

Pasi Niemelä

UPPOKIPINÖINNIN KÄYTTÖÖNOTTO JA KEHITTÄMINEN

UPPOKIPINÖINNIN KÄYTTÖÖNOTTO JA KEHITTÄMINEN

Pasi Niemelä
Opinnäytetyö
Syksy 2012
Kone- ja tuotantotekniikka
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Oulussa, Mectalent Oy:ssä loppuvuodesta 2011 ja alkuvuodesta 2012. Työn tarkoituksena oli ottaa käyttöön uppokipinätyöstökone sekä kehittää sen käyttö osaksi konepajan normaalia tuotantoa. Tavoitteena oli vähentää alihankinnan tarvetta sekä korvata uppokipinöimällä vaativia työvaiheita, joita perinteisesti oli valmistettu lastuamalla.

Kiitokseni ohjaava opettaja DI Matti Broströmille ja työelämäohjaaja DI Tapio Harilalle saamastani tuesta sekä luottamuksesta. Sain mahdollisuuden toteuttaa työni ilman tiukkoja aikatauluja ja tavoitteita. Kiitän myös Tamspark Oy:n ja Oulun Aikuiskoulutuskeskus Oy:n kipinätyöstökouluttajilta saamastani teknisestä tuesta.

Erityiskiitokseni tahdon antaa perheelleni, joka on tukenut minua ja antanut mahdollisuuden opiskeluun.

Oulunsalossa 13.11.2012

Pasi Niemelä

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Raahen tekniikan ja talouden kampus
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotanto- ja metallitekniikka

Tekijä: Niemelä Pasi Juhani

Opinnäytetyön nimi: Uppokipinöinnin käyttöönotto ja kehittäminen

Työn ohjaajat: DI Matti Broström ja DI Tapio Harila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2012

Sivumäärä: 38+0 liitettä

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin uppokipinätyöstökoneen käyttöönottamiseen ja uppokipinöinnin kehittämiseen. Työn kohde Mectalent Oy oli hankkinut CNC-ohjatun uppokipinätyöstökoneen, jonka käytöstä yrityksessä ei ollut aiempaa kokemusta. Kone oli hankittu vähentämään alihankinnan tarvetta. Uppokipinöimällä oli tarkoitus helpottaa vaativien koneistettavien osien valmistamista korvaamalla lastuavaa työstöä kipinätyöstöllä.

Koneen käyttökoulutus toteutettiin ulkopuolisen kouluttajan avustuksella, koska tuotannon tarve vaati minimoimaan käyttöönottovaiheen keston. Tuotannon nopea käynnistyminen mahdollisti varsinaisen tutkimisen ja työstömenetelmän kehittämisen koepolttojen avulla.

Kehittämävaiheen aikana kipinätyöstöstä tuli kohonneen taitotason ja työstönopeuden myötä kilpailukykyinen koneistusmenetelmä. Sen avulla saavutettiin kustannussäästöjä mm. vähentyneenä alihankinnan tarpeena ja nopeutuneina läpimenoaikoina.

Kipinätyöstämällä voidaan nyt valmistaa osia, joita aiemmin oli hyvin vaikea ja joskus jopa mahdotonta valmistaa lastuavilla menetelmillä. Menetelmän jatkokehittämiseen tulevat vaikuttamaan tulevat työt. Ne asettavat tarpeet mm. erilaisten kiinnittimien hankinnalle.

Asiasanat:

EDM, elektrodi, kipinäväli, koepoltto, lankakipinätyöstö, uppokipinätyöstö, WEDM

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Niemelä Pasi Juhani

Title of thesis: The Start up of an Electrical Discharged Machine and the Development of Electrical Discharged Machining

Supervisors: Matti Broström, Tapio Harila

Term and year of completion: Autumn 2012

Number of pages: 38

In this Bachelor's thesis the aim was to start up an electrical discharged machine and to develop electrical discharged machining. The Mectalent Ltd had bought an electrical discharged machine and had no experience to operate it. The parts that were difficult to manufacture by turning or milling were planned to be produced by an electrical discharged machining. The electrical discharged machine was bought to reduce the need of subcontractor.

To minimize the time used for the start-up of the machine, the basic user training was carried out by Tamspark Ltd. During the basic training, also the manufacturing by electrical discharged machining was started and developed.

As the development of electrical discharged machining was successful, manufacturing became faster and cost less money. One reason for that was the reduced need of a subcontractor.

The company is now able to manufacture difficult parts by electrical discharged machining, easier than it was made by a milling or turning machine. The future will depend on works to be done. If the parts are very different than today, the machine will need a new clamping system.

Keywords:

EDM, Electrical discharged machining, Electrode, Gap, Test machining, WEDM, Wire-cut electrical discharged machining

Sisällys

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 MÄÄRITELMÄ	11
2.1 Uppokipinätyöstökoneen käyttöönotto	11
2.2 Uppokipinätyöstön kehittäminen	12
3 TOIMINTAYMPÄRISTÖ	13
3.1 Mectalent	13
3.2 Kipinätyöstö	13
3.3 Uppokipinätyöstö	17
3.3.1 Elektrodi	19
3.3.2 Kipinätyöstö-öljy	20
3.4 Lankakipinätyöstö	21
3.5 Kipinäpora	22
4 TOTEUTUS	23
4.1 Uppokipinätyöstökoneen käyttöönotto	23
4.2 Uppokipinätyöstön kehittäminen	25
5 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET	33
6 YHTEENVETO	37
LÄHDELUETTELO	38

KÄYTETYT LYHENTEET

EDM, electrical discharged machine, kipinätyöstökone

EDM machining, electrical discharged machining, kipinätyöstäminen

WEDM, wire-cut electrical discharged machine, lankakipinätyöstökone

WEDM machining, wire-cut electrical discharged machining, lankakipinätyöstäminen

1 JOHDANTO

Työssä käsitellään uppokipinätyöstön käyttöönottoa ja kehittämistä Mectalent Oy:ssä. Tarkoituksena on vaativien koneistettavien kappaleiden valmistuksessa pyrkiä korvaamaan uppokipinätyöstöllä työvaiheita, joiden valmistaminen perinteisillä lastuavilla menetelmillä on ollut haastavaa ja aikaa vievää.

Kipinätyöstössä johdetaan sähkövirta työkalusta, elektrodista, työkappaleeseen väliaineen läpi. Tämä sähkövirta kulkee kipinäna, joka irrottaa työkappaleesta pieniä ainesosia. Väliaineena oleva huuhteluneste kuljettaa hiukkaset pois. Työkappaleen tulee olla sähköä johtava. Kipinätyöstö sopii yhtä hyvin karkaistun kuin pehmeänkin teräksen käsittelyyn. Hyvin sähköä johtavat työkappaleet ovat helpompia työstää kuin huonosti johtavat. (Ansaharju & Maaranen 2003, 583.)

Mectalent Oy on pienten ja keskisuurten kappaleiden alihankintakoneistukseen erikoistunut yritys. Se syntyi syksyllä 2008, kun kaksi tunnettua ja arvostettua yritystä, Oulun Hienomekaniikka ja Coronaria Instruments, yhdistyivät. Henkilökuntaa yrityksessä on n. 50. Oulun Hienomekaniikalla (OHM) on 25 vuoden kokemus komponenttien, moduulien sekä kokonaisten tuoteperheiden koneistuksesta teollisuuden ja puolustusteollisuuden asiakkaille. Coronaria Instruments on tunnettu luotettavana kirurgisten instrumenttien ja implanttien globaalina valmistajana. Yrityksellä on vuosien kokemus ja referenssit ratkaisujen toimittamisesta asiakkaille ympäri maailmaa. (Mectalent Oy 2012, hakupäivä 12.3.2012.)

Mectalent toimii asiakkaidensa strategisena kumppanina ja järjestelmätoimittajana. Se on keskittynyt vaativien ja tarkkojen osien koneistamiseen käyttämällä laajaa materiaalivalikoimaa. Pää tavoitteena yrityksellä on kasvaa kansainväliseksi sopimusvalmistajaksi terveydenhuoltoon, puolustusvälineiteollisuuteen, ilmailuun ja muihin vaativiin teollisuusaloihin. Mectalent Oy kuuluu oululaiseen Cor-konserniin. (Mectalent Oy 2012, hakupäivä 12.3.2012.)

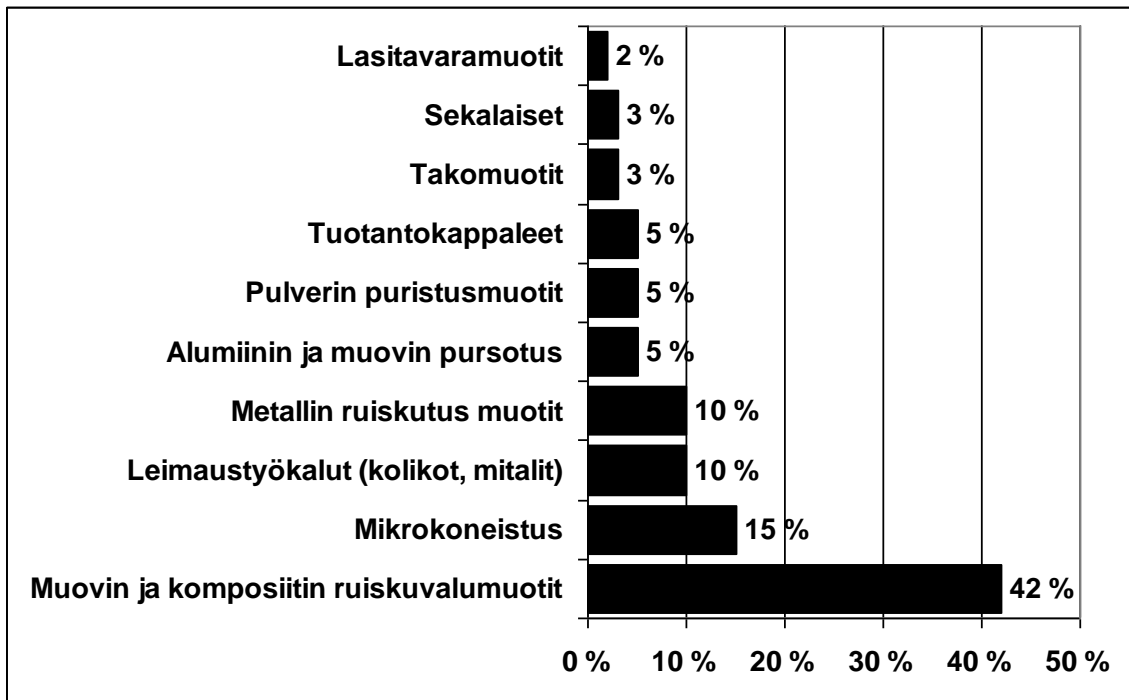
Yrityksen käytössä on aina alan uusimmat CNC-työstökoneet. Toimintatapaan kuuluu asiakkaiden kanssa tapahtuva tuote- ja tuotantoteknologian kehittäminen, mikä yhdessä korkean

laadun kanssa takaa asiakastyytyvyyden. Mectalent on mukana asiakkaidensa järjestämissä kehittämishankkeissa, joissa yhteistyötä tehostetaan aktiivisesti ja otetaan käyttöön uusia toiminta- sekä tuotantotapoja.

Asiakaslähtöisen toimintatavan vuoksi yritykseen hankittiin Charmilles Roboform 400 CNC-ohjattu 4-akselinen uppokipinätyöstökone sekä Charmilles Robofill 640cc-lankakipinätyöstökone tukemaan tuotantoa ja vähentämään alihankinnan tarvetta.

Viime vuosina kipinätyöstön käyttökohteet ovat lisääntyneet nimenomaan tuotantokäytössä, jossa lankasahauksella tai uppokipinätyöstöllä joko osittain tai kokonaan korvataan lastuava työvaihe. Joskus tämä jopa mahdollistaa kappaleen valmistaminen sellaisesta aihioista, joka kovuutensa vuoksi ei olisi mahdollista koneistaa esimerkiksi jyrsimällä.

Kuvassa 1 näkyy kipinätyöstön prosentuaalinen jakaantuminen eri tuotantoaloille. Tuotantokappaleiden osuus tulee lähivuosina kasvamaan useita prosentteja.



KUVA 1. Uppokipinätyöstön käyttökohteita (Hautamäki 9.4.2012, sähköpostiviesti)

Hyvänä esimerkkinä kipinätyöstön ja lankasahauksen hyödyntämisessä huippuunsa viedyn koneistuksen rinnalla on Oulussa toimiva Mectalent Oy. Yritys on tarkkuusmekaniikan huippuosaaja Suomessa, jossa valmistetaan vaativia komponentteja laajalle asiakaskunnalle teollisuudessa esimerkiksi lääketieteen, ilmailuteollisuuden sekä puolustusteollisuuden tarpeisiin. (Tammisalo 2012, 8.)

Toiminta-ajatuksensa mukaisesti Mectalent Oy panostaa vahvaan yhteistyöhön toimittajien kanssa, joilla on halu, kyky ja taito sekä tarvittavat resurssit tuottaa ja kehittää tuloksellisessa yhteistyössä laadukkaita ja kilpailukykyisiä tuotteita. Toimintansa turvaamiseksi Mectalent Oy pyrkii solmimaan toimittajiensa kanssa vuosittaisia sopimuksia, joiden pohjalta molemmat osapuolet kykenevät suunnittelemaan ja kehittämään toimintaansa joustavaksi, kilpailukykyiseksi ja tuottavaksi. Toisinaan Mectalent Oy:n asiakas toivoo käytettävän tiettyä alihankkijaa, jonka toiminta ja laatu on koettu hyväksi entuudestaan asiakkaan omassa valmistuksessa. Mectalent Oy:n hyväksytyt toimittajat ovat tuotannonohjausjärjestelmässä. (Mectalent Oy 2012, hakupäivä 12.3.2012.)

Laajan ja vaativan asiakaskunnan vuoksi yrityksessä on käytössä useita eri laatujärjestelmiä: ISO9001, ISO13485, AQAP2110 eli Naton laatuvaatimukset ja EN9100 eli Ilmailuteollisuuden laatuvaatimukset. (Mectalent Oy 2012, hakupäivä 12.3.2012.)

2 MÄÄRITELMÄ

Työ käsittelee uppokipinätyöstön käyttöönottoa ja kehittämistä Mectalent Oy:ssä. Tarkoituksena on vaativien koneistettavien kappaleiden valmistamisessa pyrkiä korvaamaan uppokipinätyöstämällä työvaiheita, joita perinteisesti on valmistettu lastuavilla menetelmillä.

Mectalent oli aiemminkin hyödyntänyt uppokipinätyöstöä osana tuotantoa, mutta se oli hankittu alihankintana muualta ja se oli osoittautunut jossain määrin ongelmalliseksi logistiikan, laadunvalvonnan, tuotannonseurannan ja tuottavuuden kannalta. Lähinnä näistä syistä yritykseen on hankittu sekä lankakipinätyöstökone että uppokipinätyöstökone.

Tavoitteena oli itse kipinäimällä saavuttaa seuraavanlaisia etuja:

1. Helpottaa ja parantaa tuotannon- ja laadunseurantaa tekemällä työ itse.
2. Kun kappaleita ei tarvitse siirtää yrityksestä toiseen, ei niitä myöskään tarvitse pakata siirtoa varten.
3. Kuljetukset varsinkin talvisaikaan aiheuttavat viivästyksiä tuotannossa. Vaativien kappaleiden lämpötilan tulee tasaantua vähintään vuorokausi ennen seuraavaa koneistusvaihetta tai mittaamista 3D-mittalaitteella.
4. Tuottavuus paranee ja aikaa säästyy edellä mainittujen asioiden seurauksena.
5. Oman työn osuus lopputuotteessa kasvaa.

2.1 Uppokipinätyöstökoneen käyttöönotto

Mectalent Oy oli hankkinut Charmilles Roboform 400 uppokipinätyöstökoneen. Koska uppokipinätyöstökone ja siihen liittyvä työstötekniikka olivat yrityksessä uutta, täytyi käyttöönotto aloittaa koulutuksella. Ennen tuotantotöiden aloittamista oli hankittava tarvittava tieto ja taito

Uppokipinätyöstökoneen käyttö ja ohjelmointi poikkeavat jonkin verran, mutta eivät merkittävästi konepajan muista koneista. Suurin ero on työstötekniikassa, sillä se eroaa huomattavasti lastuavasta työstöstä. Jotta käyttöönottovaihe olisi mahdollisimman kitkatonta, päätettiin tarvittava tietotaito tuotannon aloittamiseksi hankkia talon ulkopuolelta.

2.2 Uppokipinätyöstön kehittäminen

Käyttöönottovaiheen jälkeen oli vuorossa varsinaisen tuotannon käynnistäminen. Jo aloitusvaiheessa oli tiedossa, että uudessa valmistusmenetelmässä tulee riittämään kehityskohteita.

Kehityskohteiksi arvioitiin kappaleen ja elektrodien kiinnitystä, työstökoneen ohjelmointia sekä työstöaikojen ja pinnanlaadun hallintaa työstöparametrien avulla.

Kehittämisen lähtökohtana oli, että uppokipinätyöstökoneen työstönopeuden tulee olla riittävä. Sillä täytyy ehtiä kipinöidä kaikki ne työkappaleet, jotka lankasahauksen jälkeen vaativat uppokipinäintiä, vähintäänkin siinä tahdissa, kuin niitä lankasahalta valmistuu.

3 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

3.1 Mectalent

Mectalent Oy:n konepaja sijaitsee Oulussa. Yritys työllistää n. 50 henkilöä. Yrityksen työstökonekanta on hyvin monipuolinen, yhteensä n. 25 CNC- ja 10 manuaalityöstökoneita. Koneistuspalvelujen lisäksi yritys tuottaa myös suunnittelu-, tuotekehitys- ja kokoonpanopalveluja.

Yrityksen periaatteisiin kuuluu moderni toimintakulttuuri. Käytössä on aina alan uusimmat CNC-työstökoneet, toimintatapaan kuuluu asiakkaiden kanssa tapahtuva tuote- ja tuotantoteknologian kehittäminen, mikä yhdessä korkean laadun kanssa takaa asiakastytyvyyden. Mectalent on mukana asiakkaidensa järjestämissä kehittämishankkeissa, joissa yhteistyötä tehostetaan aktiivisesti ja otetaan käyttöön uusia toiminta- sekä tuotantotapoja. (Mectalent Oy 2012, hakupäivä 12.3.2012.)

3.2 Kipinätyöstö

Vuonna 1770 englantilainen tiedemies Priestley havaitsi sähköpurkausten syövyttävän vaikutuksen. Paljon myöhemmin yrittäessään poistaa tämän vaikutuksen sähkökytkennöistä venäläiset tiedemiehet B.R ja N.I Lazarenko keksivät käyttää sähköpurkausten kuluttavaa vaikutusta hyväksi ja kehittää ohjatun työstömenetelmä metalleille. Vuonna 1943 he viimeistelivät kipinätyöstömenetelmän, jota kutsuttiin näin, koska perättäiset kipinät (sähköpurkaukset) toimivat kahden kipinänesteeseen upotetun virranjohtimen välillä. (Kipinätyöstökoneen käyttöohje, 2002.)

Lazarenkon piiriksi kutsuttua kipinägeneraattorin periaatetta, joka oli käytössä tuolloin, käytettiin useita vuosia EDM-kipinätyöstökoneiden generaattoreiden rakenteissa. Tietyissä sovelluksissa käytetään yhä tämäntyyppisen generaattorin paranneltua muotoa. (Kipinätyöstökoneen käyttöohje, 2002.)

Kipinätyöstön (EDM) valtava kehitys johtuu myös useista muista sitkeistä tutkijoista, jotka antoivat panoksensa tämän työstötavan perusominaisuuksien osoittamisessa ja niiden mahdollisimman tehokkaassa hyväksikäytössä. (Kipinätyöstökoneen käyttöohje, 2002.)

Vuonna 1952 Charmilles Technologies alkoi toteuttaa tutkimus- ja kehittämisohjelmaa, mikä johti ensimmäisen kipinäsyövytyskoneen syntymiseen ja esittelyyn vuoden 1955 työstökonenäyttelyssä Milanossa. Siitä lähtien Charmilles Technologies on saavuttanut jatkuvasti uusia merkkipylväitä kipinätyöstökoneiden (EDM) kehityksessä sekä kahden konemalliston, ROBOFORMin ja ROBOFILin, kehittämisessä. (Kipinätyöstökoneen käyttöohje, 2002.)

Kipinätyöstötekniikalle luonteen ominaisinta on sen kyky koneistaa kaikkia sähköä johtavia materiaaleja kuten erilaiset metallit, metalliseokset, kovametallit, grafiitit, jne. riippumatta niiden kovuudesta.

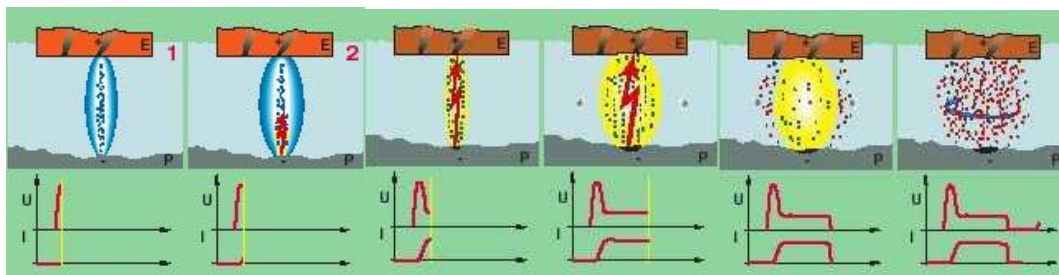
Kipinätyöstössä generaattori tuottaa muutoksia jännitteessä elektrodin ja koneistettavan kappaleen välillä. Kun jännite on riittävän suuri, muuttuu kipinätyöstöneste eristeestä johteeksi ja tapahtuu sähköpurkaus. Työstettävä materiaali sulaa ja höyrystyy ja syntyy pieni graatteri. Kipinäointi on jatkuvaa, se syntyy aina siellä, missä kappaleen ja elektrodin etäisyys on pienin.

Kipinätyöstö perustuu anodin, esimerkiksi grafiitti tai kupari ja katodin esimerkiksi työkaluteräs tai muu työvälinemateriaali, välisiin sähköpurkauksiin dielektrisessä väliaineessa. Purkauksia säädellään siten, että työkaluun tai työkappaleeseen kohdistuu eroosiovaikutus. Työstössä anodi eli elektrodi tunkeutuu työkappaleeseen, joka leikkautuu elektrodin muotoon. Dielektrinen väliaine eli huuhteluaine ionisoituu purkauksessa. Positiivisesti varautuneet ionit iskeytyvät katodiin, jolloin teräksen uloimman kerroksen lämpötila kohoaa niin korkeaksi, että teräs sulaa tai höyrystyy. Muodostuu pieniä metallisulapisaroiita, jotka huuhtoutuvat ”lastujen” tapaan väliaineeseen. (Uddeholm Oy 2012, hakupäivä 15.3.2012).

Kipinätyöstössä säädetään yleensä sähkövirtaa ja jännitettä sekä kipinän kestoaikaa, kun halutaan vaikuttaa koneistettavaan pinnanlaatuun ja työstötehokkuuteen. Joissakin tapauksissa voidaan vaihtaa myös napaisuus, esimerkiksi silloin, kun elektrodi on kiinnitetty koneen pöytään ja työkappale koneen karalle.

Työkappaleen tulee olla sähköä johtava. Kipinätyöstö sopii yhtä hyvin karkaistun kuin pehmeänkin metallin koneistamiseen. Tällä saavutetaan tiettyjä valmistusteknisiä etuja, joita työvälinevalmistajat ovat hyödyntäneet jo pitemmän aikaa.

Kuvassa 2 on esitetty kipinänsyntymekanismi vaiheittain.



KUVA 2. Kipinän muodostuminen, U = jännite, I = virta (Tammisalo 27.2.2012, sähköpostiviesti)

Kuvan 2 kohdat ovat seuraavia (Kipinätyöstökoneen käyttöohje, 2002):

KOHTA 1. Jotta saadaan aikaan kipinä kahden elektrodin välille täytyy käyttää jännitettä, joka on korkeampi kuin kipinävälin (elektrodin ja työstökappaleen välinen tila) läpilyöntijännite. Tämä läpilyöntijännite riippuu elektrodin ja työstökappaleen välimatkasta, kipinänesteen sähköeristysominaisuuksista eli johtamattomuudesta ja kipinävälin likaantumistasesta.

KOHTA 2. Prosessin alussa käytetään voimakasta sähköistä kenttää, joka synnyttää suurimman positiivisten ja negatiivisten ionien pitoisuuden kohdassa, jossa elektrodin ja työstökappaleen välimatka on lyhin.

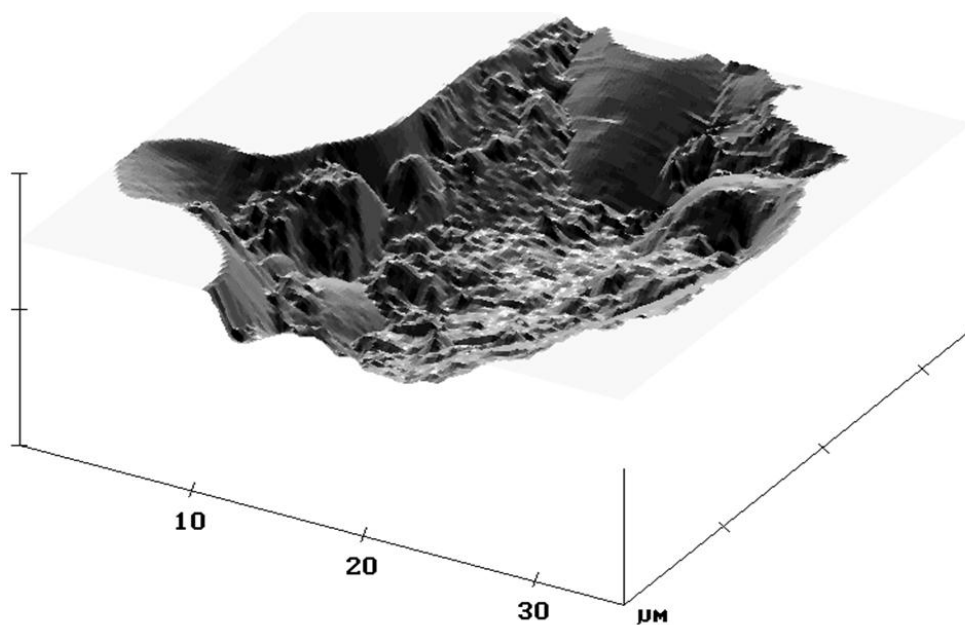
KOHTA 3. Tämän kentän vaikutuksen alla elektronit ja vapaat positiiviset ionit kiihdytetään suuriin nopeuksiin, jolloin ne muodostavat hyvin nopeasti ionisoidun kanavan, joka johtaa sähköä.

KOHTA 4. Tässä vaiheessa sähkö voi virrata ja elektrodien (elektrodin ja työkappaleen) välille syntyy kipinä, joka aiheuttaa lukemattoman määrän törmäyksiä hiukkasten välillä. Samaan aikaan elektrodien höyrystymisestä ja kipinänestestä aiheutuva kaasukupla kehittyä ja sen paine nousee, kunnes se on erittäin korkea. Muodostuu plasma-alue, joka saavuttaa hyvin nopeasti erittäin suuria lämpötiloja, 8 000:sta aina 12 000 C:een ja joka kehittyä jatkuvasti kasvavan törmäysten määrän vaikutuksesta, saaden aikaan äkillisen paikallisen sulamisen tietyssä määrässä ainetta kahden johtimen pinnalla.

KOHTA 5. Kun virta katkaistaan, lämpötilan äkillinen lasku aiheuttaa kuplan kokoon luhistumisen ja synnyttää dynaamisia voimia, jotka saavat sulaneen aineen työntymään ulos kraatterista. Kraatterin koko riippuu kipinägeneraattorilla tuotetun energian määrästä. Kipinöiden koko vaihtelee muutamasta millin tuhannesosasta 1 millimetriin.

KOHTA 6. Syöpyntä materiaali jähmettyy uudelleen kipinäneesteessä pieniksi palloiksi, joita kutsutaan likaantumiseksi ja jotka kipinäneeste poistaa. Langan tai elektrodin ja työstökappaleen syöpyminen on epäsymmetristä ja riippuu huomattavasti napaisuudesta, lämmönjohtokyvystä, aineiden sulamispisteistä, purkausten kestosta ja voimakkuudesta sekä langansyöttönopeudesta. Syöpymistä kutsutaan kulumiseksi, kun se tapahtuu langalle tai elektrodille ja aineenpoistoksi, kun se tapahtuu työstökappaleelle.

Kuvassa 3 on suurennoksena yksi kipinäkraatteri.



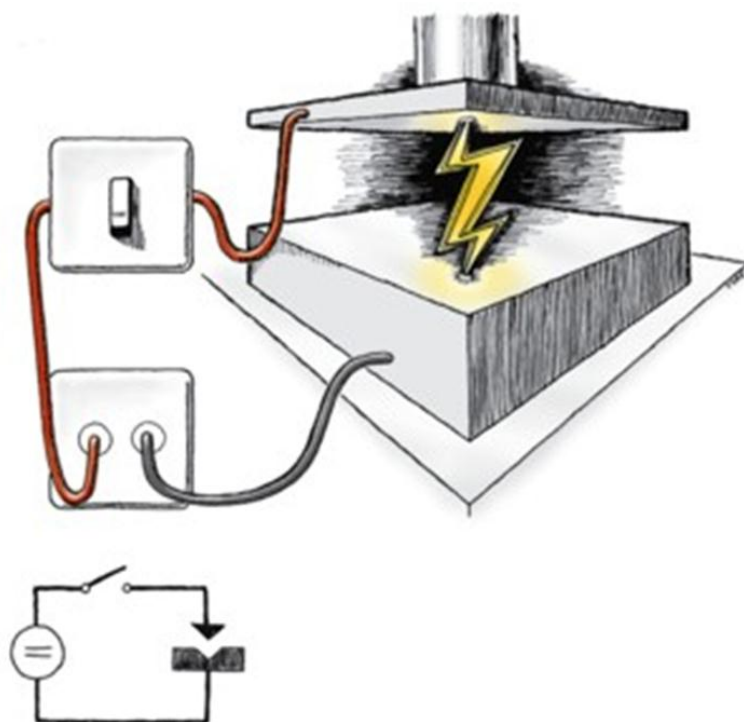
KUVA 3. Kipinäkraatteri (Tammisalo 27.2.2012, sähköpostiviesti)

Kipinäpurkauksia tapahtuu tuhansia sekunnissa. Uusi kipinä syntyy aina siinä, missä etäisyys on lyhin. Varsinaista kosketusta ei saa tapahtua, vaan elektrodin ja työkappaleen välissä on oltava ns. kipinäväly, joka on muutamasta sadasosamillimetristä muutamaa kymmenesosamillimetriin. Työstö on melko hidasta, sillä päästään n. 1/100 mm:n tarkkuuteen. (Maaranen 2004, 322.)

3.3 Uppokipinätyöstö

Uppokipinätyöstökoneilla EDM on perinteisesti koneistettu muotoja, joita muuten on ollut vaikea tai lähes mahdoton koneistaa. Se on soveltunut hyvin pienisäteisten sisä- ja ulkomuotojen koneistamiseen, sillä on voinut koneistaa kapeita ja syviä uria, jotka varsinkin muottiteollisuudessa ovat usein päästöllisiä. Nykyaikaisilla CNC-ohjatuilla uppokipinätyöstökoneilla pystytään helposti koneistamaan kolme- ja useimmilla jopa neliakselisesti. Tämä tuo konepajaan aivan uusia valmistusmahdollisuuksia.

Kuvassa 4 on yksinkertaistettu kuvio uppokipinätyöstön toimintaperiaatteesta.



KUVA 4. Uppokipinätyöstön periaate (Tammisalo 27.2.2012, sähköpostiviesti)

Uppokipinätyöstön eli EDM periaate on hyvin yksinkertainen. Työkalu ja työstettävä kappale eivät kosketa toisiaan työstön aikana. Niiden välissä on kipinätyöstö-öljyä. Sekä elektrodi että

työstettävä kappale on kytketty virtalähteeseen. Virtalähde aikaansaa jännitteen elektrodin ja työstettävän kappaleen välille ja syntyy purkaus, kipinä.

Uppokipinätyöstössä kipinöidään metalliseen työkappaleeseen elektrodiksi kutsutun työkalun negatiivinen muoto. Kipinöitäessä sekä elektrodi että työkappale kulumat. Kulumista säädetään työstöparametrien avulla, millä pyritään suureen aineenpoistoon ja vähäiseen elektrodin kulumiseen.

Parhaimmilla uppokipinätyöstökoneilla voidaan saavuttaa lähes pinnankarheusarvo Ra 0,10, jolloin pinta on lähes peilimäinen. Normaalisti saavutetaan pinnankarheusarvo Ra 0,8.

Pinnanlaatu riippuu kipinöiden dimensioista. Jos energia on suuri, pinnanlaatu on huono, mutta työstö on nopeaa, jos energiataso kipinöillä on pieni, saavutetaan parempi pinnanlaatu. Toisaalta tuolloin työstövauhti pienenee huomattavasti.

Pinnankarheus kipinätyöstössä ilmaistaan taulukossa 1 esitettyjen suhteellisten asteikkojen mukaisesti:

1. Charmilles Technologiesin määrittelemä CH-asteikko (asteikko 0–45) (täysin samanlainen kuin VDI3400:n vakio)
2. Ra-asteikko = CLA asteikko (Iso-Britannia)= AA-asteikko (USA) (ilmaistu mikrometreissä ta mikrotuumissa)
3. ISO 1302-luokka (asteikko N3–N10)
4. muuntokaava CH:n ja Ra:n välillä on $CH\ No. = 20 \log 10 Ra (\mu m)$.

TAULUKKO 1. Pinnankarheuden vertailu (Kipinätyöstökoneen käyttöohje, 2002)

VDI 3400	Ra = CLA = AA		Luokka
	µm	pinch	
CH	µm	pinch	ISO 1302
0	0.10	4	N3
1	0.11	4.4	
2	0.12	4.8	
3	0.14	5.6	
4	0.16	6.4	N4
5	0.18	7.2	
6	0.20	8	
7	0.22	8.8	
8	0.25	10	
9	0.28	11.2	
10	0.32	12.8	N5
11	0.35	14	
12	0.40	16	
13	0.45	18	
14	0.50	20	
15	0.56	22.4	
16	0.63	25.2	
17	0.70	28	
18	0.80	32	N6
19	0.90	36	
20	1.00	40	
21	1.12	44.8	
22	1.26	50.4	

VDI 3400	Ra = CLA = AA		Luokka
	µm	pinch	
CH	µm	pinch	ISO 1302
23	1.40	56	N7
24	1.62	63	
25	1.80	72	
26	2.00	80	
27	2.2	88	
28	2.5	100	
29	2.8	112	N8
30	3.2	125	
31	3.5	140	
32	4.0	160	
33	4.5	180	
34	5.0	200	
35	5.6	224	N9
36	6.3	250	
37	7	280	
38	8	320	
39	9	360	
40	10	400	
41	11.2	448	N10
42	12.6	500	
43	14	560	
44	16	640	
45	18	760	

Työstönopeudet kipinätyöstössä ovat suhteellisen hitaita. Kipinöiden energiasta riippuen materiaalin poiston määrä vaihtelee yhdestä, useaan tuhanteen kuutiomillimetriin minuutissa.

3.3.1 Elektrodi

Elektrodi ei saa vastustaa liikaa sähköä kulkua, joten sen on oltava hyvin sähköä johtavaa ainetta. Toisaalta monimutkaisia muotoja valmistettaessa elektrodiaineen tulee olla hyvin lastuttavaa. Elektrodit ovat yleensä kuparia tai grafiittia. Elektrodi tekee työkappaleeseen ikään kuin oman kuvansa. Jotta jälki olisi oikean mittainen, on elektrodin oltava kipinäväilyksen verran pienempi. (Maaranen 2004, 322.)

Elektrodi kuluu työstön aikana, sen kulumista hallitaan säätämällä työstöparametreja. Ihannetapauksessa elektrodi ei kulu juuri lainkaan. Yleensä kipinöinnit suunnitellaan elektrodin kulumisen huomioiden. Ne valmistetaan alimittaisiksi ja tätä alimittaa kutsutaan yleisesti kipinäväilyksi ja se vaihtelee ollen yleensä 0,1 ja 0,3 mm välillä. Mittatarkkoja muotoja kipinöitäessä joudutaan usein valmistamaan kaksi, joskus jopa kolmekin elektrodia, rouhinta-, väliviimeistely- ja viimeistelyelektrodi. Usein joudutaan valitsemaan kompromissi suuren

aineenpoiston ja pienen kulumisen sekä hyvän pinnanlaadun ja suuren kulumisen välillä. Nämä vaikuttavat valittavan kipinävälin suuruuteen sekä valmistettavien elektrodien määrään.

Joissakin tapauksissa kipinöitävä muoto voi olla niin monimutkainen, että on järkevää jakaa muoto useampaan elektrodiin, ei vain kipinöinnin mahdollistamiseksi, vaan myös elektrodien valmistamisen helpottamiseksi.

Yleisimmät elektrodimateriaalit ovat kupari-, grafiitti- sekä erilaiset wolframiseokset. Suurikokoiset elektrodit valmistetaan yleensä grafiitista helpon työstettävyytensä sekä edullisemman hintansa vuoksi. Lisäksi grafiitti kestää suuremman virtamäärän neliösenttiä kohden kuin muut elektrodimateriaalit.

3.3.2 Kipinätyöstö-öljy

Kipinätyöstö-öljy on mineraalipohjainen ja viskositeetiltaan hyvin pieni, melkein kuin vesi. Öljyn laatu ja puhtaus ovat tärkeitä kipinöitäessä mittatarkkoja ja viimeistelyjä pintoja. Öljyn puhtaudesta pitävät huolen suodattimet, joiden läpi työstössä likaantunut öljy kierrätetään. Suuresta öljymäärästä johtuen, 200–400 litraa/kone, on uppokipinätyöstökone myös jonkin asteinen paloriski. Useimmissa koneissa onkin asennettuna automaattinen sammutusjärjestelmä tulipalon varalta.

Yleensä uppokipinöinnissä käytetään öljyä ja lankasahauksessa vettä. Kipinätyöstössä muodostuu vetyä, jonka muodostuminen on suurempaa uppokipinätyöstössä kuin lankasahauksessa, yleensä suuremman kipinöivän pinta-alan takia. Vety aiheuttaa räjähdysvaaran kerääntyessään koneistettavan kappaleen reikiin ja onkaloihin. Kipinätyöstökoneita on jopa vaurioitunut räjähdysten seurauksena.

Huuteluneste poistaa virratessaan työstöjätteen ja samalla jäähdyttää työstökohtaa. Neste on oltava sellaista, ettei se suoraan johda sähköä, mutta auttaa kuitenkin kipinän syntymisessä. (Maaranen 2004, 322.)

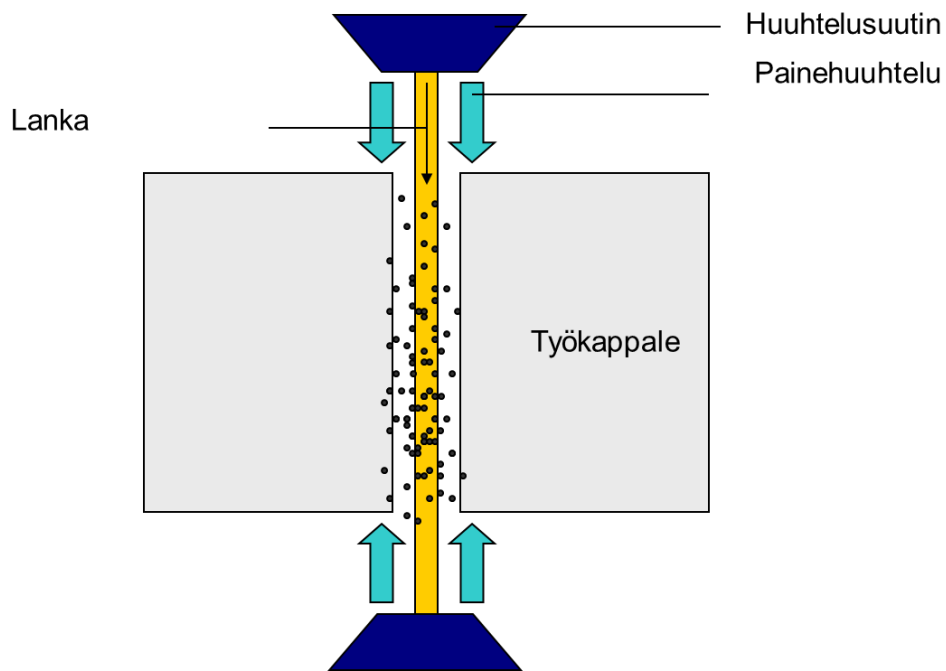
3.4 Lankakipinätyöstö

Lankakipinätyöstökoneessa WEDM toinen elektrodeista on kappale, jota työstetään ja toinen on kahden langanohjaimen välissä pidettävä liikkuva metallinen lanka, joka leikkaa työkappaletta ohjelmoitua rataa pitkin. Tätä valmistusmenetelmää käytetään erityisesti valmistettaessa lävistys- ja pursotustyökaluja. Lankakipinätyöstötekniikka mahdollistaa paksuudeltaan muutamasta millimetrin sadasosasta useisiin satoihin millimetreihin vaihtelevien metallisten kappaleiden työstön. Se sallii monimutkaisten profiilien leikkauksen erittäin suurella muutaman mikronin luokkaa olevalla tarkkuudella. Leikkaus tehdään aina koko kappaleen läpi ja leikkaaminen aloitetaan joko kappaleen ulkopuolelta tai siten, että kappaleeseen porataan aloitusreikä.

Työstöalueella jokainen kipinä tekee kraatterin sekä työkappaleeseen että lankaan. Lanka kuluu työstön aikana ja kulumisen korvataan kierrättämällä koko ajan uutta lankaa kelalta. Lankaa voidaan myös kallistaa, mikä mahdollistaa moniakselisen koneistuksen. Tuolloin voidaan tehdä päästöjä kappaleisiin tai ajaa eri muodot kappaleen pinnalle ja pohjalle. Langan ja työkappaleen välillä ei ole koskaan mekaanista kosketusta. Langan materiaali on yleisimmin seostettua kuparia tai messinkiä ja sen halkaisija on välillä 0,02 ja 0,3 mm.

Langan ja työkappaleen välissä oleva kipinäväli täytetään deionisoidulla vedellä. Se saadaan aikaan joko saman keskeisellä huuhtelulla, tai upottamalla työstökappale koko työstöalueeltaan veteen.

Kuvassa 5 on yksinkertaistettu kuvio lankakipinätyöstön toimintaperiaatteesta.



KUVA 5. Lankakipinätyöstön periaate (Tammisalo 27.2.2012, sähköpostiviesti)

3.5 Kipinäpora

Hieman harvinaisempi kipinätyöstömenetelmä. Kone on ikään kuin sähköinen porakone, jonka pyörivän poran tilalla on kuparielektrodiputki. Koska kyseessä on täysin sähköinen työstötapa, elektrodin avulla voidaan kipinöidä reikiä myös karkaistuihin kappaleisiin.

Yleensä kipinäporaa käytetään lankakipinätyöstökoneen apukoneena. Sillä porataan alkureikiä karkaistuihin lankasahattaviin kappaleisiin.

4 TOTEUTUS

4.1 Uppokipinätyöstökoneen käyttöönotto

Syksyllä 2011 aloitettiin Charmilles Roboform 400 -uppokipinätyöstökoneen käyttöönotto. Koska uppokipinätyöstötekniikka oli työstömenetelmänä yrityksessä uutta, aloitettiin käyttöönotto kaksivaiheisella koulutusjaksolla. Ensimmäisen kahden päivän mittaisen käyttökoulutuksen piti Oulun Aikuiskoulutuskeskus Oy:n kouluttaja, toisen syventävän kaksipäiväisen koulutuksen piti Charmilles kipinäkoneiden maahantuojan Tamspark Oy:n kouluttaja.

Koulutus aloitettiin tutustumalla koneen rakenteeseen, huoltoon, käyttöön ja sen erikoispiirteisiin. Koneen rakenne on kuten 3-akselisessa työstökeskuksessa, joten koneen peruskäytön oppiminen kokeneelta CNC-koneistajalta vei vain noin päivän.

Eniten kipinätyöstökone poikkeaa muista CNC-ohjatuista työstökoneista ohjelmoinniltaan ja työstötavaltaan. Ohjelmoitaessa on huomioitava useita eri muuttujia, jotka vaikuttavat ohjelman muotoon ja sisältöön. Tämän vuoksi ohjelmointikoulutus ei koostunut pelkästään ohjelmakoodin opiskelusta, vaan merkittävä osa siitä ajasta käytettiin tutustumalla erilaisiin kipinätyöstömenetelmiin ja niiden erityispiirteisiin. Koska ohjelma sisältää sekä koneen liiketietoja että itse kipinätyöstöön vaikuttavia tietoja, ei konetta voi ohjelmoida ymmärtämättä kipinätyöstön parametreja ja niiden vaikutusta koneistettavaan tuotteeseen.

Taulukossa 2 on esimerkkiohjelma. Siinä määritellään mm. käytettävä elektrodimateriaali, työstettävä materiaali, huuhtelutapa, koneistuksen aloituskorkeus, koneistussyvyys, työstötapa, kipinäväli, saavutettava pinnankarheus sekä se, onko kyseessä aggressiivinen vai varovainen työstö. Kaksi viimeistä mainittua asiaa vaikuttavat merkittävästi elektrodin kulumiseen.

TAULUKKO 2. Ohjelmaesimerkki

```
1:PN/PIENI ELKKU 1 VAIHE
2:TECHNO/F,SCUAC
3:FLUSH/EL,3,LA,1,PA,1
L1=-41.729
4:FROM/X,0,Y,0,Z,5
AUXF/26
5:DOWN/L,L1,H,-.35,E,341
ORB/L,L1,H,-0.3,E,341
6:ORB/L,L1,H,-0.24,E,321
7:ORB/L,L1,H,-0.175,E,301
8:ORB/L,L1,H,-0.130,E,281
9:ORB/L,L1,H,-0.085,E,271,RET
FLUSH/EL,1,LA,1,PA,1
13:END
```

Kipinätyöstö poikkeaa menetelmänä perinteisestä lastuavasta työstöstä merkittävästi. Mekaanisten työstövoimien puuttuminen kipinätyöstön aikana mahdollistaa hyvinkin pienten elektrodien käytön ilman, että tarvitsee pelätä sen tuhoutumista

Koska kipinätyöstössä ei esiinny suuruudeltaan sellaisia työstövoimia kuin lastuavassa työstössä, ei myöskään työkalujen eikä työkappaleiden kiinnityksen tarvitse olla niin massiivisia kuin perinteisillä työstötavoilla. Käyttöönottokoulutuksessa tutustuimme erilaisiin kiinnitystapoihin ja –järjestelmiin. Kipinätyöstökoneisiin on olemassa useita erilaisia kiinnitysjärjestelmiä mitkä mahdollistavat nopeat ja tarkat elektrodien ja kappaleiden vaihdot, niiden käyttöönottoa rajoittaa lähinnä niiden korkea hinta. Nyt käyttöön otettuun koneeseen oli valittu Erowan valmistama elektrodinpidinsarja, missä on tarvittavat peruskiinnittimet erimuotoisten elektrodien kiinnittämiseen sekä valmistuksen että käytön aikana.

Työstettävä muoto vaikutta myös valittavaan huuhtelutapaan. Yleensä elektrodin huuhtelutapa valitaan jo elektrodin suunnitteluvaiheessa. Joissakin tapauksissa on kipinätyöstön kannalta välttämätöntä koneistaa tarvittavat huuhtelukanavat käytettävään elektrodiin.

Yllä mainittujen asioiden lisäksi käytiin läpi työstökoneen työstöarvotaulukoita, jotta ymmärrettiin, mikä vaikutus työstettävän kappaleen vaaditulla pinnankarheudella ja elektrodin pinta-alalla on työstökoneen työstöparametrien valinnassa.

Käyttöönotto vaihe jatkui vielä useita päiviä koulutuksen päättymisenkin jälkeen. Poikkeavan koneistustavan vuoksi, tarvitsivat koneistajat itsenäistä opiskelua koneen parissa sisäistääkseen uudet asiat.

Tuotannollisten tarpeiden vuoksi aloitettiin ensimmäisten tuotantokappaleiden koneistaminen jo käyttöönotto vaiheen aikana. Tilanne oli sangen haastava, sillä kipinätyöstettävän kappaleen arvo oli useita tuhansia euroja. Riski susikappaleen valmistamisesta työstökoneen väärän käytön taikka ohjelmointivirheen seurauksena oli suuri, siitä syntyvät tuotannolliset menetykset olisivat huomattavia.

4.2 Uppokipinätyöstön kehittäminen

Käyttöönotto vaiheen loppupuoliskolla aloitettu tuotanto osoitti oman haasteellisuuksensa. Tuotanto käynnistyi yllättävänkin mukavasti, mutta heti alkuvaiheessa ilmeni joitakin kehityskohteita, joita ryhdyttiin tutkimaan tuottavuuden ja käyttöasteen parantamiseksi.

Kehittämisen lähtökohtana oli saavuttaa uppokipinätyöstökoneella riittävä työstönopeus, jotta sillä ehdittäisiin kipinöimään kaikki ne kappaleet mitkä, lankasahauksen jälkeen vaativat uppokipinöintiä, vähintäänkin siinä tahdissa, kuin niitä lankasahalta valmistuu. Näin vältettäisiin alihankinnan tarve ja siitä syntyvät ylimääräiset kustannukset ja viivästykset.

Työstettävänä oli tuote, joita valmistui lankasahalta kaksi viikossa. Ensimmäisten kipinätyöstettyjen kappaleiden työstöaika asetusaikoineen oli yli 30 tuntia, eli noin neljä työpäivää. Se oli kaukana asetetusta tuotantotavoitteesta ja huoli toimituksien myöhästymisistä oli suuri.

Seuraavaksi tutkittiin eri työvaiheisiin kulunutta aikaa ja sen havaittiin koostuvan useasta eri tekijästä. Merkittävin osa noin 30 tuntia muodostui kipinätyöstöstä ja loput erilaisista asetusajoista, kuten kappaleen kiinnittämisestä sekä elektrodien vaihdoista. Ohjelmointiin käytetty aika oli niin lyhyt, ettei sen katsottu sanottavasti vaikuttavan kokonaisuikaan.

Koska kipinäointiaika oli huomattavan pitkä, se päätettiin ottaa tarkasteltavaksi ja selvittää, miksi aikaa kuluu niin paljon. Tutkittiin käytettyjä elektrodeja ja työstöohjelmaa. Elektrodit olivat kuluneet yllättävän paljon ja työstöaikaa oli kulunut huomattavasti arvioitua enemmän. Tuotetta oli aiemmin kipinätyöstetty alihankintana muutamia kappaleita, joten oli olemassa arvio työhön kuluvasta ajasta.

Tarkasteltavaksi otettiin myös työstöohjelmat, joita tuolloin alkuvaiheessa oli neljä. Kaksi rouhinta- ja viimeistelyohjelmaa. Päätettiin tutkia rouhintaohjelmat ja niiden käyttämät rouhinta-ajat. Vaikutti, että rouhintaan käytettiin huomattavan paljon aikaa. Tämän seurauksena aloitettiin rouhintaohjelmien työstöparametrien tutkiminen. Tutkittiin elektrodin pohjan pinta-alaa, sen muotoa ja määrää sekä käytössä olevaa kipinäväliä, jolloin huomattiin työstöarvotaulukon antavan mahdollisuuden nostaa rouhinta-arvoja. Rouhintaan valittu virtamäärä oli liian pieni ja tästä johtui pitkä rouhinta-aika.

Rouhintatehon nostaminen käytettävää virtamäärää nostamalla sai aikaan toivotun tuloksen ja kipinäointiaika lyheni noin 26 tuntiin. Työstöaika lyheni kuten toivottiin, mutta elektrodien kuluminen oli edelleen huomattavan voimakasta. Päätettiin tutkia syytä elektrodien voimakkaaseen kulumiseen myöhemmin ja jatkaa tuotantokappaleiden työstämistä. Senhetkisen tuotannon tarve ei antanut tuolloin mahdollisuutta tehdä erillisiä koepolttoja parempien työstöarvojen löytämiseksi.

Pienellä työstöparametrien muutoksella saavutettiin tyydyttävä työstöajan väheneminen, siitä voitiin päätellä, että koepolttojen avulla saavutettaisiin merkittäviä säästöjä työstöajassa.

Noin kahden viikon tuotantajakson jälkeen oli mahdollista suorittaa koepolttoja parempien työstöarvojen saavuttamiseksi. Tuolloin tarkasteltiin sekä työstönopeutta että elektrodin

kulumista. Työstöarvojen muutoksilla saavutettiin säästöä työstöajoissa, mutta elektrodin kuluminen oli vielä sängen huomattava ongelma. Kipinöitävässä tuotteessa oli neljä muotoa, joiden koneistamiseen tarvittiin neljä rouhinta- ja kaksi viimeistelyelektrodia, joista rouhintaelektrodit käytännössä tuhoutuivat käyttökelvottomiksi työstön aikana.

Kipinöitäville poteroille laadittiin uudet rouhintaohjelmat, joilla pyrittiin nopeuden lisäksi parempaan elektrodin kulumisen hallintaan. Valittiin vähemmän aggressiiviset rouhinta-arvot ja nostettiin työstössä käytettävän virran määrää. Virran määrän nostoa rajoitti elektrodien 0,3 mm kipinäväli. Mikäli olisi haluttu käyttää rouhinnassa suurempaa virta-arvoa, jonka seurauksena rouhintaeho olisi noussut, olisi jouduttu valmistamaan kokonaan uudet elektrodit. Elektrodien kipinäväli säilytettiin ennallaan. Lopputuloksena parin kokeilun jälkeen oli työstöaika nopeutunut sekä elektrodin kuluminen pienentynyt.

Tuotantokappaleiden koneistamista jatkettiin ja ensimmäisen kappaleen valmistuttua varmistuivat tehdyt työstöohjelmien muutokset oikeiksi. Kipinöintiä lyheni noin 23 tuntiin ja rouhintaelektrodien kuluminen väheni huomattavasti. Vaikka oli saavutettu edistystä sekä työstöajan lyhenemisessä että elektrodien kulumisen vähenemisessä, ei voitu vielä olla tyytyväisiä saavutettuun, vaan jatkettiin työstöparametrien tutkimista. Rouhintaelektrodien kuluminen oli yhä poistettuun ainemäärään nähden liian suuri.

Seuraavaksi tarkasteltiin kipinöityä muotoa, siihen käytettyjä elektrodeja, työstöön käytettyä aikaa sekä työstöön käytettyjä ohjelmia. Aiemmillä toimenpiteillä oli saavutettu ajan säästöä, mutta ei ollut edistytty merkittävästi elektrodin kulumisen hallinnassa. Tämän vuoksi otettiin tarkasteltavaksi käytetyt työstöohjelmat, kaksi rouhinta- ja kaksi viimeistelyohjelmaa. Pohdittiin, olisiko mahdollisesti ohjelmien perusrakenne virheellinen. Tässä huomattiinkin pieni ristiriita rouhintaohjelman viimeistelyvaiheen ja viimeistelyohjelman rouhintavaiheen välillä. Rouhintaohjelma koostui neljästä eri työstöparametriasetuksesta, joista kaksi viimeistä asetusta viimeistelivät rouhitulle pinnalle tarpeettoman hyvän pinnan karheuden. Viimeistelyohjelma rikkoi jo saavutetun pinnankarheuden aloittaessaan jäännösmateriaalin poiston suuremmilla tehoasetuksilla kuin mitä edellinen ohjelma oli käyttänyt viimeistelyvaiheessa. Ohjelmassa oli eräänlainen turha väliviimeistely mistä ei lopputuloksen kannalta ollut kuin haittaa. Turha

väliviimeistely poistettiin ja rouhintaohjelmalla tehtiin koepoltto. Elektrodirin kuluminen väheni huomattavasti ja työstövaihe nopeutui.

Seuraavan tuotantokappaleen valmistumista odotettiin mielenkiinnolla, samoin siihen käytetyn ajan selviämistä. Aikaa kipinöintiin oli nyt kulut noin 20 tuntia, eli noin 1/3 vähemmän kuin tuotannon aloitusvaiheessa. Ajan säästö oli jo merkittävä tuotannon aikataulussa pysymisen kannalta. Nyt oli mahdollista pysyä suunnitellussa tuotantoaikataulussa ilman työntekijöiden ylityitä, mikä tarkoitti selvää tuotantokustannuksien alenemista. Myös rouhintaelektrodien kuluminen oli selvästi pienentynyt, joten jatkossa pystyttiin rouhimaan urat auki kahdella aiemman neljän elektrodin sijaan. Kustannussäästöä syntyi vähentyneestä elektrodien tarpeesta. Elektrodit valmistettiin itse, joten näillä toimenpiteillä vähennettiin myös työstökeskuksen kuormitusta. Se pystyi nyt käyttämään säästyneen ajan muiden töiden tekemiseen.

Kuvassa 6 on käytettyjä elektrodeja, joissa näkyvä tumma alue on kulunut työstön aikana. Kulumisen määrää pyritään hallitsemaan työstöparametrien avulla.

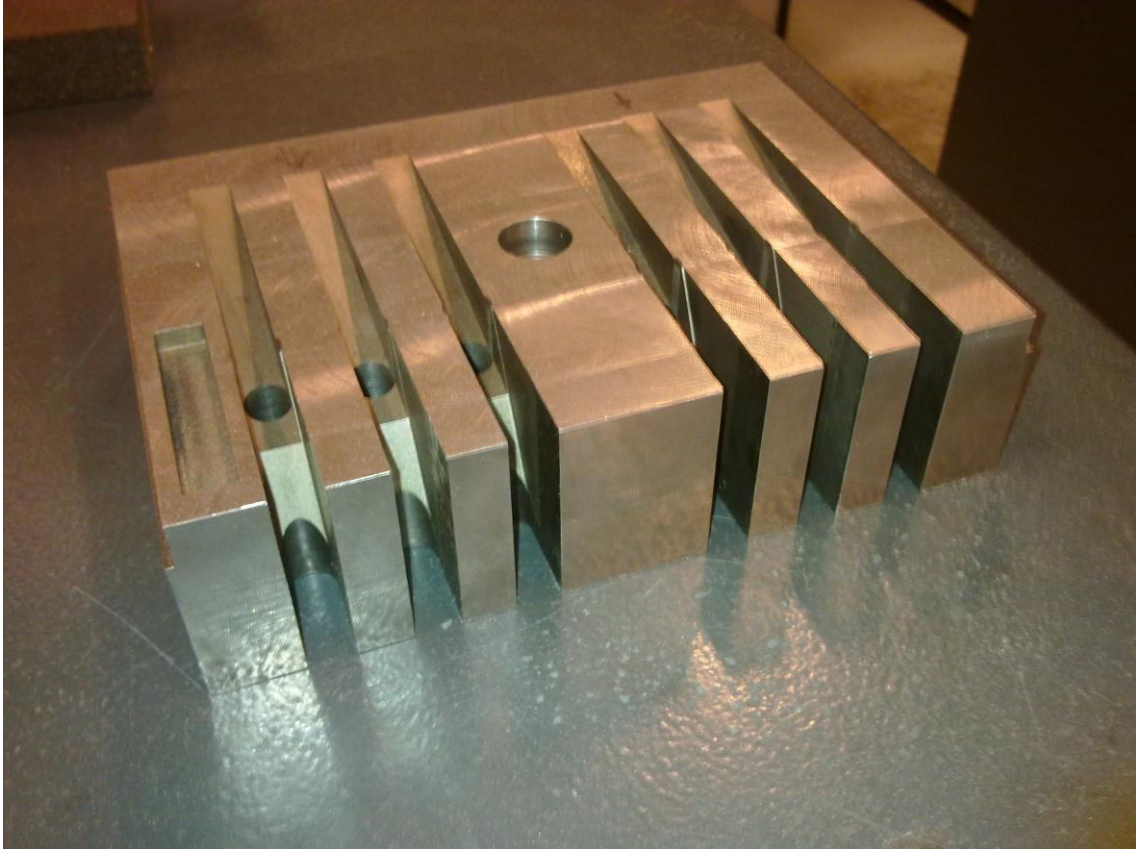


KUVA 6. Käytettyjä elektrodeja

Työvaihe oli edelleen hidas, jälleen oli pohdittava keinoja sen nopeuttamiseksi. Työstöohjelma oli todettu toimivaksi, elektrodin kuluminen oli saatu hallintaan, työstökone toimi luotettavasti ja sen käyttö oli sujuvaa. Seuraavaksi otettiin tarkasteltavaksi työstettävien urien pinnanlaadun. Pinnanlaatuvaatimuksena oli Ra1,6, kipinätyöstöasteikolla se vastaa arvoa 24, sekä urien valmistustoleranssi $\pm 0,1$ mm. Kipinätyöstössä pinnanlaadulla on suuri vaikutus työstöaikaan. Pinnan viimeistelyssä työstöaika saattaa helposti rauhinnan jälkeen kaksinkertaistua, vaikka poistettava ainemäärä olisi pieni. Tämä johtuu pienentyneestä virtamäärästä, kipinänkestosta ja -tehosta.

Asiakkaan kanssa käydyn neuvottelun jälkeen saatiin lupa valmistaa urat pinnanlaadultaan arvoon Ra3,2, joka vastaa kipinäasteikolla arvoa 30. Muutokseen päädyttiin, koska pinnanlaadun muutoksella ei olisi vaikutusta laitteen toimintaan. Tällä muutoksella arveltiin saavutettavan merkittävä ajansäästö ja näin myös kävi. Kipinöintiäika oli pudonnut 16 tuntiin, noin puoleen siitä mitä se oli ollut koneen käyttöönottovaiheessa. Jälleen vanha viisaus kävi toteen, turha tarkkuus on teknistä taitamattomuutta.

Kuvassa 7 näkyvät urien koepoltot tehtiin samaan kappaleeseen tuloksien vertailun helpottamiseksi.



KUVA 7. Koekappaleeseen kipinöityjä testiuria

Tiedossa oli, että ko. tuote pysyisi tuotannossa vielä alkuvuodesta. Tämän vuoksi päätettiin jatkaa kipinätyöstön kehittämistä. Kipinöintiäika oli tyydyttävä, mutta kokonaistyöstöaika ei ollut.

Koko työhön kuluva jaksoaika tutkittiin, se alkaa työn aloittamisesta ja päättyy työn lopettamiseen. Tämä aika sisältää useita eri työvaiheita, kuten siirtelyjä, nostoja, kappaleen asemointia koneeseen, elektrodin kiinnittämistä ja asemointia koneeseen, työstöä, elektrodin vaihtoja ja uudelleen asemointeja, työstetyn pinnan mittaamista, viimeistelytyöstöä, puhdistamista. Apuaikoihin laskettiin kuluvan aikaa noin 3 tuntia.

Yhden kappaleen valmistamiseen käytettiin neljä elektrodia. Niiden vaihtoihin ja asemointeihin mitattiin kuluvan aikaa yhteensä noin tunti, mikä oli selvästi aivan liikaa. Pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja asetusajan pienentämiseksi. Esille nousivat mm. elektrodien pikakiinnittimien valmistaminen sekä poltettavien muotojen yhdistäminen samaan elektrodiin. Päädyttiin yhdistämään kaksi poltettavaa muotoa samaan elektrodiin, minkä vuoksi suunniteltiin ja

valmistettiin uusi yhdistelmäelektrodi. Tämä muutos puolitti elektrodien määrän ja asemointien lukumäärän. Samalla elektrodien vaihtoihin kulunut aika vähintäänkin puolittui. Tässä tapauksessa poltettavien muotojen yhdistäminen vaikeutti jonkin verran elektrodin valmistamista ja aiheutti niiden valmistusajan kasvamisen. Poltettavien muotojen yhdistämisen vaikeus samaan elektrodiin olikin alun perin syynä elektrodien lukumäärään. Kipinöinnillä saavutettua etua pidettiin merkittävämpänä kuin kasvaneita lastuamiskustannuksia.

Kuvan 8 yhdistelmäelektrodilla voitiin polttaa kaksi erilaista muotoa samanaikaisesti.



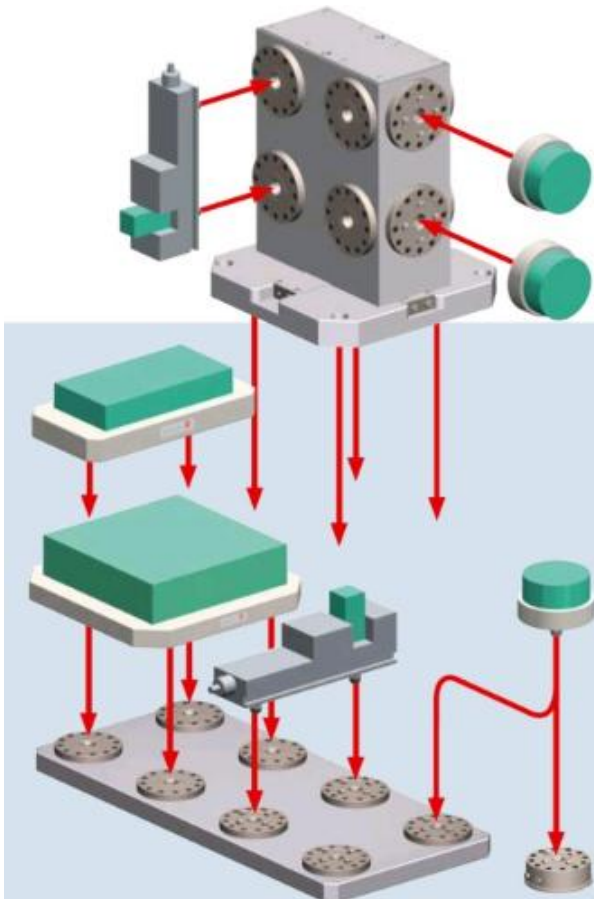
KUVA 8. Yhdistelmäelektrodi

Koepolttojen ja ohjelman optimoinnin jälkeen testattiin uutta elektrodia tuotteeseen ja lopputulos yllätti positiivisuudellaan. Sekä kipinöintiäika että asemointiajat lyhenivät odotettua enemmän kutistaen jaksoajan noin 14 tuntiin, mikä oli noin 20 tuntia vähemmän kuin koneen käyttöönottovaiheessa. Tuolloin päätettiin tyytyä saavutettuun ja keskittyä jatkamaan tuotantoa.

Tuotannon jatkuessa ilmaantui uusi haaste. Valmiiden tuotteiden 3D-mittauksessa oli ilmennyt mittavaihteluja urien sijainneissa. Poltettujen urien mittatarkkuus oli annettujen valmistustoleranssien mukainen, mutta sijaintitoleranssin kanssa oli hieman ongelmia. Toleranssialuetta ei ylitetty ja urat olivat vaatimuksen mukaisia, mutta jatkuva vaihtelu niiden sijainnissa hieman askarrutti. Alettiin tutkia, mistä mittavaihtelut tulevat. Elektroodin kiinnitys ja kiinnittimen rakenne tarkastettiin sekä työstökoneen mittaustyökierron toistotarkkuus tutkittiin löytämättä syytä. Tämän jälkeen tutkittiin myös kappaleen ja elektroodin asemointi. Elektrodi paikoitettiin koskettamalla työstettävän kappaleen kylkeä. Paikka mistä mitattiin, ei ollut valmistustoleranssiltaan riittävän tarkka. Tämä oli syynä poltettujen urien sijainnin vaihteluun. Mittauspisteeksi vaihdettiin tarkempi lankasahalla valmistettu pinta ja ongelma poistui. Kyseinen muutos kirjattiin työohjeisiin laadun varmistamiseksi.

Tuolloin oli saavutettu kipinätyöstökoneen käytössä riittävän taitotaso, jotta voitiin aloittaa uusien töiden työstö. Tämä mahdollistui, koska koneistettavana olevan tuotteen työstöaika oli lyhentynyt kahteen työpäivään. Tämän seurauksena koneella pystyttiin nyt koneistamaan muita töitä keskimäärin yhtenä päivänä viikossa.

Uppokipinäkoneen käyttöasteen kohottaminen on helpointa toimivan elektrodin- ja kappaleenkiinnitysjärjestelmän avulla (kuva 10). Niiden avulla voidaan koneen käyttöaste helposti kaksinkertaistaa hyödyntämällä yöaikaan miehittämätöntä ajoa.



KUVA 10. Kappaleen kiinnitysjärjestelmä (Erowa 2012, hakupäivä 10.9.2012)

Mikäli pinnanlaatuvaatimukset kasvavat huomattavasti, hankaloituu työn tekeminen nykyisellä kipinätyöstökoneella. Nykyisellä koneella pystytään saavuttamaan järkevästi pinnankarheusarvo Ra0,8. Mikäli pyritään parempaan pinnanlaatuun, kasvaa työstöaika moninkertaiseksi. Uudet viimeistelyyn kehitetyt kipinätyöstökoneet pystyvät parhaimmillaan saavuttamaan Ra0,1 arvon. Niitä käytetään työvälineiteollisuudessa korvaamaan kallista ja aikaa vievää käsinkiihottamista.

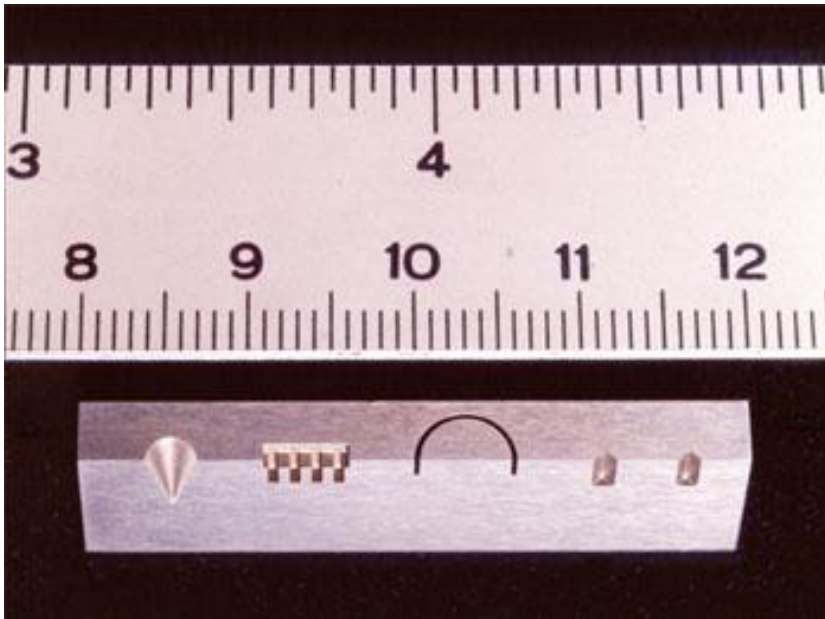
Kuvassa 11 näkyy erilaisia kipinätyöstettyjä pintoja. Vasemman puoleisena on pinnankarheusarvo Ra0,1.



KUVA 11. Kipinätyöstettyjä pintoja (Hautamäki 9.4.2012, sähköpostiviesti)

Kipinätyöstökoneita kehitetään myös hyvin pienien osien valmistamiseen. Nämä mikroteknologian kipinätyöstökoneet ovat vielä kalliita ja harvinaisia. Näiden koneiden tarve tulee lähivuosina huomattavasti lisääntymään yhä pienenevien teknisten laitteiden valmistamisen mahdollistamiseksi. Mekaanisten työstövoimien puute kipinöinnin aikana mahdollistaa hyvinkin pienten elektrodien käytön, ilman että tarvitsee pelätä sen tuhoutumista.

Seuraavaksi on esimerkkejä mikroteknologialla kipinätyöstetyistä muodoista. Kuvassa 12 näkyy selvästi työstettävien muotojen pienuus.



KUVA 12. Mikroteknologialla kipinätyöstettyjä pintoja (Hautamäki 9.4.2012, sähköpostiviesti)

6 YHTEENVETO

Työn aiheena oli uppokipinöinnin käyttöönotto ja sen kehittäminen osaksi konepajan jokapäiväistä tuotantoa. Tämä onnistuikin hyvin, vaikka sekä käyttöönotto- että kehittämisvaiheessa riitti haasteita. Uuden teknologian käyttöönotto on aina haaste yritykselle ja sen työntekijöille.

Käyttöönottovaiheen koulutuksilla oli suuri merkitys tuotannon pikaisen aloittamisen onnistumiselle. Ilman koulutuksia tuotannon aloittaminen ja käyttöönoton kehittäminen olisivat huomattavasti viivästyneet ja pitkittyneet. Alkuvaiheen koulutuksiin sijoitetut rahat palautuivat yritykselle nopeasti korkojen kera onnistuneen ja nopean käyttöönoton seurauksena.

Asetetut tavoitteet saavutettiin, minkä seurauksena työn tuottavuus kohosi, oman työn osuus kasvoi ja työn ohjattavuus parani. Alihankinnan vähenemisen seurauksena myös laadunseuranta helpottui. Säästöä saavutettiin myös alentuneina rahtikustannuksina.

Uppokipinöinnin käyttöönotto laajensi myös konepajan tarjontaa. Sen avulla voidaan nyt koneistaa sellaisia tuotteita, joita aiemmin oli mahdoton tai lähes mahdoton koneistaa lastuamalla. Se antaa nyt myös suunnittelijoille mahdollisuuden toteuttaa uusia erikoisia teknisiä ratkaisuja.

Uppokipinätyöstökoneen hankinta osaksi alihankintakonepajan normaalia tuotantoa on ollut rohkea päätös. Se on kuitenkin osoittautunut hyvinkin järkeväksi hankinnaksi. Kone yleensä mielletään kuuluvaksi yrityksiin, joissa valmistetaan muovimuotteja ja lävistintyökaluja karkaistusta materiaaleista. Tämän ajatusmallin saa kuitenkin nykypäivänä heittää romukoppaan. Uskon vahvasti siihen, että uppokipinöinti yleistyy lähivuosina osana muidenkin konepajojen tarjontaa.

LÄHDELUETTELO

Ansaharju, T. & Maaranen, K. 2003. Koneistus. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Erowa 2012. Hakupäivä 10.9.2012
<http://pdf.directindustry.com/pdf/erowa-24958.html>.

Hautamäki, M. OAKK Oy. 2012. Sähköpostiviesti 9.4.2012.

Kipinätyöstökoneen käyttöohje, Charmilles Technologies 2002.

Maaranen, K. 2004. Koneistustekniikat. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Mectalent Oy. 2012. Yritysesite. Hakupäivä 12.3 2012.
<http://www.mectalent.fi>.

Tammisalo, J. 2012. Lankasahauksen mahdollisuudet tuotantokappaleissa. Kone Kuriiri 3, 8.

Tammisalo, J. Tamspark Oy. 2012. Sähköpostiviesti 27.2.2012.

Uddeholm Oy. 2012. Työkaluterästen kipinätyöstö. Hakupäivä 15.3.2012.
http://www.uddeholm.fi/finnish/files/tyokaluterasten_kipinatyosto.pdf.