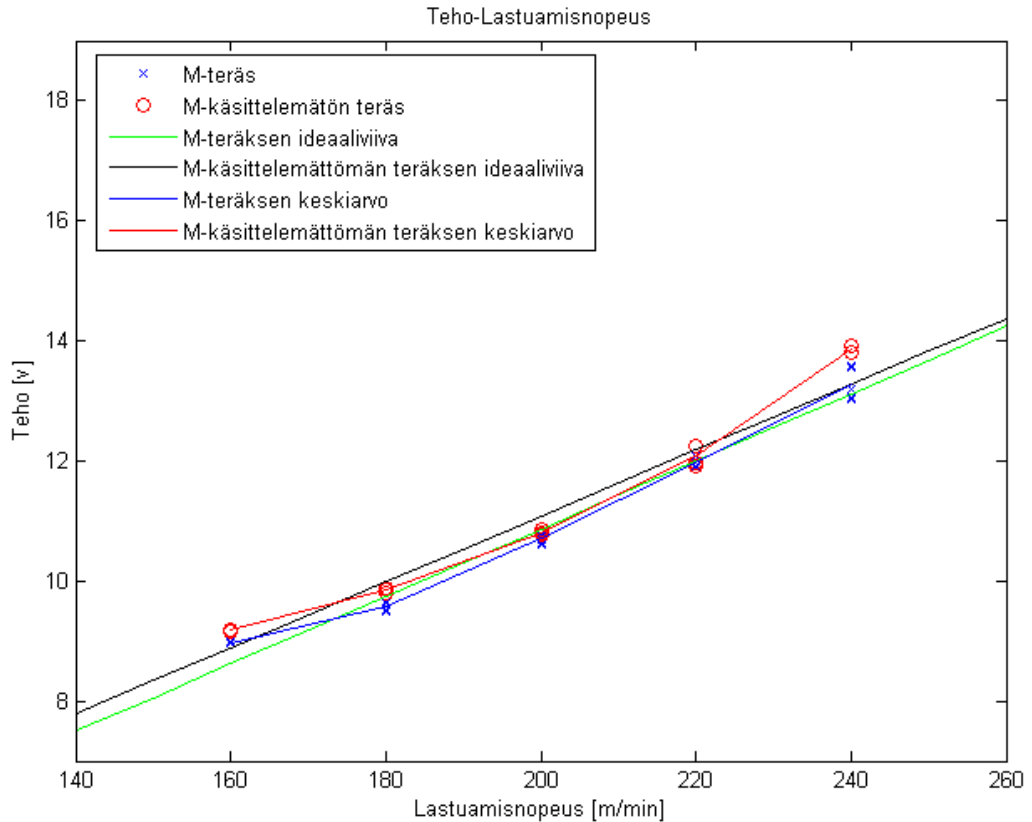
Kuva 13. Lastuamistapahtuman ääni signaalin vaihtelu.

Kuvasta 13 on havaittavissa molempien terästen lastuamisen aikaisen äänen suhteellisen vähäinen vaihtelu. Akustisen emission ja äänen kuvaajissa on havaittavissa selkeää

samankaltaisuutta. Värähtelytason kasvusta aiheutuva ääni voi olla yksi syy kuvaajien samankaltaisuuteen. Lastuamistapahtumassa ei esiintynyt häiritsevää tai normaalista poikkeavaa ääntä. Signaalin vaihtelu M-käsittämätöntä terästä lastuttaessa on kuitenkin voimakkaampaa kuin M-käsitellyllä teräksellä, jonka lastuamisen aikaisten signaalien muutokset ovat pienempiä. Huomioitavaa on myös, että M-käsitellyn teräksen kohdalla äänikäyrä pysyy lähempänä ideaaliviivaa.

6.4 Teho- lastuamisnopeus

Tehoanturi mittaa työstökoneen käyttämän karatehon sorvaustapahtuman aikana. Työstökoneen maksimikarateho on normaalissa käytössä 15 kW, mutta teho voi hetkellisesti nousta 22 kW. Kuvassa 14 on esitetty työstökoneen käyttämä karateho sorvauksen aikana. Kuvassa on otettu kummankin teräksen lastuamisen aikaiset tehot lastuamisnopeuteen 240 m/min asti. Lastuamisnopeuden kasvaessa kuvaajat eivät ole verrattavissa keskenään, koska M-käsittämätöntä terästä lastuava teräpala hajosi suuremmassa lastuamisnopeudessa. Kuvassa 14 on esitetty mustalla viivalla M-käsittämättömän teräksen ideaaliviiva ja vihreällä viivalla on kuvattu M-käsitellyn teräksen ideaaliviiva.



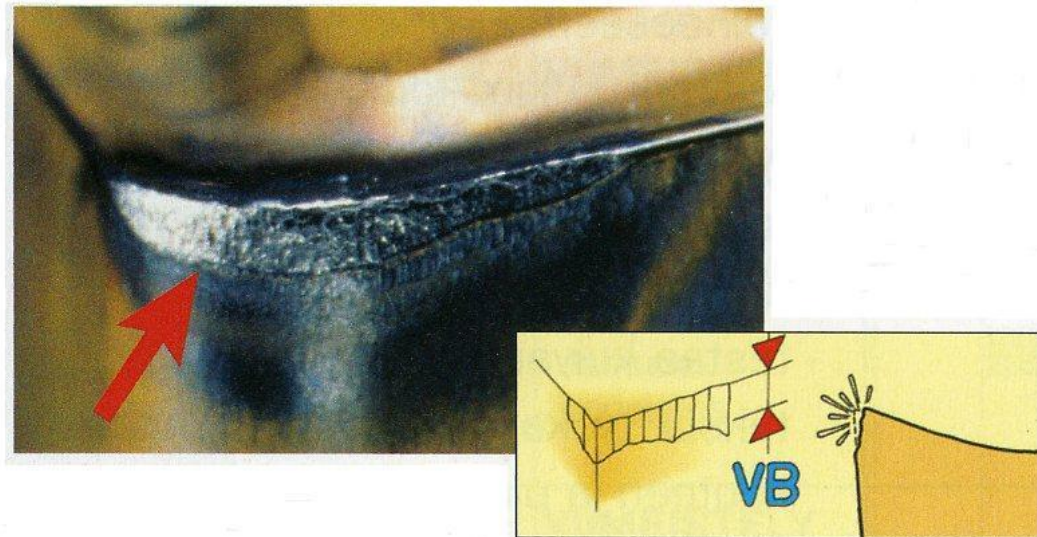
Kuva 14. Työstökoneen karatehon mittaussignaalit.

Kuvasta 14 on havaittavissa M-käsitlemättömän teräksen lastuamisen aikana hieman suurempi tehontarve lastuamisnopeuden kasvaessa M-käsiteltyyn teräkseen verrattuna. Myös terästen ideaaliviiva on erilainen, joka kuvastaa omalta osaltaan normaaliteräksen hieman suurempaa tehon tarvetta. Tässä työssä tehtyjen kokeiden perusteella voi todeta M-teräksen tarvitsevan vähemmän konetehoa ja siten terästä voi työstää kovemmilla lastuamisnopeuksilla konetehon ylittämättä työstökoneen rajoja. Kokeiden otos on kuitenkin suhteellisen pieni, ja tämä on otettava huomioon tuloksia analysoitaessa. Tutkimustulosten varmentaminen vaatii lisäkokeita.

6.5 Teräpalan viistekuluminen

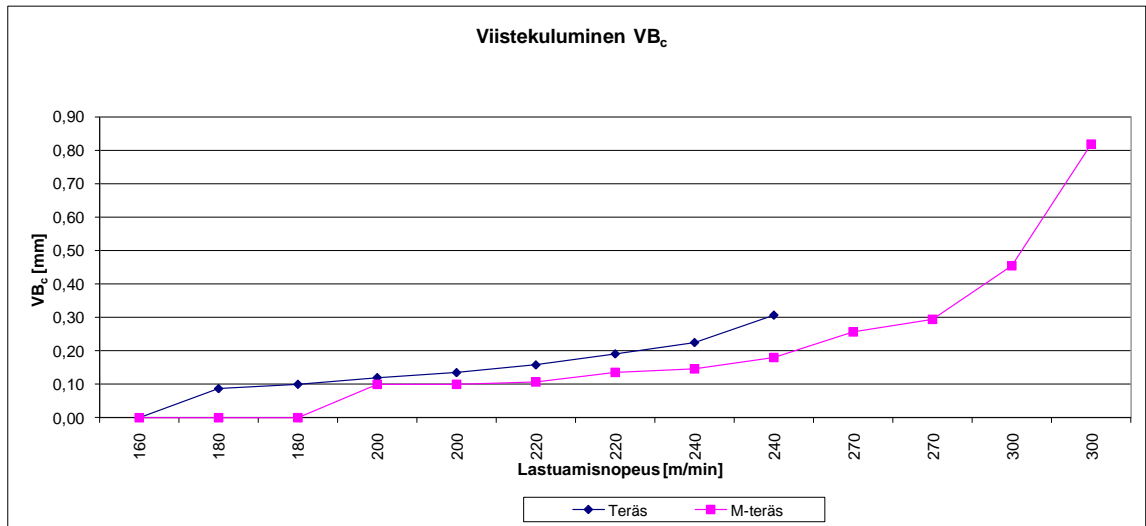
Viistekuluminen mittaa teräpalan ja sorvattavan aihion välisestä kosketuksesta aiheutuvaa kulumista. Teräpalan kesto riippuu siihen vaikuttavista kulumismekanismista ja kulumisen

nopeudesta. Kuvassa 15 on esitetty malli teräpalan viistekulumisesta ja sen mittaamisesta (Sandvik Coromant 2005, s. A88.)



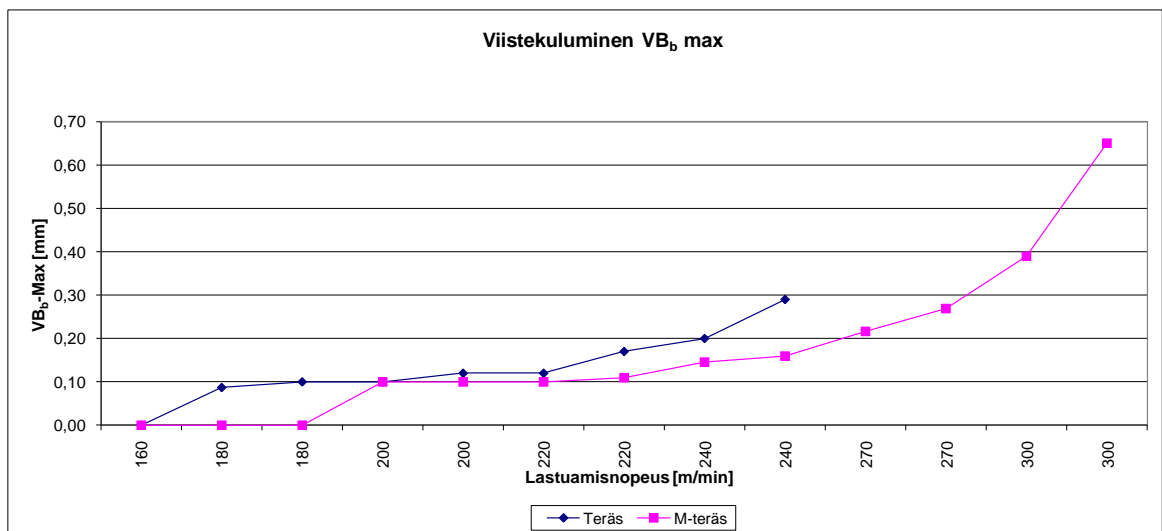
Kuva 15. Teräpalan viistekuluminen VB_b ja sen mittaus (Sandvik Coromant 2005, s. A88).

M-käsitellyn teräksen teräpalan todettiin loppuun kuluneen lastuamisnopeuden yllettyä toisen kerran 300 m/min. M-käsitlemättömän teräksen teräpala hajosi kesken lastuamisen 270 m/min lastuamisnopeudessa. FeedChip- järjestelmän kamera meni epäkuuntoon ennen kokeita, joten viistekulumista mitattiin manuaalisesti. Nirkon alueen viistekuluminen VB_b on teräpalan merkittävin kulumismuoto. Kuvassa 16 on esitetty työkalun viistekulumisen etenemiskäyrät. Viistekulumista esittävässä kuvissa (16, 17, 18) on esitetty punaisella värillä M-käsiteltyä terästä lastuavan teräpalan viistekulumisen eteneminen ja sinisellä värillä on kuvattu M-käsitlemättömän teräksen teräpalan viistekulumisen eteneminen.



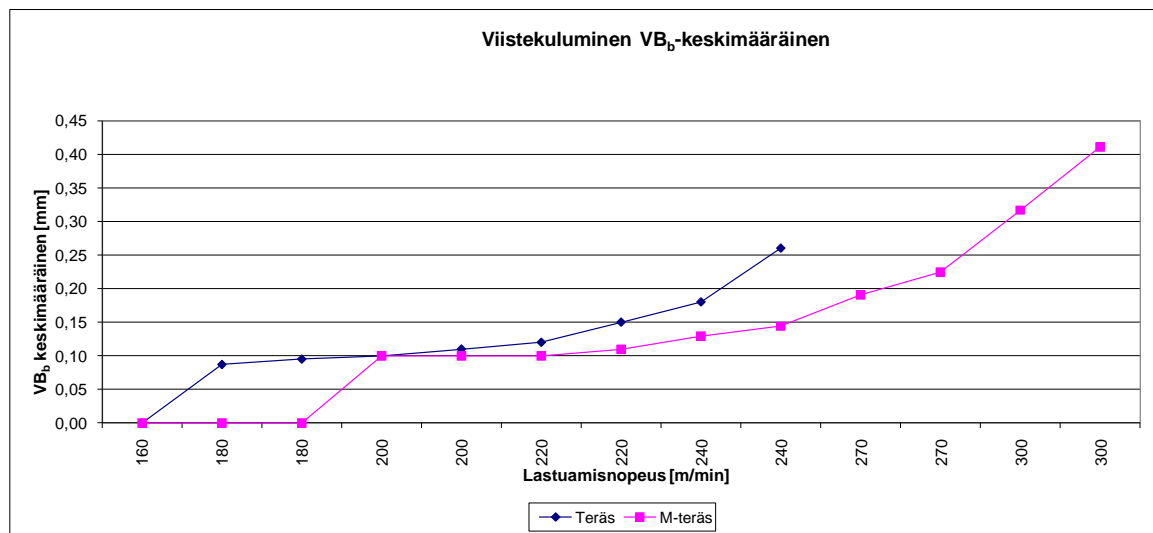
Kuva 16. Nirkon alueen VB_c viistekuluminen.

VB_b-max kuvaa viistekulumisen keskialueen maksimikulumista. Kuvassa 17 on esitetty M-käsitellyn teräksen ja M-käsittelemättömän teräksen VB_b-max viistekuluminen. Kuvasta 17 on nähtävissä M-käsitellyn teräksen sorvauksessa käytetyn teräpalan kestäminen pidempään kuin sen etenemiskäyrät M-käsittelemättömän teräksen sorvauksessa. Myös tässä kuvaajassa on havaittavissa M-teräksessä käytetyn teräpalan suurempi kulumiskestävyys.



Kuva 17. Keskialueen maksimiviistekuluminen VB_b – max.

VB_b-keskimääräinen kuvaa viistekulumisen keskialueen keskimääräistä kulumista. Kuvassa 18 on esitetty M-teräksen ja normaaliteräksen VB_b-keskimääräinen viistekuluminen. Myös kuva 18 vahvistaa aiemmin havaitun eroavaisuuden M-käsitellyn teräksen ja M-käsittelemättömän teräksen sorvauksessa kulumiskestävyyden teräpalojen välillä.



Kuva 18. Keskialueen VB_b -keskimääräinen viistekuluminen.

Kuvista (16, 17, 18) on selkeimmin nähtävissä M-käsitellyn teräksen sorvauksessa käytetyn teräpalan kestäminen huomattavasti pidempään kuin M-käsittelemättömän teräksen teräpala. Lisäksi kuvista on havaittavissa M-käsitellyn teräksen sorvauksessa käytetyn teräpalan huomattavasti suurempi kulumiskestävyys. Kuluminen on ollut voimakkainta nirkon alueella, mutta myös keskialueella on ollut voimakasta kulumista. Kuvista (16, 17, 18) voi huomata lastuamisnopeuden kasvaessa tapahtuvan kulumisen kasvun. Kulumisen voimakas kasvu johtuu myös siitä, että teräpalalla on lastuttu koko ajan enemmän. M-käsitellyllä teräksellä viistekulumisen hidas kasvu voi selittyä lastuavan teräpalan pinnalle muodostuvalla suojakalvolla. M-käsitellyn teräksen viistekuluminen on verrattavissa M-käsittelemättömään teräkseen vain 240 m/min lastuamisnopeuteen, koska tämän jälkeen M-käsittelemättömän teräksen teräpala hajosi kesken lastuamisen. M-käsitellyn teräksen sorvauksessa teräpala on huomattavasti M-käsittelemätöntä teräksen teräpalaa vähemmän kuluneempi lastuamisnopeuden 240 m/min kohdalla. Kuvista (16, 17, 18) on kuitenkin nähtävissä, että M-teräksen lastuamissa teräpalalla voi lastuta vähintään kaksi sorvausta enemmän ennen kuin teräpala saavuttaa saman kuluneisuuden asteen kuin

teräpala M-käsittämättömän teräksen sorvauksessa. Huomioitavaa on myös, että molemmat sorvaukset voidaan lastuta hieman suuremmalla lastuamisnopeudella.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koetulosten perusteella havaittiin, että FeedChip-järjestelmän mittaamien signaalikäyrien muutokset kertovat materiaalin lastuttavuudesta sekä materiaalin herkkyydestä aiheuttaa lastuamisen ongelmatilanteita. Mitä vähäisempää muutokset signaalikäyrissä on, sitä paremmin materiaalia pystytään lastuamaan. Signaalikäyrien muutokset riippuvat myös signaalien suuruudesta. Kokeiden perusteella FeedChip-järjestelmästä saatujen signaalien avulla voidaan luoda matemaattinen malli ideaalisimmasta signaalisuorasta kullekin materiaaliryhmälle. Vertailemalla ideaalisuoria voidaan arvioida terästen keskinäisiä eroja.

Teräpalojen viistekulumisen perusteella voidaan päätellä, että M-käsitellyn teräksen sorvauksessa teräpala kestää vähintään 20 % kauemmin 10 % suuremmilla lastuamisnopeuksilla ennen kuin M-käsitellyn teräksen teräpala saavuttaa M-käsittämättömän teräksen lastuamisessa käytetyn teräpalan kuluneisuuden. Teräpalan selkeä kulumisen on hyvä indikaattori teräpalan elinkaaren lopun lähestymisestä. Varsinkin miehittämättömässä tuotannossa teräpalan kulumisen hyvä seuranta on ensiarvoisen tärkeää. Ilman koneistajan nopeita refleksejä teräpalarikko voi aiheuttaa teränpitimen rikkoutumisen ja tuotannon keskeytymisen. Nykyään miehittämättömässä tuotannossa teräpalan kestävyys varmistetaan usein tiputtamalla merkittävästi lastuamisnopeuksia, jolloin tuottavuus kärsii huomattavasti. FeedChip-järjestelmän ja M-teräksen avulla tuottavuus voidaan säilyttää ja teräpalarikot ovat selkeästi havaittavissa ennen niiden tapahtumista.

FeedChip-järjestelmällä mitattujen signaalien eroavaisuudet olivat pieniä, mikä voi johtua muun muassa terästen kovuuden eroavaisuuksista tai kappaleen aihoiden eri suuruuksista. Lastuamisnopeuden kasvun merkitys on kuitenkin havaittavissa kuvaajista, minkä avulla on pääteltävissä M-käsitellyn teräksen soveltavuus suuremmille lastuamisnopeuksille paremmin kuin M-käsittämättömän teräksen. Mitattujen signaalien eroavaisuudet näkyvät paljon selvemmin suurilla lastuamisnopeuksilla. M-käsittämättömän teräksen lastuamisessa teräpalan hajoaminen vahvistaa terästen välistä eroavaisuutta suurimmilla

nopeuksilla. FeedChip-järjestelmän soveltuvuutta M-käsittelyn teräksen testaukseen ei suoraan näiden testien perusteella pystytä päättämään. Kuitenkin, tässä työssä saadut tulokset ovat lupaavia. FeedChip-järjestelmä vaatii lisätestausta identtisillä teräksillä, jotta järjestelmän soveltuvuus M-teräksen laaduntestaukseen voidaan osoittaa.

LÄHDELUETTELO

Andersson 1997. Lastuttavuus. Teoksessa: Aaltonen, K & Andersson, P. & Kauppinen, V. Koneistustekniikat. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö. s. 130–160.

Ansaharju, T. & Maaranen, K. 1997. Konustus. 1. painos. Porvoo. WSOY. 586 s.

CoroKey. 2006. CoroKey. Teräpalakäsikirja. Ruotsi. Ab Sandvik Coromant. 192 s.

FeedChip. 2009. FeedChip 1- hankkeen laaja loppuraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 96 s. (Salainen)

Jiaa, Chi-Liang. 1989. Intelligent acoustic emission sensing in machining for tool condition monitoring. University of California, Berkeley. 181 s.

Kovuuskoe. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2.10.2009].

Saatavissa <http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_2_1_7.php>

Lastuavat valmistusmenetelmät. [verkkajulkaisu].[Viitattu 2.10.2009]. Saatavissa

<[https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/mt-](https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/mt-0.3311/materiaali/lastuavat_valmistusmenetelmat_opetusmoniste.doc)

0.3311/materiaali/lastuavat_valmistusmenetelmat_opetusmoniste.doc>

Luoma. Teoksessa: Lehto, H. & Luoma, T. 1994. Fysiikka luonnontieteenä.6.- 9.

Uudistettu painos. Helsinki, Kustannusosakeyhtiö Tammi. 160 s.

Lehto. Teoksessa: Lehto, H. & Luoma, T. 1994. Fysiikka yhteiskunassa, aaltoliike. 8.

uudistettu painos. Helsinki, Kustannusosakeyhtiö Tammi. 248 s.

Ovako.[Yrityksen www-sivut] Viitattu 28.9.2009 <<http://www.ovako.com/>>

Ovako 2006.Terästangot [verkkajulkaisu] julkaistu 2006. [Viitattu 2.10.2009]. Saatavissa

http://www.ovako.com/Data/r3371/v1/Ovakon_teraestangot.pdf

Ryynänen, V. 2008. Lastuttavuuskokeiden kartoitus ja suunnitelma M-terästen laadun testaamiseen soveltuvasta uudesta lastuttavuuspikakokeesta. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 128 s.

Sandvik Coromant. 2005. Lastuavat työkalut, Tekninen käsikirja. Ruotsi. Ab Sandvik Coromant 601 s.

Sarkimo, M. 1990. Akustinen emissio prosessiteollisuuden kunnonvalvontamenetelmänä. VTT, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 1106. Espoo. VTT offsetpaino. 18 s.

Standard ISO 3658:1993. Tool-life testing with single-point turning tools. International Standard 48 s.

Tanskanen, A. 2005. [Verkkójulkaisu]. Kalsium-käsittelyn vaikutus materiaalin lastuttavuuteen vannesahauksessa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Julkaistu 9.2.2005 [Viitattu 2.10.2009]. Saatavissa

<<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/34411/nbnfi-fe20051486.pdf?sequence=1>>