

Juha Ylisaari

Kannansorvausterän suunnittelu ja valmistus

Opinnäytetyö

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Juha Ylisaari

Työn nimi: Kannansorvausterän suunnittelu ja valmistus

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2018 Sivumäärä: 39 Liitteiden lukumäärä: -

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uuden valmistusmenetelmän tuomia etuja. Työssä tarkastellaan lankasahaamalla valmistettavan vaihtopalatekniikkaa hyödyntävän sorvaustyövälineen valmistuksessa ja suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Vaihtopala tyyppisellä sovelluksella tavoiteltiin työvälineen modulointimahdollisuutta ja valmistamista sarjatuotantona.

Työssä tarkasteltiin työvälineterästen ominaisuuksia sekä tutkittiin työvälineteräksen ja vauriomekanismien välistä yhteyttä. Kovametallisista terämateriaaleista tarkasteltiin sopivia laatuja ja niiden pinnoitusmahdollisuuksia. Työn pääpaino oli tarkastella suunnitellun terän valmistusmenetelmää, joka oli päätetty suunnitteluvaiheessa toteutettavaksi lankasahaamalla. Kohdeyrityksellä ei ollut aikaisempaa kokemusta kyseisestä valmistusmenetelmästä.

Työssä toteutetun sovelluksen mallinnuksessa käytettiin Vertex G4 -mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa, jolla suunniteltiin 3D-mallit työstettävistä kappaleista. Valmistuksessa käytettiin AgieCharmillesin Cut E 350-lankasahaa ja Agiecharmillesin Drill 20-kipinäporaa.

.

Avainsanat: Taloudellisuus, Modulaarisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Juha Ylisaari

Title of thesis: External groove blade

Supervisor(s): Kimmo Kitinoja

Year: 2018 Number of pages: 39 Number of appendices: -

The purpose of the thesis was to study the benefits of the new manufacturing method. The thesis examines the issues to be considered in the manufacture and design of turning tools utilizing the external groove blade with removable insert. Removable insert application aimed at modifying the tool for modulation and mechanical preparation.

The theory part of the work examined the properties of tool steel, and examined the relationship between the tool steel and the damage mechanisms. In the theoretical part of the carbides, the most common grades and coating possibilities were discussed. The focus of the work was to examine the production method of the blade, which had been decided in the design phase to be carried out by wire cutting. The target company had no prior experience with that manufacturing method.

When modeling an application, we used Vertex G4 mechanics planning software, with software we created 3D models from workpieces. We used AgieCharmilles Cut E 350 WEDM machine and hole drilling EDM machine Agiecharmilles Drill 20.

Keywords: Economy, Modularity

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tavoitteet ja rajaus	8
1.2 Yritysesittely.....	8
2 TYÖKALUTERÄKSET.....	9
2.1 Kylmätyöteräkset	9
2.2 Jauhemetallurgisesti valmistettava teräs	9
3 VALLITSEVAT VAURIOMEKANISMIT	11
3.1 Abrasiivinen kuluminen	11
3.2 Adhesiivinen kuluminen	12
3.3 Sekakuluminen	13
3.4 Plastinen muodonmuutos.....	13
3.5 Halkeilu.....	14
3.6 Lohkeilu	15
4 KOVAMETALLIT	16
4.1 Pinnoittamaton ja pinnoitettu kovametalli	16
4.1.1 CVD-pinnoite.....	16
4.1.2 PVD-pinnoite.....	17
4.2 Cermet	18
5 METALLIN TYÖSTÖ	19
5.1 Sorvaus.....	19
5.2 Jyrsintä	19
5.3 Hionta	19
5.4 Kipinätyöstö	20

5.5 Lankasahaus.....	21
6 KANNANSORVAUSTERÄN SUUNNITTELU.....	26
6.1 Materiaalin valinta	26
6.2 Modulointi	27
6.3 Rungon ja palan mallinnus	27
6.4 Rungon aihio.....	29
6.5 Esiasetuspöytä.....	29
6.6 Kipinäpora.....	30
6.7 Lankasahaus.....	32
6.8 Koesorvaus	33
6.9 Koesorvauksen tulokset	35
6.10 Kehitysideoita.....	35
7 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Abrasiivinen kuluminen. (Uddeholm 2016b).	12
Kuvio 2. Adhesiivinen kuluminen. (Uddeholm 2016b).	13
Kuvio 3. Plastinen muodonmuutos. (Uddeholm 2016).	14
Kuvio 4. Halkeilu. (Uddeholm 2016).	15
Kuvio 5. Lohkeilu. (Uddeholm 2016).	15
Kuvio 6. Pinnoitukset eri yhdisteillä. (Sandvik, pinnoitus CVD).	17
Kuvio 7. PVD-pinnoitukset eri yhdisteillä. (Sandvik pinnoitus PVD).	18
Kuvio 8. Uppokipinätyöstö. (Reliableedm 2016).	20
Kuvio 9. Lankasahaus kappaleen läpi. (Valuatlas 2009).	21
Kuvio 10. Pyöritysakselilla lankasahaus. (Spin and burn 2011).	22
Kuvio 11. Ohjelmoitavat akselit. (Valuatlas 2009).	22
Kuvio 12. Kaksi muotoa yhteen kappaleeseen. (Reliableedm 2016).	24
Kuvio 13. Kaksi muotoa yhteen kappaleeseen. (Reliableedm 2016).	24
Kuvio 14. Kipinäväli. (Reliableedm 2016).	25
Kuvio 15. Rungon 3d-malli.	28
Kuvio 16. Vaihtopalan 3d-malli.	28
Kuvio 17. Kannansorvausterän kokoonpano.	28
Kuva 1. Esiasetuspöytä.	30
Kuva 2. Kipinäpora AgieCharmilles Drill 20.	31

Kuva 3. Kipinäporaus.....	32
Kuva 4. Lankasaha AgieCharmilles Cut E 350.....	33
Kuva 5. Kappaleen ajo lankasahalla.	33
Kuva 6. Vaihtopalan lohkeaminen.....	35

Käytetyt termit ja lyhenteet

EDM	Kipinätyöstö, sähköpurkaustyöstö (electrical discharge machining).
WEDM	Lankasahaus.
Spin and burn	Lankasahaus tapahtuu kappaleen pyöriessä.
Cr	Kromi.
Mo	Molybdeeni.
V	Vanadiini.
W	Volframi.
Kellotus	Työstettävän kappaleen asettamista kohtisuoraan koneen akseleihin nähden.
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (computer aided design).
CAM	Tietokoneavusteinen valmistus (computer aided manufacturing).
Karbidi	Hiilen ja metallin muodostamia yhdisteitä kutsutaan karbideiksi.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Työn tavoitteena on suunnitella kannansorvausterä, joka voidaan valmistaa käytössä olevilla koneilla kustannustehokkaasti. Vaihtopalatekniikkaa hyödyntävällä terällä tavoitellaan lyhyempiä asetusajoja ja käytettävyyden helpottamista.

Työn teoriaosuudessa käsitellään työvälinterästen ominaisuuksia sekä niissä vallitsevia vauriomekanismeja työtilanteessa. Kovametallin teoriassa on perehdytty kovametallin valmistamiseen ja ominaisuuksiin sekä pinnoitusmahdollisuuksiin. Kipinätyöstön teoriassa pysytellään perusteissa. Työn loppuosassa käsitellään työhön tarvittavat materiaalit, protokappaleen valmistus ja koesorvaus.

Työ rajattiin käsittämään yhden tuotannossa olevan tuotteen kannansorvaus työväliseen suunnittelu, protokappaleen valmistus ja koesorvaus. Työn pääpaino on tutkia, onko kyseinen vaihtopalatekniikalla toimiva ratkaisu mahdollista toteuttaa lankasahaamalla.

1.2 Yritysesittely

Patruunatehdas perustettiin Lapualla vuonna 1923. Tehdas aloitti toimintansa vuonna 1925, nykyään tehdas on osa Nammo-konsernia nimellä Nammo Lapua Oy. Alkuaikana tehdas tunnettiin nimellä Valtion Patruunatehdas (VPT). Tehdas perustettiin, koska oli tarvetta omalle puolustusvälineteollisuudelle. Tehtaalla on enimmillään työskennellyt 1200 työntekijää. Patruunatehtaalla sattui vuonna 1976 tuhoisa räjähdys, joka vaati 40 kuolonuhria. Onnettomuuden seurauksena tehdas siirrettiin pois Lapuan keskustasta. Tehtaan uusi toimipaikka sijaitsee Jouttikalliolla, jonne tuotanto siirtyi kokonaisuudessaan 1990-luvun alkupuolella. (AdminMuseo 2013.) Nammo Lapua Oy sijaitsee Lapualla n. 25 km:n etäisyydellä Seinäjoesta. Tehtaassa työskentelee n. 170 henkilöä. Nammo Lapua Oy:n päätuotteet ovat pienikaliiperiset patruunat ja komponentit siviili- ja viranomaiskäyttöön. (Nammo Lapua Oy 2015.)

2 TYÖKALUTERÄKSET

Työkaluteräksillä tarkoitetaan materiaalin työstämiseen tai valmistamiseen soveltuvia erikoisteräksiä. Perusominaisuuksia ovat suuri kovuus ja kulumiskestävyys ja/tai sitkeys. Valinta käyttökohteeseen tapahtuu siinä vallitsevan vauriomekanismin mukaan. Työkaluteräket jaotellaan kolmeen pääryhmään: kylmätyöteräket, kuumatyöteräket ja pikateräket. (Uddeholm 2016.)

2.1 Kylmätyöteräket

Kylmätyöteräksiä käytetään työkaluissa, joiden käyttölämpötila pysyy alle 200 °C:ssa. Korkeammat käyttölämpötilat ovat mahdollisia, mutta terästä valittaessa on otettava huomioon, että päästölämpötila on korkeampi kuin käyttölämpötila. Hyvät kipinätyöstöominaisuudet sekä mittastabiilisuus vaativat myös korkeamman päästölämpötilan. Kylmätyöteräket ovat seostettuja erikoisteräksiä, joita käytetään karkaistuna. Kylmätyöteräksessä yhdistyvät seosaineet ovat hiilen ohella karbideja muodostavat Cr, Mo, V ja W. Terästen lujuus ja kovuus ovat pääsääntöisesti martensiittistä kovuutta. Hiilipitoisuuden noustessa martensiittinen kovuus kasvaa, ja siksi kylmätyöterästen hiilipitoisuus on korkea. Työvälineeltä vaaditaan kylmätyösovelluksessa suurta kovuutta sekä sitkeyttä. Kylmätyöteräket on suunniteltu toimimaan tietyillä kovuusalueilla, joten lämpökäsittelyllä on suuri merkitys työkalun kestoiän saavuttamisessa. (Sten 2018.)

2.2 Jauhemetallurgisesti valmistettava teräs

Työvälineteräksen materiaalina jauhemetallurgisesti valmistettu teräs on kasvattanut suosiotaan hyvien ominaisuuksiensa vuoksi. Jauhemetallurgisesti valmistettavan teräksen kehityksessä on keskitytty työvälineiden kulumis- ja lohkeamisvaurioiden estämiseen, minkä seurauksena työvälinekustannuksia on saatu pienennettyä valmistettua osaa kohden. Uutena innovaationa jauhemetallurgiategnologiassa on työvälineteräksen valmistusprosessin viimeisessä vaiheessa sulana valuvaan metalliin puhallettava typpikaasu, jolloin metalliin syntyy kooltaan 50-100 µm pul-

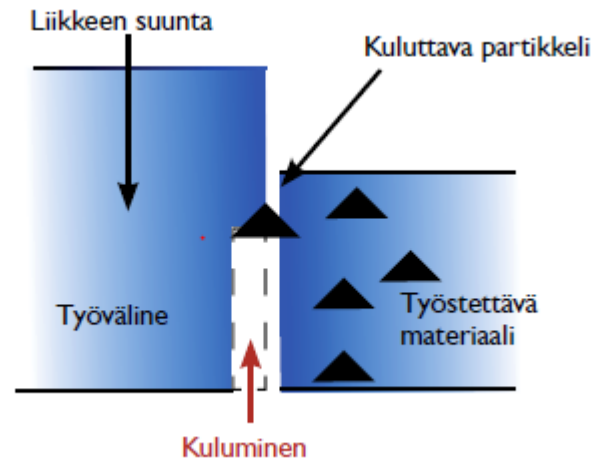
verirakeita. Typetytys parantaa teräksen kykyä vastustaa kitkasyöpymistä ilman pinnoitusta. Metallin tasalaatuinen ja kiinteä rakenne saavutetaan pulverin tiivistämisellä suurella paineella korkeassa lämpötilassa. (Uddeholm 2016a.)

3 VALLITSEVAT VAURIOMEKANISMIT

Työvälineen suunnittelussa tutkitaan työvälineteräksen ja vauriomekanismien välistä yhteyttä. Nykyaikana on käytettävissä huomattavasti enemmän dataa, jota pystytään hyödyntämään työvälineteräksen valinnassa, kun vallitseva vauriomekanismi on määritelty. Tässä kappaleessa käsitellään tunnetuimmat vauriomekanismit sekä niihin johtavat materiaali- sekä käyttäjäviat. (Uddeholm 2016b.)

3.1 Abrasiivinen kuluminen

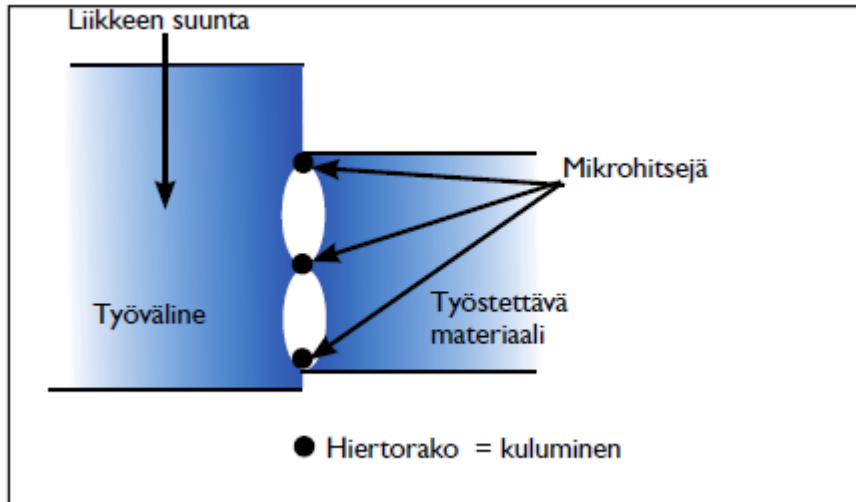
Työstettäessä kovia partikkeleita (oksideja tai karbideja) sisältävää materiaalia työkalussa esiintyy abrasiivista kulumista (Kuvio 1). Työkalun liikkuesssa työstettävässä materiaalissa, kovat partikkelit hankaavat työvälineen pintaa. Karkaistuja teräksiä ja keraameja työstettäessä vallitsevana vauriomekanismina on abrasiivinen kuluminen. Abrasiivista kulumista voidaan ehkäistä suurella kovuudella, runsaalla karbidien määrällä, karbidien suurella kovuudella ja niiden suurella koolla. (Uddeholm 2016b.) Hiilen ja metallin muodostamaa yhdistettä kutsutaan karbidiksi. (Teknologiateollisuus 2014.)



Kuvio 1. Abrasiivinen kuluminen. (Uddeholm 2016b).

3.2 Adhesiivinen kuluminen

Pintojen liikkeessa toisiaan vasten esiintyy adhesiivista kulumista. Adhesiivinen kuluminen tai syöpyminen on materiaalin siirtymistä metallin pinnalta toiselle. Pintojen liikkeessa toisiaan vasten pintojen välille syntyy mikrohitsejä (Kuvio 2). Pinta metallissa ei ole täysin sileä, koska metallien pinnoilla on irtohiukkasia, jotka ovat kooltaan mikroskooppisen pieniä. Toisiaan vasten liikkeessaan voi heikommasta materiaalista irrota hiukkasia toisen kappaleen pintaan. Työstettäessä kiinni tarttuvia ja tahmeita metalleja, kuten alumiinia, kuparia, austeniittista ruostumatonta terästä tai niukkahiilisiä teräksiä, yleensä esiintyy adhesiivista kulumista ja syöpymistä. Vaikeuttamalla hiukkasten irtoamista materiaalista voidaan ehkäistä adhesiivista kulumista ja syöpymistä. Adhesiivista kulumista ehkäiseviä ominaisuuksia ovat suuri kovuus, alhainen kitkakerroin, hyvä vetositkeys, pintakäsittely ja pinnoitus. (Uddeholm 2016b.)



Kuvio 2. Adhesiivinen kuluminen. (Uddeholm 2016b).

3.3 Sekakuluminen

Sekakuluminen on adhesiivisen ja abrasiivisen kulumismekanismin yhdistelmä, jossa työvälineteräksestä irronneet hiukkaset tarttuvat työstettävään materiaaliin. Työstettävässä materiaalissa olevat hiukkaset aiheuttavat työvälineen pinnalla abrasiivista kulumista. Ennen sekakulumista työstötilanteessa on tapahduttava adhesiivista kulumista. (Uddeholm 2016b.)

3.4 Plastinen muodonmuutos

Teräksen myötörajan ylittyessä työvälineessä alkaa esiintyä plastista muodonmuutosta (Kuvio 3). Jännityksessä teräs myötää kimmoisesti tai kimmottomasti eli plastisesti. Täydellisesti palautuvalla muodonmuutoksella tarkoitetaan kimmoista myötämistä, joka palautuu, kun jännitys lakkaa vaikuttamasta. Pysyvää muodonmuutosta, joka tapahtuu jännityksen vaikutuksesta ja ei palaudu jännityksen loputtua kutsutaan kimmottomaksi eli plastiseksi myötämiseksi. Plastista muodonmuutosta voidaan ehkäistä työvälineteräksen suurella kovuudella. Työvälineteräksen valinnassa on huomioitava suuren kovuuden vaikutus sitkeyteen. (Uddeholm 2016b.)

Plastinen muodonmuutos



Kuvio 3. Plastinen muodonmuutos. (Uddeholm 2016).

3.5 Halkeilu

Ennalta arvaamaton halkeaminen vaurioittaa yleensä työvälineen vaihtokuntoon, ja lohjennut pala saattaa aiheuttaa lisävaurioita koneessa. Muotoilussa käytetyt säteet ja terävät nurkat muodostavat halkeamassa jännityskeskittymiä, jotka etenemisellään aiheuttavat vaurion. Työstettäessä työvälinettä on noudatettava työohjeita hionta- ja työstöjäljille, työstö saattaa aiheuttaa pinnassa halkeamia, joita on vaikea silmämääräisesti havaita. Pienikin särö kappaleen pinnalla saattaa aiheuttaa lohkeamisen (Kuvio 4). Kipinätyöstön viimeistely on lopetettava pienillä virroilla ja taajuuksilla, viimeistely poistaa työvälineen pintaan muodostuneen kerroksen. Työvälineteräksen sitkeä mikrorakenne ehkäisee halkeilun riskiä. (Uddeholm 2016b.)

Halkeilu/rikkoutuminen



Kuvio 4. Halkeilu. (Uddeholm 2016).

3.6 Lohkeilu

Vähäisten kuormitusvaihteluiden alaisena työväline saattaa väsyä lyhyenkin käyttöjakson aikana. Materiaalissa olevat pienet halkeamat aiheuttavat kasvaessaan lohkeamisen (Kuvio 5). Työvälineteräkset, joilla on hyvä vetositkeys, kestävät paremmin lohkeilua. (Uddeholm 2016.)

Lohkeilu



Kuvio 5. Lohkeilu. (Uddeholm 2016).

4 KOVAMETALLIT

Kovametalli on komposiittimateriaali, joka on valmistettu jauhemetallurgisesti. Kobolttia (Co) sisältävä sideaine yhdistyy volframikarbidihiukkasiin (WC), jolloin yhdistelmästä syntyy kovametalli. Kovametallilla voidaan saada huomattavia kustannussäästöjä tilanteessa, jossa työkaluteräksen suorituskyky ei enää riitä. Volframikarbidin raekoko on merkitsevässä osassa kovametallilaatua valitessa. Volframikarbidin raekoko vaikuttaa kovuuteen ja sitkeyteen. Sideaineen kobolttin määrä vaikuttaa kovametallin plastisen muodonmuutoksen kestoon ja sitkeyteen. (Sandvik 2016.)

4.1 Pinnoittamaton ja pinnoitettu kovametalli

Pinnoittamatonta kovametallia käytetään nykyään erityisissä sovelluksissa, kuten kuormalujien superseosten, titaaniseoksien, alumiinin ja karkaistun teräksen koneistuksessa. Pinnoittamaton kovametalli kuluu nopeasti, mutta kuluminen on hallittua. Terät teroittuvat itsestään koneistuksen aikana. (Sandvik pinnoittamattomat kovametallit 2016.) Kovametallista valmistetut lastuavat terät ovat 80-90 prosenttisesti pinnoitettuja. Pinnoitus mahdollistaa terään hyvän kulumiskestävyyden ja sitkeyden. Pinnoituksella voidaan optimoida käyttötarkoitukseen sopivin terälaatu. (Sandvik pinnoitetut kovametallit 2016.)

4.1.1 CVD-pinnoite

CVD-pinnoite eli kemiallinen kaasufaasipinnoitus (Chemical Vapor Deposition) perustuu kemiallisiin reaktioihin. CVD-pinnoite on erittäin kulumiskestävä, ja tarttuvuus terään on erinomainen. CVD-pinnoitetta käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan kulumiskestävyyttä sekä hyvää kuoppakulumista. Pinnoitus on mahdollista suorittaa eri yhdisteillä (Kuvio 6). Pinnoitus tehdään 700-1050 °C:n lämpötiloissa. (Sandvik pinnoitus CVD 2016.)

MT-Ti(C,N) - Antaa kovuutta ja siten abrasiivisen kulumisen kestoja, joka vähentää viistekulumista.

CVD-Al₂O₃ – Kemiallisesti inertti aine, joka johtaa heikosti lämpöä ja parantaa siksi kuoppakulumisen kestoja. Toimii myös lämpösuojana parantaen plastisten muodonmuutosten kestoja.

CVD-TiN - Parantaa kulumiskestävyttä ja helpottaa kulumisen seuranta.

Jälkikäsitteilyt - Parantavat terän särmäsitkeyttä hakkaavassa lastuamisessa ja vähentävät kuoriutumistaipumusta.

Kuvio 6. Pinnoitukset eri yhdisteillä. (Sandvik pinnoitus CVD).

4.1.2 PVD-pinnoite

Matalassa lämpötilassa, 400-600 °C:ssä, tapahtuva fysikaalinen kaasufaasipinnoitus (Physical Vapor Deposition, PVD) höyrystää metallia. Metallin höyrystyessä typen kanssa ja kondensoituessa terän pinnalle muodostuu nitridipinnoite. PVD-pinnoite on kova pinnoite, joka lisää kulumiskestävyttä, särmäsitkeyttä ja kampanurtumien kestoja. PVD-pinnoitteessa käytetyt raaka-aineet nähdään kuviossa 7, ja pinnoitteessa on näitä aineita erilaisina kerroksina. Monikerrospinnoitus tarkoittaa useita ohuita kerroksia, kerrospaksuus on nanometriä suuruusluokassa. (Sandvik pinnoitus PVD 2016.)

PVD-TiN - Ensimmäinen PVD-pinnoite valmistettiin titaaninitridistä. Se on kullan värinen ja ominaisuuksiltaan yleiskäyttöinen.

PVD-Ti(C,N) - Titaanikarbonitridi on TiN:ä kovempaa ja parantaa viistekulumisen kestoja.

PVD-(Ti,Al)N - Titaanalumiininitridissä suuri kovuus yhdistyy hapettumisen keston, mikä parantaa terän yleistä kulumiskestävyyttä.

PVD-oksidit - Näiden pinnoitteiden käyttöperusteita ovat kemiallinen inerttiys ja hyvä kuoppakulumisen kesto.

Kuvio 7. PVD-pinnoitukset eri yhdisteillä. (Sandvik pinnoitus PVD).

4.2 Cermet

Titaanipohjaisia hiukkasia sisältävää kovametallia kutsutaan cermetiksi. Cermet-nimitys tulee sanoista ceramic ja metal (keraaminen, metalli). Alkuaikoina cermet koostui titaanikarbonista ja nikkelistä, nykypäivinä cermet ei sisällä enää nikkeliä. Cermet koostuu ytimessä olevasta titaanikarbonitridistä Ti (C, N), ja toisesta kovasta faasista (Ti, Nb,W) (C,N), sideaineena toimii volframia sisältävä koboltti. Kulumiskestävyyttä yhdisteessä lisää titaanikarbonitriitti, toinen faasi parantaa plastisen muodonmuutoksen sietoa ja kobolttipitoisuus lisää sitkeyttä. Cermet on kulumiskestävämpää kovametalliin verrattuna. PVD-pinnoitteella voidaan parantaa kulumiskestävyyttä. (Sandvik Cermet 2016.)

5 METALLIN TYÖSTÖ

Työstömenetelmänä lastuaminen kuuluu tärkeimpiin valmistusmenetelmiin. Jokaiseen työstötilanteeseen kuuluu pääsääntöisesti rouhinta, jossa poistetaan työkalupaleesta suuria ainemääriä tehokkaasti. Viimeistelyvaiheessa poistetaan työvara ja ajetaan vaadittuun pinnanlaatuun. Lastuaminen tapahtuu, kun työkappaletta kovempi terä tunkeutuu siihen ja irrottaa lastua. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2011, 140.)

5.1 Sorvaus

Yleisimpiin koneistusmuotoihin kuuluva sorvaus on tehokas lastuamistapa. 30 % lastuavista työkoneista on numeerisesti ohjattuja sorveja. Monitoimisorvi, joka sisältää monipaikkaisen revolverin sekä pyörivät työkalut, mahdollistaa kappaleen valmistamisen yhdellä kiinnityksellä valmiiksi asti. Pyörivillä työkaluilla voidaan valmistaa kappaleisiin tasoja, kiilauria sekä säteen ja akselin suuntaisia reikiä.

5.2 Jyrsintä

Jyrsinnässä työkalu (tappiterä, otsajyrsin) pyörii akselinsa ympäri samalla liikkuen kohtisuorassa haluttua rataa pitkin. Yleisesti ajatellaan, että jyrsinterää ajetaan vain yhteen suuntaan, mutta tehokkaat cad/cam-ohjelmistot ovat mahdollistaneet jopa viidellä akselilla työstön. Käytännössä oikeilla työtavoilla voidaan ajaa mieltävaltaisia muotoja yhdellä kiinnityksellä.

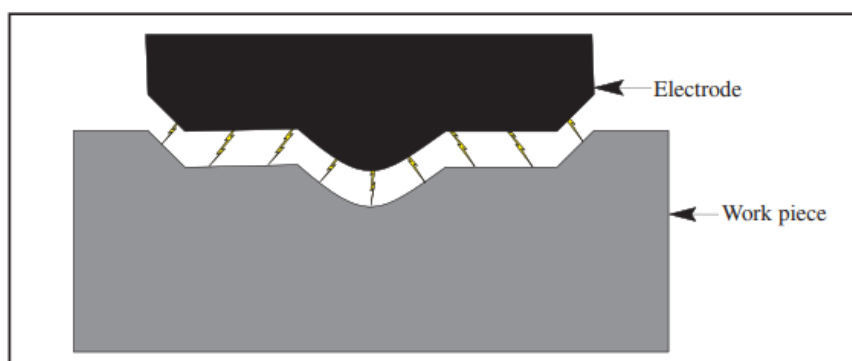
5.3 Hionta

Hiontaa käytetään lastuamismuotona, kun työstettävänä materiaalina on karkais-tun teräksen viimeistely. Toisinaan kappaleet ovat pitkiä ja ohuita, jolloin sorvaaminen ei enää onnistu, koska kappaleen samankeskisyys ei ole enää optimaalinen sorvaamalla viimeistellessä. Nc-ohjatulla ulkopuolisella pyöröhiontakoneella pysty-

tään hiomaan mittatarkkoja muotoja toistettavuuden pysyessä hallinnassa. Ulkopuolista hiontaa käytetään myös erilaisten sovitteiden teossa. Reikähiontaa käytetään tarkkojen sisäpuolisten reikien tekoon kovempiin materiaaleihin, kuten kova-metalliin ja karkaistuun teräkseen. Tasohiontaa käytetään tasomaisten kappaleiden oikaisemiseen sekä materiaalin poistoon. Yleisin tasohionnan käyttötarkoitus on karkaisusta johtuvien tasomaisuusvirheiden poistaminen.

5.4 Kipinätyöstö

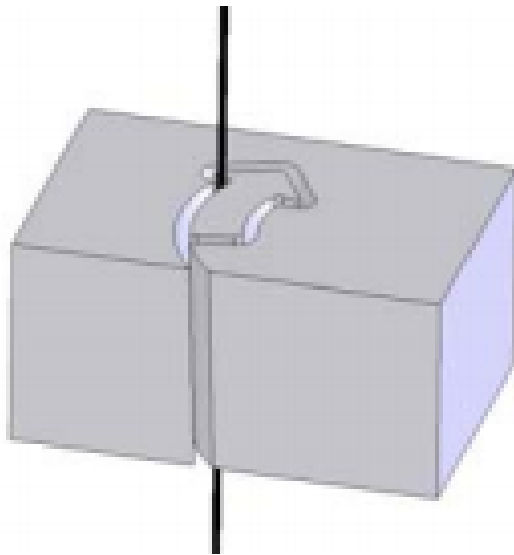
Työkalunvalmistuksessa yleisesti käytetty menetelmä on kipinätyöstö EDM (Electrical Discharge Machining). Kipinätyöstömenetelmällä valmistetaan monimutkaisia muotoja sisältäviä muovaavia työkaluja, joita on mahdotonta valmistaa perinteisillä lastuavilla työstötavoilla. Menetelmän kehittyminen on parantanut tuottavuutta ja tarkkuutta. Lankasahaus on noussut perinteisten työstömenetelmien rinnalle. Kipinätyöstöllä pystytään työstämään karkaistua sekä hehkutettua terästä. Perusperiaate kipinätyöstössä (uppokipinätyöstö) on saada sähköpurkaus anodin (graffiti tai kupari) ja katodin (sähköä johtava materiaali) väliin dielektrisessä aineessa. Työstössä elektrodi painautuu työkappaleeseen, johon muodostuu elektrodin muoto (Kuvio 8). Positiivisesti varautuneet ionit iskeytyvät katodiin, jolloin teräksen lämpötila nousee (10000-50000 °C) ja teräs alkaa sulaa. Kipinätyöstössä on tärkeää ottaa huomioon elektrodin kuluminen ja aineenpoistonopeus. Tärkeää on aina lopettaa hienokipinäintiin, ettei vaaranneta materiaalin omia ominaisuuksia ja pinnanlaatua. (Uddeholm 2000.)



Kuvio 8. Uppokipinätyöstö. (Reliableedm 2016).

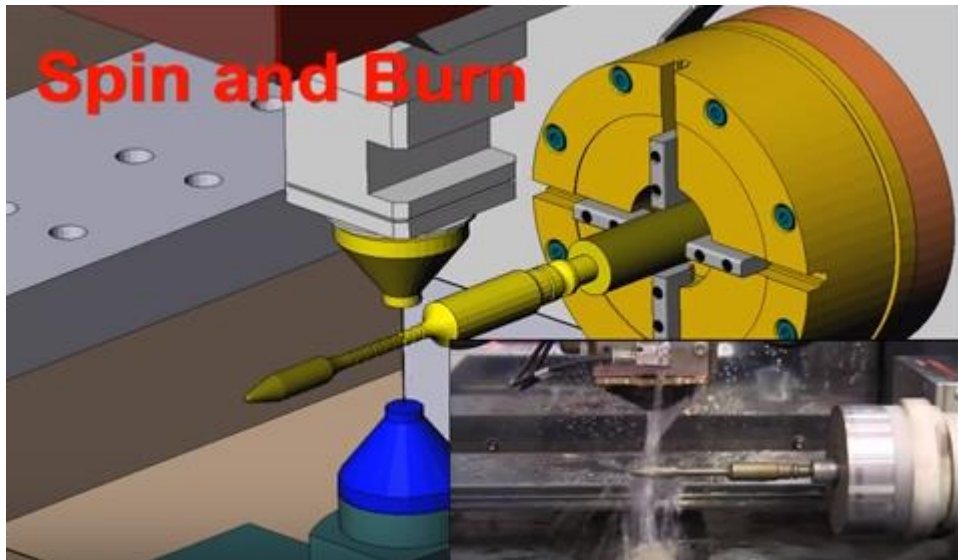
5.5 Lankasahaus

Lankasahauksessa tarvitaan samat peruselementit kuin kaikissa muissakin kipinätyöstömenetelmissä. Peruselementit ovat työkappale, elektrodi ja kipinätyöstöneste. Lankasahaus eroaa uppokipinätyöstöstä siinä, että lankasahauksessa käytetään kuparilankaa elektrodina. Kuparilankaelektronilla pystytään työstämään monimutkaisia muotoja, mutta muodon on ulotuttava työstettävän kappaleen läpi (Kuvio 9). (Valuatlas 2009.)

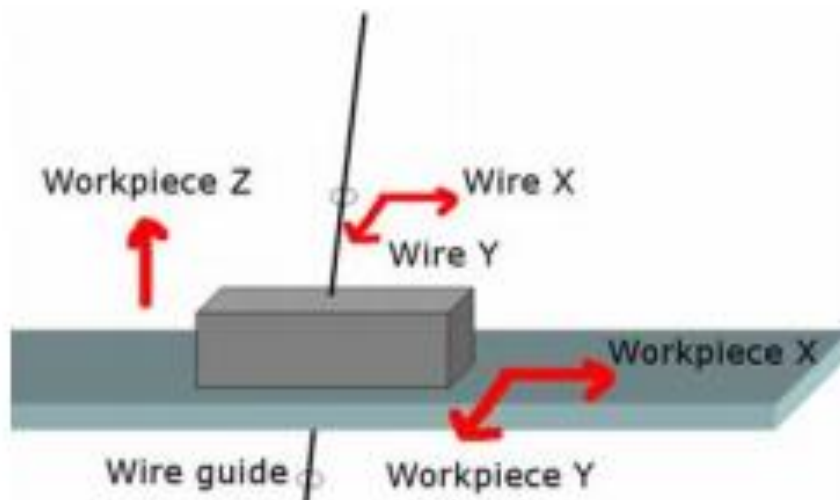


Kuvio 9. Lankasahaus kappaleen läpi. (Valuatlas 2009).

Ohjelmointiin käytössä olevia akseleita on yleensä 2- 5 kappaletta. Lisävarusteena kappaleen pyörityslaitte (Kuvio 10), jolla voidaan työstää pyörähdyskappaleita, joissa on olakkeita sekä pyöristyksiä. Ohjelmoitavat liikkeet ovat koordinaatiston mukaan x-, y- ja z- suunta, elektrodilangan kallistus ja kelan nosto/lasku. (Kuvio 11).



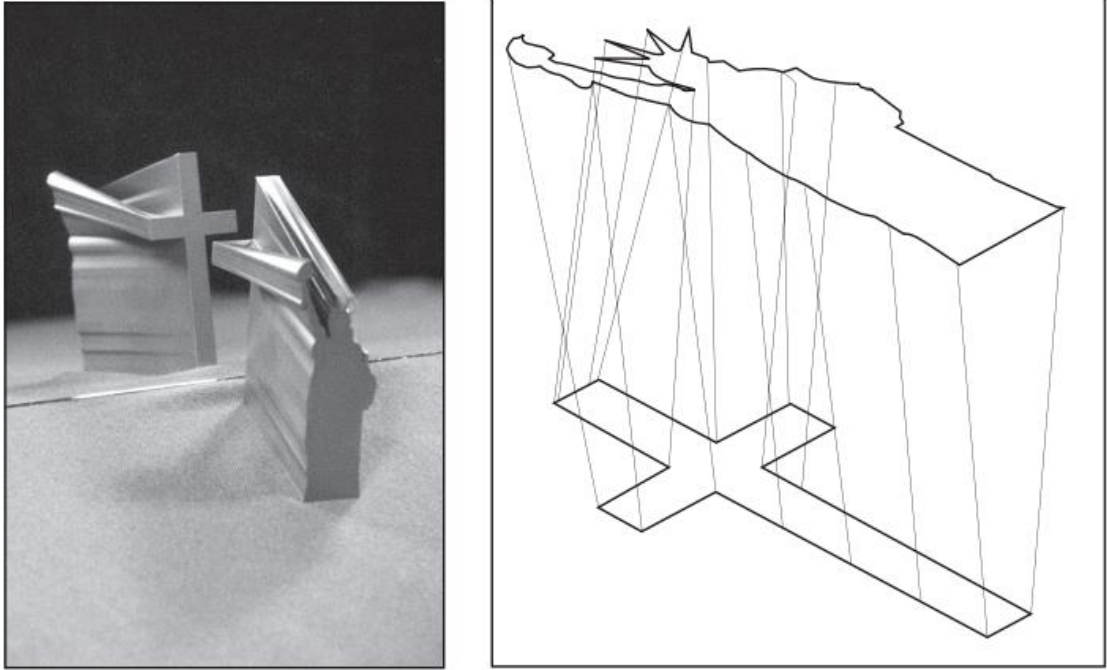
Kuvio 10. Pyöritysakselilla lankasahaus. (Spin and burn 2011).



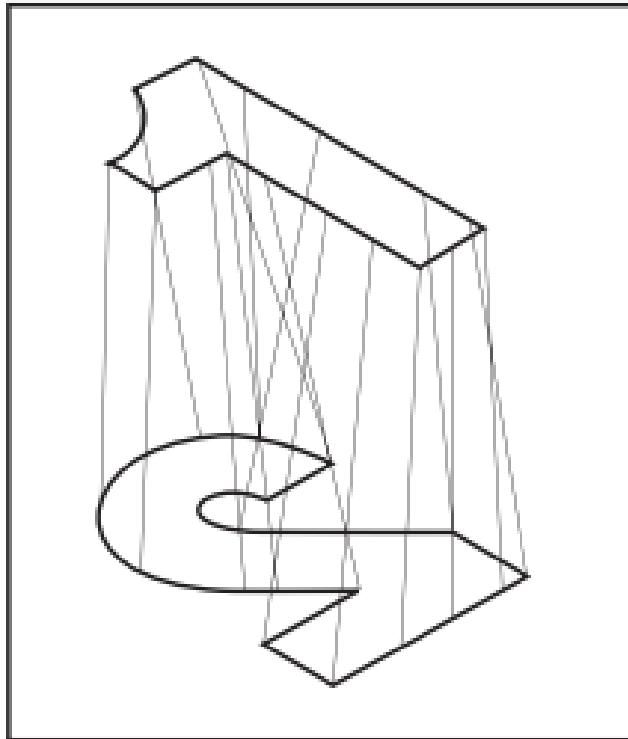
Kuvio 11. Ohjelmoitavat akselit. (Valuatlas 2009).

Työstettäessä elektrodilanka liikkuu koko ajan kahden kelan välillä, mikä auttaa pitämään elektrodilangan lämpötilan optimaalisena. Lämpötilan pysyessä optimaalisella alueella kuluminen pysyy halutulla tasolla, vaikka työstölämpötila olisikin korkea. Lankasahaus ei vaadi työstettävältä materiaalilta muuta kuin sähkönjohtavuutta, kovuus ei ole rajoittava tekijä. Lankasahassa käytettävää elektrodilankaa ei käytetä kuin yhden kerran, koska langan vetolujuus kärsii kipinätyöstössä. Materiaalina elektrodilangassa käytetään normaalisti messinkiä pinnoitettuna tai pinnoittamattomana. Elektrodilanka valitaan halutun ominaisuuden mukaan, esimerkiksi jos työstetään monimutkaisia muotoja, elektrodilangan täytyy olla pehmeää,

että kallistus onnistuu. Työstettäessä tasomaisia pintoja kovalla langalla saavutetaan parempi lopputulos, koska kova lanka vastustaa paremmin suunnan muutoksia. Korkean sulamispisteen materiaalia työstettäessä langan pinnoitteena käytetään sinkkiä, koska sinkki sulaa ja höyrystyy matalammassa lämpötilassa. Lankasahassa käytettävä kipinöintineste on deionisoitua vettä eli vettä, josta ionit on poistettu. (Valuatlas 2009b.) Lankasahalla on mahdollista toteuttaa kaksi erinäköistä muotoa samaan kappaleeseen (Kuvio 12), (Kuvio 13).



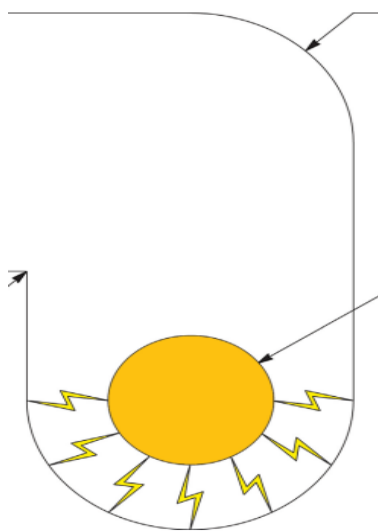
Kuvio 12. Kaksi muotoa yhteen kappaleeseen. (Reliableedm 2016).



Kuvio 13. Kaksi muotoa yhteen kappaleeseen. (Reliableedm 2016).

Kipinävälillä tarkoitetaan väliä, joka syntyy työkappaleen sekä kuparilangan väliin, jossa (Kuva 14) tapahtuu itse työstö. Kuparilanka ei koskaan koske kappaleeseen vaan kipinävälissä tapahtuu sähköpurkauksia, joka muuttaa työstettävän kappaleen

leen pieniksi hiukkasiksi. Muodon koko on kuparilangan halkaisijaan lisätty kipinäväli. (Reliableedm 2016.)



Kuvio 14. Kipinäväli. (Reliableedm 2016).

6 KANNANSORVAUSTERÄN SUUNNITTELU

Materiaalivalinnoilla on suuri merkitys työvälineen kestossa. Virheellisesti valittu materiaali voi johtaa suuriin ongelmiin työvälineen lopullisessa käyttökohteessa. Työvälineen valmistuksessa on otettava huomioon terästoimittajan työstösuositukset, etteivät työvälineen ominaisuudet kärsi valmistuksessa tehtyjen virheiden vuoksi. (Uddeholm 2016.) Suunnittelun lähtökohtana oli muuttaa vanha täysin kovametallinen muototerä vaihtopalatekniikkaa hyödyntäväksi terävarsi- ja palayhdistelmäksi. Suunnittelussa on otettu huomioon, että kannansorvausterän runkoa voidaan käyttää useammalla koneella vaihtopala vaihtamalla rungon pysyessä samana.

6.1 Materiaalin valinta

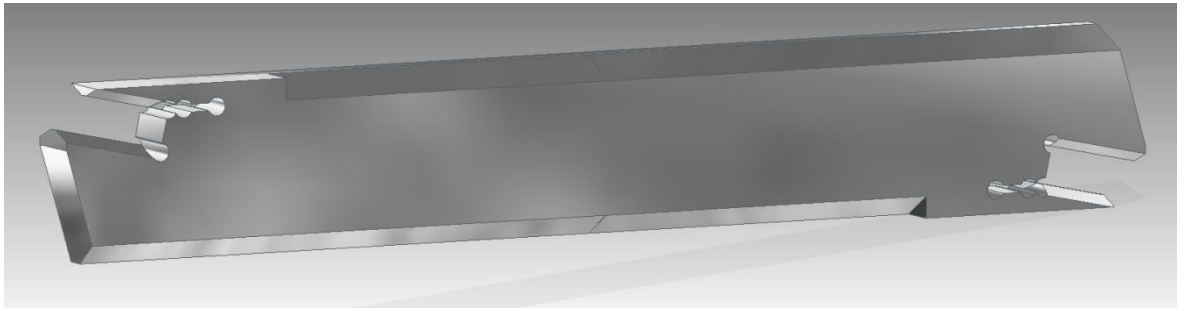
Työkaluteräksen valinnassa on otettava huomioon vallitseva vauriomekanismi. Teräksen valinnassa tärkeitä huomioon otettavia asioita vauriomekanismin lisäksi ovat työstettävä materiaali ja valmistussarjan pituus. Materiaalin ylimitoittamista on vältettävä. Teräksen valinta on optimoitava siten, että asetetut tekniset tavoitteet saavutetaan. Terävarren materiaalina käytettiin Uddeholmin Arne-työkaluterästä. Arne on yleiskäyttöön soveltuva työkaluteräs. Arnen yleiskäyttöön sopivia ominaisuuksia ovat helppo työstettävyys, sitkeys, kohtalainen kulumiskestävyys ja mittapitävyys karkaisussa. Työväline valmistuksessa Arne on kustannustehokas vaihtoehto valmistussarjojen pysyessä pieninä tai keskisuurina (Uddeholm 2016.) Karkaistavan työkaluteräksen valintaan vaikutti terävarteen tuleva sovite vaihtopalalle, sovitteiden täytyy kestää useamman palan vaihto. Vaihtopalan materiaali on CTF 12. CTF 12 on Ceratizin valmistama hieno/keskikarkeaa raekokoa sisältävä kovametalli. Samainen materiaali on käytössä tuotteen sorvauksessa, joten tässä vaiheessa ei nähty tarpeelliseksi lähteä muuttamaan materiaalia.

6.2 Modulointi

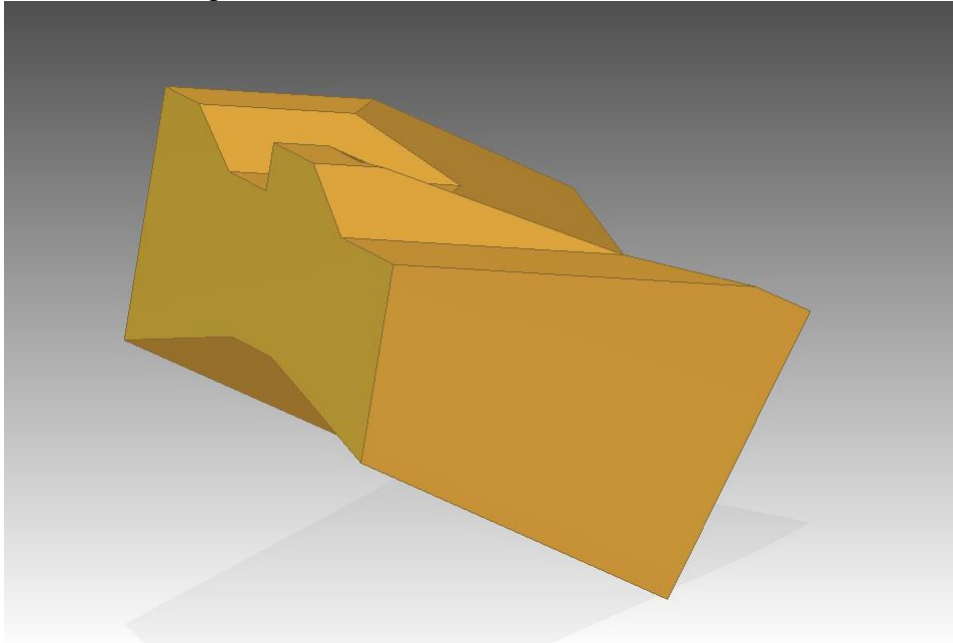
Menestystuotetta suunnitellessa tuoterakenteen optimoinnin merkitys on suuressa roolissa taloudellisesta näkökulmasta. Optimoinnin merkitys korostuu tuotanto- ja suunnitteluajojen lyhentymisellä ja materiaalikustannuksissa. Tuotteen moduloinnilla osakokonaisuuksiin voidaan moduulirakennetta hyödyntää useammassa eri tuotteessa. Moduloinnin tarkoituksena on yhdistää yrityksen eri osa-alueita yhteen pakettiin. Yhteen sovittamisessa yrityksen strategia yhdistetään tuotekehityksen ja arvoprosessien kautta optimaaliseen tuoterakenteeseen ja lopulta tuotantoon. Osa-alueet ovat keskinäisessä riippuvuussuhteessa, jossa laiminlyönti yhdelläkin osa-alueella vaikuttaa lopputulokseen negatiivisesti. (Tuotetieto [Viitattu 19.2.2018].)

6.3 Rungon ja palan mallinnus

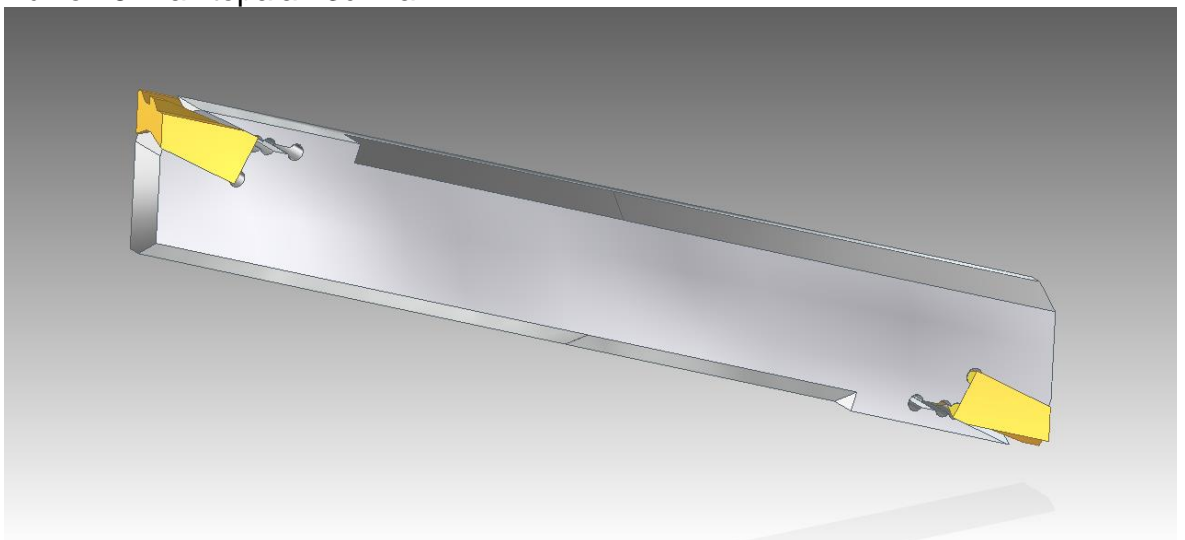
Terävarsi ja vaihtopala suunniteltiin Vertex 4G-ohjelmalla. Suunnittelun lähtökohdaksi oli valmistaa työkalut lankasahalla, joten kappaleeseen voitiin suunnitella monimutkaisia muotoja joita ei voisi perinteisillä lastuavilla työmenetelmillä valmistaa. Terävarren ja palan (Kuviot 15 ja 16) sovituksessa on käytetty hyväksi lankasahan ominaisuuksia (Kuvio 17).



Kuvio 15. Rungon 3d-malli.



Kuvio 16. Vaihtopalan 3d-malli.



Kuvio 17. Kannansorvausterän kokoonpano.

Protokappaleen valmistamisen tarkoituksena on selvittää, onko suunniteltu työkalu mahdollista valmistaa suunnitellulla tavalla. Protokappaleen valmistuksessa huo-

mataan mahdolliset suunnitteluvirheet, ja kappaleiden valmistamisesta saatava data hyödynnetään kannattavuuslaskelmissa.

6.4 Rungon aihio

Aihion valmistus aloitettiin määrittelemällä tarvittava valmistusmäärä, jonka mukaan aihion koko määräytyi. Valmistusmääräksi päätettiin 3 kappaletta terävarsia. Aihion kooksi määräytyi 160 mm*125 mm*10 mm. Aihion leveys määräytyi hyllystä löytyvän valmiin materiaalin mukaan, jonka leveys oli 125 mm. Lattatanko sahattiin metallivannesahalla määrämittäiseksi, jonka jälkeen ahiosta jyrättiin paksuus mitaan 6,3 mm. Paksuus sisälsi työvaran karkaisusta johtuvien mittamuutosten takia. Karkaisun tarkoituksena on parantaa työvälineteräksen ominaisuuksia, tässä sovelluksessa halusimme kovuutta lisää sovitteen kohdalle. Karkaisu suoritettiin tyhjiöuunilla Uddeholm Arnen karkaisutyöohjeilla. Tasohionnassa poistettiin karkaisua varten jätetty 0,3 mm:n työvara pois. Karkaisusta aiheutuneet mittavirheet pysyivät alle varatun työvaran, joten pinnat saatiin kohtisuoraan toisiaan vasten.

6.5 Esiasetuspöytä

Esiasetuspöydällä kappale ”kellotetaan” suoraan koneen akseleihin nähden. Pöytä on valmistettu graniitista, joka on mahdollisimman kohtisuora tasossa ja on mittastabiili lämmönvaihtelussa. Esiasetuspöydän (Kuva 1) tarkoituksena on valmistella seuraava työ nollapistekiinnittimessä valmiiksi koneen tehdessä vielä edellistä työtä. Käytettäessä samaa kiinnitintä koko valmistusprosessin ajan kappale täytyy kellottaa vain esiasetusvaiheessa.



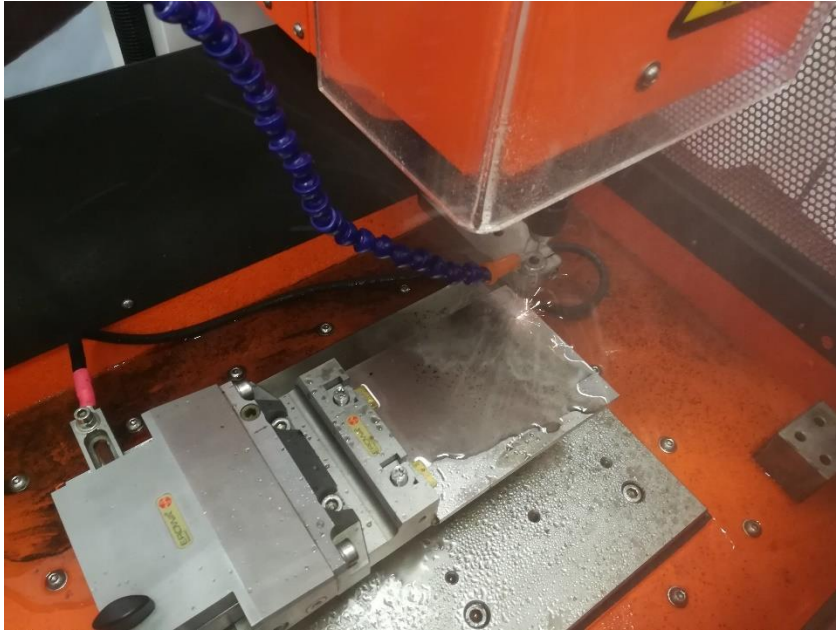
Kuva 1. Esiasetuspöytä.

6.6 Kipinäpora

Kipinäporalla (Kuvat 2 ja 3) porataan lankasahausta varten aloitusreikiä. Aloitusreiät on määritelty lankasahan ohjelmantekovaiheessa. Kipinäporaus toteutettiin Agiecharmilles Drill 20-koneella. Aloitusreikiä tehdään kipinäporalla, koska kappaleet ovat karkaistuja, kovuus on n. 60 HRC. Kipinäporassa on sama periaate kuin uppokipinäkoneessa, mutta kipinäpora on tarkoitettu vain aloitusreikien tekoon, joten reikien halkaisijoiden tarkkuus ei ole ratkaiseva tekijä. Kipinäporan suurena etuna uppokipinäkoneeseen nähden on sen nopeus.



Kuva 2. Kipinäpora AgieCharmilles Drill 20.



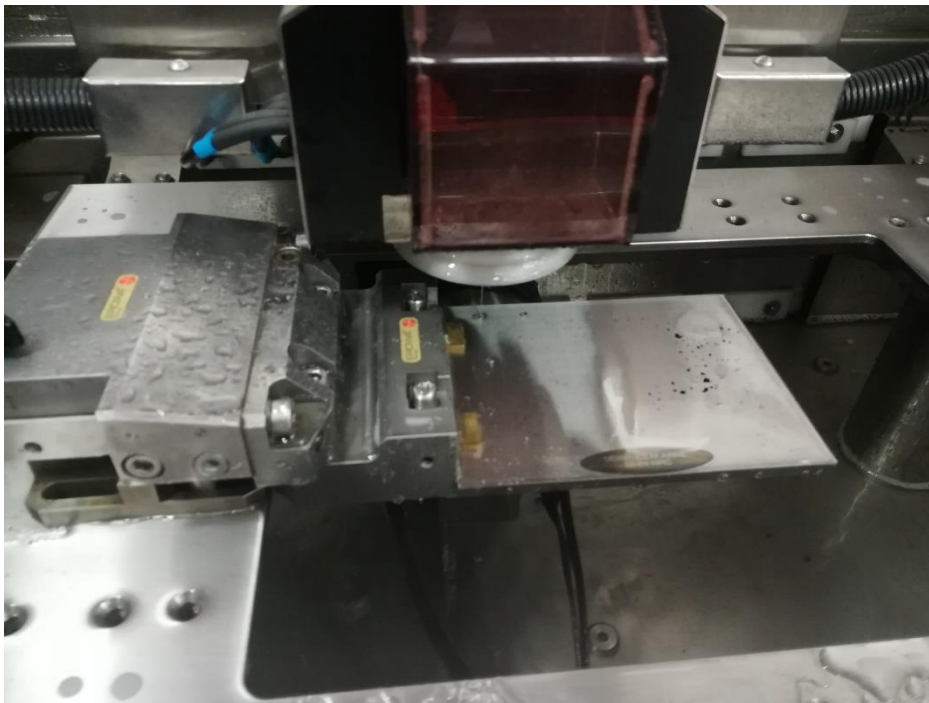
Kuva 3. Kipinäporaus.

6.7 Lankasahaus

Lankasahaus toteutettiin AgieCharmillesin Cut E 350-lankasahalla Tamsparkin tiloissa Akaalla. Tarkempaa konsultointia ja kappaleiden valmistus apua saatiin Tamsparck Oy:ssa työskenteleviltä henkilöiltä. Työkappale siirtyi kipinäporalta samalla kiinnittimellä (Kuva 4) lankasahalle (Kuva 5), joten suoraan kellottelua ei tarvitse enää suorittaa. Kappaletta käsitellessä on tietysti otettava huomioon, ettei kappale kolahda mihinkään, koska pienikin isku saattaa vaikuttaa negatiivisesti kappaleen kohtisuoruuteen lankasahan akseleihin nähden. Kappaleen ohjelma on tehty aikaisemmin PEPS Wire EDM cad/cam ohjelmistolla, joka luo langalle radat automaattisesti. Työstöratojen ohjelmointi vaatii kappaleesta 3D-mallin.



Kuva 4. Lankasaha AgieCharmilles Cut E 350.

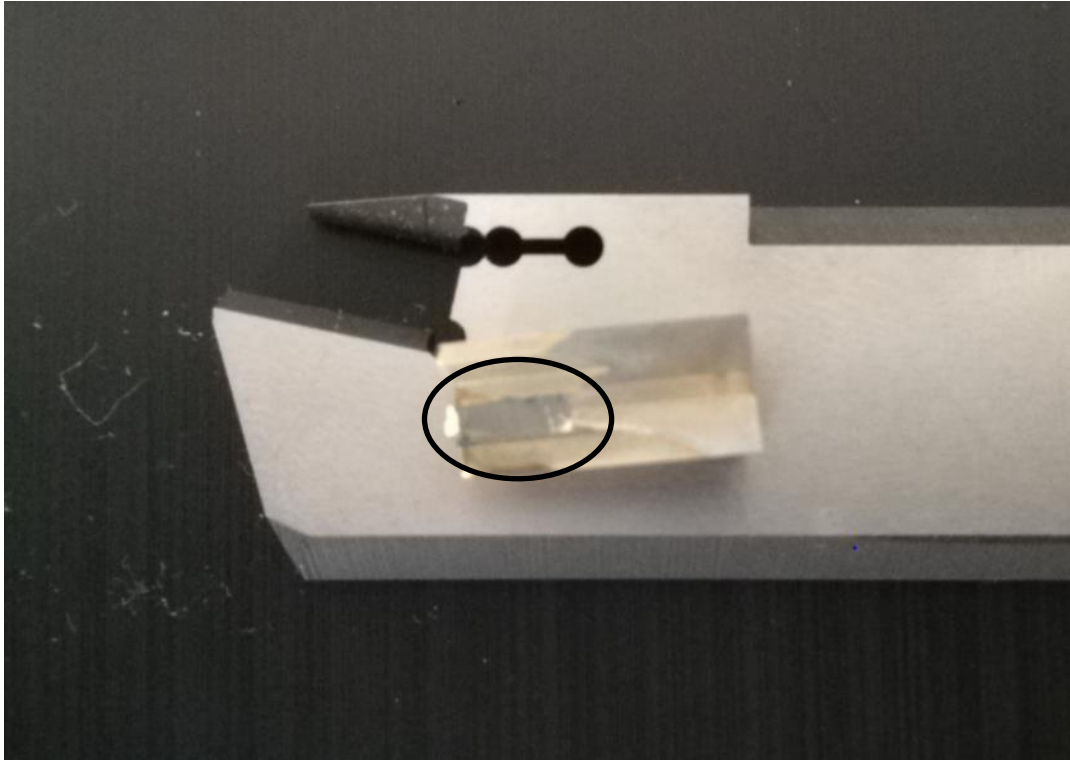


Kuva 5. Kappaleen ajo lankasahalla.

6.8 Koesorvaus

Koesorvaus toteutettiin kohdeyrityksen tiloissa tuotteelle tarkoitetulla sorvilla. Koe-tilanteessa käytössä oli runko ja yksi kappale vaihtopaloja. Koe aloitettiin laittamal-

la runko oikealle paikalleen vaihtopalan ollessa jo tässä vaiheessa kiinni. Asennusvaiheessa huomattiin, että rungossa olevaa viistettä täytyi pidentää. Alkuperäisessä työkalussa oleva kiinnitysviiste on koko rungon matkalla, joten kiinnittimen kuusiokoloruuvien pituus loppui kesken, joten rungon asentaminen oli haasteellista. Rungon ollessa kiinnittimessä ajettiin ilman tuotetta nähdäksemme moitteettoman liikkeen. Työväline on identtinen vanhaan nähden, mutta toteutettu vaihtopalatekniikalla, joten mitat eivät ole muuttuneet. Ensimmäisen tuotteen sorvauksessa sorvaus syvyys meni n. 2 mm liian syväälle, mikä aiheutti lämpenemistä sorvattavassa kappaleessa sekä teräpalassa. Virheellinen syvyys johtui työvälineen kiinnittämisessä tulleesta virheestä. Työvälineen ollessa kiinnittimessä oikealla paikallaan sorvaus tuotti laadukkaamman tuloksen, mutta mitat olivat toleranssien ulkopuolella. Mittojen toleranssien sisälle saaminen vaati rungon korkeuden säätämistä säteen suunnassa. Ylimääräinen säätäminen aiheutti kolarin, jonka seurauksena vaihtopala lohkesi (Kuva 6).



Kuva 6. Vaihtopalan lohkeaminen.

6.9 Koesorvauksen tulokset

Koesorvauksesta saadut tulokset osoittavat, että työväline on mahdollista toteuttaa opinnäytetyössä käytetyllä valmistusmenetelmällä. Työvälineestä löytyy hienosäätöä vaativia kohteita, näistä enemmän seuraavassa alaluvussa. Lyhyeksi jääneestäkin koesorvauksesta saadut havainnot auttavat kehitystyössä, mutta tärkein havainto opinnäytetyön kannalta saatiin, eli tuotteen sorvaus on mahdollista toteuttaa vaihtopalatekniikkaa hyödyntävällä sorvausterällä, joka on valmistettu lankasahaamalla. Tuotteen sorvattava osa oli hyvällä tasolla koneen käyttäjän mukaan ja ylimääräisiä värinöitä ei ilmennyt.

6.10 Kehitysideoita

Työvälineen suunnittelussa kokonaisuuden hahmottaminen on haasteellista, joten käytettävyyden havaitseminen vaati tässäkin tapauksessa koetilanteen. Rungon ja vaihtopalan sovitteen laskeminen tulisi suorittaa niin, että sovite ahdistaa palaa

asetettaessa. Palan kiinnityksen toteuttaminen ruuvikiinnitteiseksi toteuttaisi palan ahdistuksen, mutta ruuvikiinnitys vaatisi palan asettamisen suurempaan kulmaan tai palan uudestaan suunnittelun. Koesorvauksessa tapahtuneeseen lohkeamiseen osasyylinen oli kovametallin laatu. Kovametallin laatua valittaessa olisi määriteltävä vauriomekanismi uudestaan, mikä voisi parantaa vaihtopalan kestävyttä. Kulutuskestävyyttä mietittäessä huomioon otettava asia on pinnoitus.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lankasahaamalla valmistettavan vaihtopala-tekniikkaa hyödyntävän sorvaustyövälineen valmistuksessa ja suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Työn teoriaosassa perehdyttiin yleisimpiin työvälineteräksiin ja vallitseviin vauriomekanismeihin, näiden perusteella kyseiseen sovellukseen rungon materiaaliksi löydettiin tekniset tavoitteet täyttävä yleiskäyttöön sopeva työvälineteräs Uddeholm Arne. Vaihtopalan materiaalina CTF 12 hieno/keskikarkeaa raekokoa sisältävä kovametalli ei täyttänyt sille asetettuja tavoitteita, koska materiaali lohkesi lyhyen kokeen aikana. Kehitysideoissa käsiteltiin korjaavia toimenpiteitä vaihtopalan keston parantamiseksi. Valmistusmenetelmien teoriassa käsiteltiin perinteisiä lastuamismuotoja ja syvennyttiin enemmän työssä käytettyyn lankasahaus valmistusmenetelmään. Valmistusmenetelmän valintaan vaikutti sovelluksessa olevat sovitteen muodot sekä vaihtopalan kovametallinen materiaali. Sovelluksen suunnittelussa käytettiin Vertex G4-mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa. Ohjelmistolla luotiin rungosta ja vaihtopalasta lankasahan vaatimat 3D-mallit. Lankasahan käyttämä Peps Wire EDM cad/cam-ohjelmisto loi malleista tarvittavat työstöradat.

Työn tarkoituksena oli tutkia, onko suunniteltu kannansorvausterä mahdollista valmistaa lankasahaamalla. Yrityksellä ei ollut kyseisestä valmistusmenetelmästä aikaisempaa kokemusta, joten tutustuminen aloitettiin alkutilanteesta. Työn edessä lankasahauksesta saatiin kokemusta protokappaletta valmistaessa. Lopputuloksena valmistui suunniteltu kovametallinen vaihtopala ja teräksinen runko. Lankasahauksesta saatu kokemus avasi uusia mahdollisuuksia valmistusmenetelmiä suunniteltaessa.

LÄHTEET

- AdminMuseo 2013. Helemi: Lapuan historiallinen tietokanta. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavana: <http://62.148.204.4/html/index.php?iContentID=582>
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2011. Valmistustekniikka. 14. painos. Helsinki: Otatieto.
- Nammo Lapua Oy 2015. Nammo Lapua Oy. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavana: <http://www.lapua.com/en/home.html>
- Reliableedm 2016. Reliableedm. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.10.2017]. Saatavana: http://www.reliableedm.com/Complete%20EDM%20Handbook/Complete%20EDM%20Handbook_2.pdf
- Sandvik 2016. Sandvik coromant. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.11.2017]. Saatavana: https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/introduction/pages/default.aspx
- Sandvik Cermet 2016. Sandvik coromant. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.2.2018]. Saatavana: https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/cermet/pages/default.aspx
- Sandvik kovametallit 2016. Sandvik coromant. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.2.2018]. Saatavana: https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/cemented-carbide.aspx?Country=fi
- Sandvik pinnoitetut kovametalli 2016. Sandvik coromant. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.2.2018]. Saatavana: https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx
- Sandvik pinnoittamaton kovametalli 2016. Sandvik coromant. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.2.2018]. Saatavana: https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/uncoated_cemented_carbide/pages/default.aspx
- Sandvik pinnoitus CVD 2016. Sandvik coromant. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.2.2018]. Saatavana: https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx
- Spin and burn 2011. DBTtechnology. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.10.2017]. Saatavana: <https://www.youtube.com/watch?v=PQdVnMQ3srU>

Sten 2018. Sten & Co Ab. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.1.2018]. Saatavana:
<http://www.sten.fi/fin/tuotteet/tyokaluterakset/kylmatyoterakset/>

Teknolohiateollisuus 2014. Teknolohiateollisuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.3.2018]. Saatavana:
http://teknolohiateollisuus.fi/sites/default/files/teraskirja_flip/mobile/index.html#p=6

Tuotetieto, ei päiväystä. Tuotetieto. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.2.2018]. Saatavana:
<https://tuotetieto.wordpress.com/tag/modulointi/>

Uddeholm 2000. Uddeholm Oy Ab. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavana:
http://www.uddeholm.fi/files/tyokaluterasten_kipinyosto.pdf

Uddeholm 2010. Uddeholm Oy Ab. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.11.2017]. Saatavana:
http://www.uddeholm.fi/files/uddeholm_arne.pdf

Uddeholm 2016. Uddeholm Oy Ab. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.1.2018]. Saatavana:
<http://docplayer.fi/9053950-Uddeholmin-terakset-kylmatyostoon-kayttokohdeopas-kylmatyosto.html>

Uddeholm 2016a. Uddeholm Oy Ab. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.1.2018]. Saatavana:
<http://docplayer.fi/9053950-Uddeholmin-terakset-kylmatyostoon-kayttokohdeopas-kylmatyosto.html>

Uddeholm 2016b. Uddeholm Oy Ab. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.1.2018]. Saatavana:
<http://docplayer.fi/9053950-Uddeholmin-terakset-kylmatyostoon-kayttokohdeopas-kylmatyosto.html>

Valuatlas 2009. Valuatlas. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavana:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/machining_wire_EDM_FI.pdf

Valuatlas 2009a. Valuatlas. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavana:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/machining_wire_EDM_FI.pdf

Valuatlas 2009b. Valuatlas. [Verkkosivu]. [Viitattu 6.10.2017]. Saatavana:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/machining_wire_EDM_FI.pdf