

LUT-YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Jani Mäki-Mantila

**OHUTLEVYTUOTTEIDEN VALMISTUSMENETELMIEN KEHITTÄMINEN
ILMANVAIHTOLAITETEOLLISUUDESSA**

Päivitetty: 10.10.2019

Tarkastaja: Professori Juha Varis

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energijärjestelmät
LUT Kone

Jani Mäki-Mantila

Ohutlevy tuotteiden valmistusmenetelmien kehittäminen ilmanvaihtolaiteteollisuudessa

Diplomityö

2000

123 sivua, 44 kuvaa, 11 taulukkoa ja 6 liitettä

Tarkastaja: Professori Juha Varis

Hakusanat: ohutlevyn muovaus, ohutlevyn leikkaus, ohutlevyn liittäminen, tuotannon kehittäminen, ohutlevyteollisuus, valmistusmenetelmät

Diplomityön tarkoituksena oli selvittää ohutlevytuotteiden valmistustekniikassa tapahtunutta kehitystä. Tarkastelu on rajattu koskemaan kohdeyrityksenä olleen ilmanvaihdon osia valmistavan yrityksen tuotteisiin soveltuviin valmistusmenetelmiin.

Työssä käsitellään ohutlevytuotteiden muovauksessa, taivuttamisessa, leikkaamisessa ja liittämässä käytettävien tekniikoiden kehittymistä. Muovauksessa mielenkiinto kohdistui impulssimuovausmenetelmiin sekä syvävedossa tapahtuneeseen menetelmä-, materiaali- ja laitekehitykseen.

Taivuttamismenetelmistä on käsitelty taivutuskone, taivutusautomaatti ja robotisoitu särmäyspuristin. Leikkausmenetelmistä käsiteltiin hienoleikkausta, vesisuihkuleikkausta ja ohutlevyn termisiä leikkausmenetelmiä. Myös laseryhdistelmälevytyökeskuksen valmistusteknistä soveltuvuutta tutkittiin. Leikkausmenetelmien nopeuksia eri materiaaleilla ja materiaalipaksuuksilla vertailtiin. Liittämisestä käsiteltiin ohutlevylle sopivia menetelmiä, kuten liimausta ja teippausta, eri hitsaus- ja juottomenetelmiä sekä mekaanista liittämistä.

Maalattun ja pinnoitetun levyn käyttöä ja kustannusrakennetta käsiteltiin. Ohutlevytuotteiden taivuttamisen suunnitteluun, muovauksen simulointiin ja tehtaan simulointiin liittyvät ohjelmistot olivat varsin mielenkiintoisia ja niiden käytöllä on mahdollista säästää kustannuksia ohutlevytuotteita valmistavassa teollisuudessa.

Näkemyksen laajentamiseksi tehtiin yritysvierailuja ohutlevyalan yrityksiin kotimaassa ja ulkomailla. Yritysvierailuiden avulla oli mahdollista muodostaa käsitys ohutlevyteollisuuden tilasta ja valmistusmenetelmistä, sekä hakea ideoita oman tuotantotekniikan kehittämiseen.

Menetelmien soveltuvuutta ilmanvaihtotuotteiden valmistamiseen arvioitiin työn käytännön osassa. Käytännön osan laajin osuus käsittelee ruostumattomasta teräksestä valmistettavien tuotteiden valmistettavuuden kehittämistä. Myös voiteluainetekniikkaa, puristusliittämistä, kaarijuottoa ja laseryhdistelmälevytyökeskuksen soveltuvuutta on käsitelty käytännön osassa.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Jani Mäki-Mantila

Development of Production Methods in a Ventilation Sheet Metal Industry

Master's thesis

2000

123 pages, 44 figures, 11 tables and 6 appendices

Examiner: Professor Juha Varis

Keywords: cold forming of sheet metal, cutting of sheet metal, joining of sheet metal, production enhancement, sheet metal industry, manufacturing methods

The object of this master's thesis "Development of Production Methods in a Ventilation Sheet Metal Industry" has been to research recent development in sheet metal production technology. Research was focused on ventilation industry.

Techniques of sheet metal forming, bending, cutting and joining were included. In forming interest was focused on impulse forming and developments achieved on deep drawing methods, materials and equipment's.

Bending chapter was focused on folding machine, automatic bending system and robotized edging. Cutting chapter was focused on fine blanking, water jet cutting and thermic methods of cutting sheet metal. Turret punch press / laser cutting combination unit manufacturing applicability was examined. Joining chapter was focused on sheet metal applicable methods, such as adhesive bonding, adhesive taping, welding and soldering methods and mechanical joining.

Costs and use of prepainted and precoated sheet metal were examined. Programs for bending planning, forming simulation and factory simulation were found interesting. Use of those programs might lower costs.

To expand view and knowledge about sheet metal industry benchmarking visits to other companies were made domestic and abroad. Those visits made possible to have overall view on the sheet metal industry and pick up new ideas for our production.

Applicability of production methods for sheet metal products was examined in a practical part of work. One major case was to improve manufacturability of stainless-steel products. Also, lubricants and lubrication technology, clinching, arc soldering and turret punch press / laser cutting combination unit were examined.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty ABB Fläkt Oy Divisioona Lapinleimulla Toijalassa.

Kiitän tuotantopäällikkö Timo Satuvuorta työn ohjaamisesta. Kiitokset myös professori Juha Varikselle diplomityön tarkastamisesta ja nuorekkaasta suhtautumisesta.

Kiitokset divisioona Lapinleimun henkilökunnalle avusta ja neuvoista työtä kohtaan.

Tekijän lisäys vuonna 2019: Työ on tehty vuonna 2000 ja palautettu arvosteltavaksi vuonna 2019.

Jani Mäki-Mantila

SISÄLLYSLUETTELO:

1 JOHDANTO	1
1.1 YRITYSESITTELY	1
1.1.1 ABB	1
1.1.2 ABB Fläkt Oy	1
1.1.3 Divisioona Lapinleimu	2
1.2 AIHEVALINTA	3
1.3 TYÖN TAVOITTEET JA RAJAUS	3
1.4 KÄYTETYT TUTKIMUS- JA KEHITYSMENETELMÄT	4
1.4.1 Benchmarking	4
2 LEVYTUOTETUOTANNON OMINAISPIIRTEITÄ	6
3 OHUTLEVYJEN MUOVAUS	7
3.1 NESTEMUOVAUSMENETELMÄT.....	7
3.1.1 Suurpainemuovaus	7
3.1.2 Hydromekaaninen syväveto.....	10
3.1.3 Aquadraw-menetelmä.....	12
3.1.4 Hydroform-menetelmä	12
3.1.5 Fluidform-menetelmä.....	12
3.1.6 Flexform-menetelmä.....	13
3.2 IMPULSSIMUOVAUSMENETELMÄT	13
3.2.1 Sähköimpulssimuovaus.....	14
3.2.2 Magneetti-impulssimuovaus.....	16
3.3 VIERINTÄMUOVAUS	18
3.4 PAINOSORVAUS.....	20
3.5 KUULAPUHALLUSMUOVAUS.....	21
3.6 LASERMUOVAUS.....	21
3.7. SYVÄVETO.....	22
3.7.1 Pidätinpaineen säätö segmentteittäin.....	23
3.7.2 Syvävedon pidätyspaineen mittasäätö.....	23
3.7.3 Rätätälöidyt aihiot syvävedossa	25
3.8 RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN SYVÄVETO.....	26
3.8.1 Ferrittisen ruostumattoman teräksen ominaisuudet.....	26
3.8.2 Austeniittisen ruostumattoman teräksen ominaisuudet	26
3.8.3 Ruostumattomien terästen toimitustilat	28
3.8.4 Ruostumattoman teräksen syvävedettävyyden parantaminen.....	29

3.9 KITKA LEVYNMUOVAUKSESSA	30
3.9.1 Muovattavan levyn pinnoitus muovikalvolla	31
3.9.2 Työkalumateriaalit ja työkalujen pinnoitus	31
3.9.3 Voiteluaineet	33
3.9.4 Voiteluaineen levitys	33
4 OHUTLEVYJEN TAIVUTTAMINEN	34
4.1 TAIVUTUSAUTOMAATTI	34
4.2 TAIVUTUSKONE	35
4.3 ROBOTISOITU SÄRMÄYSPURISTIN	37
5 OHUTLEVYJEN LEIKKAUS	39
5.1 HIENOLEIKKAUS	39
5.2 VESISUIHKULEIKKAUS	41
5.3 PLASMALEIKKAUS	44
5.4 HIENOSUIHKUPLASMALEIKKAUS	45
5.5 LASERLEIKKAUS	46
5.6 YHDISTELMÄLEVYTYÖKESKUS	49
5.7 LEIKKAUSMENETELMIEN VERTAILUA	52
6 OHUTLEVYJEN LIITTÄMINEN	53
6.1 LIIMAUS	54
6.2 TEIPPAUS	56
6.3 PURISTUSLIITTÄMINEN	57
6.4 NIITTAUS ILMAN ESIREIKKÄÄ	61
6.4.1 Onttoniittaus	62
6.4.2 Lävistysniittaus	63
6.5 LASERHITSAUS	63
6.6 KAARIJUOTTO	65
6.7 HITSAUSPROSESSIEN TEHOSTAMINEN	67
6.8 ULTRAÄÄNIHITSAUS	68
6.9 YHDELTÄ PUOLELTA TAPAHTUVA LIITTÄMINEN	69
7 PINNOITETUN JA MAALATUN LEVYN KÄYTTÖ	70
8 OHJELMISTOT	73
8.1 SÄRMÄYKSEN JA TAIVUTTAMISEN SIMULOINTI	73
8.2 MUOVAUKSEN SIMULOINTI	74
8.3 TUOTANNON SIMULOINTI	76

9 BENCHMARKING	77
9.1 TULEVAISUUDEN TEHDAS, LAPPEENRANTA.....	78
9.2 HACKMAN METOS OY AB, KERAVA.....	78
9.3 ASKO KODINKONE OY, LAHTI.....	79
9.4 TAMMERNEON HUNGARY KFT., BUDAPEST, UNKARI.....	80
9.5 HELKAMA-FORSTE OY, FORSSA.....	81
9.6 KONE OYJ, HYVINKÄÄ	82
9.7 TAMMERNEON OY, TAMPERE.....	82
9.8 LILLBACKA OY, KAUHAVA JA HÄRMÄ.....	83
9.9 OPA OY, MIKKELI	83
9.10 ABB VENTILATION PRODUCTS AB DIVISION VELODUCT, JÄRNA, RUOTSI	83
9.11 STALA OY, LAHTI	84
10 TUTKIMUKSEN SYVENTÄMINEN.....	85
10.1 KÄYTÖSSÄ OLEVAT VALMISTUSTEKNIIKAT.....	85
10.1.1 Toijala.....	85
10.1.2 Turku	86
10.1.3 Kihniö.....	86
10.2 VALMISTETTAVUUS, TAVOITELTAVAT HYÖDYT	87
10.2.1 Työvaiheiden väheneminen	87
10.2.2 Läpäisyajan lyheneminen	87
10.2.3 Materiaalihukan pieneminen	87
10.2.4 Muovattavuuden paraneminen	88
10.2.5 Ulkonäön paraneminen	88
10.3 ABB FLÄKT OY DIVISIOONA LAPINLEIMUN TUOTTEIDEN VALMISTUSSTRATEGIA ...	88
10.4 TUOTTEIDEN JAKO VALMISTUSTEKNIIKOIDEN MUKAAN JA AJATUKSIA TUOTANNON KEHITTÄMISESTÄ.....	89
10.4.1 Pienet kanavan osat	89
10.4.2 Suuret kanavan osat	90
10.4.3 Sälepelti, palopelti ja raitisilmasäleikkö	91
10.4.4 Venttiilit ja Iris	91
10.4.5 Alumiinisäleiköt.....	92
10.4.6 Kierresaumaputki ja Activent-suutinkanava.....	93
11 CASET	94
11.1 CASE - RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN SYVÄVETO	94
11.1.1 Valmistettava tuote Iris mittaus- ja säätölaite.....	95
11.1.2 Tuotteen valmistusmenetelmät	95
11.1.3 Koemenetelmät.....	97
11.1.4 Koetulokset.....	100

11.1.5 Nollasarjan valmistaminen.....	101
11.1.6 Investointilaskelmat.....	102
11.1.7 Toimenpiteet ennen tuotannon aloittamista	102
11.1.8 Materiaalikustannusten vähentäminen.....	102
11.1.9 Aihiomateriaalin vertailua	105
11.2 CASE - PINNOITETUNLEVYN KÄYTTÖ.....	105
11.3 CASE – VOITELUAINETEKNIikka JA VOITELUAINEETON SYVÄVETO	106
11.4 CASE - PURISTUSLIITTÄMINEN	107
11.5 CASE - KAARIJUOTTO	108
11.6 CASE - LEVYTYÖKESKUS.....	110
12 JOHTOPÄÄTÖKSET	111
13 YHTEENVETO	114

Käytetyt lyhenteet

ASTM	American Society of Testing Materials, Yhdysvaltalainen materiaalintestauslaitos
ATD	Air Terminal Devices; ilmastoinnin päätelaitteet
CAD	Computer Aided Design; tietokoneavusteinen suunnittelu
HST	haponkestävä ruostumaton teräs
JOT	Just On Time, juuri oikeaan tarpeeseen-tuotantofilosofia
MAG	Metal Active Gaswelding; kaasukaarihitsaus aktiivisella suojakaasulla
MIG	Metal Inert Gaswelding; kaasukaarihitsaus inertillä suojakaasulla
Nd:YAG	lasertyyppi
PE	polyeteeni-muovi
PVC	polyvinyylikloridi-muovi
RST	ruostumaton teräs
VHB	Very High Bond, teippityyppi

1 JOHDANTO

1.1 YRITYSESITTELY

1.1.1 ABB

ABB muodostettiin ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin fuusion kautta 1988. Pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. Vuonna 1999 ABB konsernin palveluksessa oli 164 000 työntekijää ja liikevaihto oli 150 mrd. mk. Suomessa toimivan ABB-konsernin liikevaihto oli 7,9 mrd. markkaa ja työntekijöitä oli 9 600.

1.1.2 ABB Fläkt Oy

ABB Fläkt Oy, entinen Suomen Puhallintehtas Oy, on ABB:n teollisuus- ja rakennusjärjestelmät liiketoimintasegmenttiin kuuluva ilmanvaihtoalan yritys. ABB Fläkt kehittää, markkinoi ja valmistaa asiakkaan tarpeisiin sopivia ilmankäsittelyn tuotteita ja palveluja. Päätuoteryhmiä ovat ilmanvaihtopuhaltimet, teollisuuspuhaltimet, ilmankäsittelykoneet, kanavatuotteet ja päätelaitteet. Toimituksissa pyritään nopeuteen ja varmuuteen. Yrityksen tehtaat sijaitsevat Espoossa, Kihniöllä, Toijalassa ja Turussa.

1.1.3 Divisioona Lapinleimu

Divisioona Lapinleimu perustettiin 1996. Silloin kaksi ABB Fläktin tulosityksikköä, tytäryhtiö Lapinleimu Oy ja kanavat-tulosityksikkö, yhdistettiin uudeksi kokonaisuudeksi. Lapinleimu Oy fuusioitiin emoyhtiöön 1997. Yhdistymisen syynä oli kahden asiakaskunnaltaan ja osin teknologialtaan samankaltaisen liiketoiminnan yhdistäminen suuremmaksi ja vahvemmaksi yksiköksi tavoitteena etujen saavuttaminen kaikilla liiketoiminta-alueilla.

Toiminta-ajatuksena on laadukkaan sisäilman aikaansaaminen, ilman kuljettaminen ja sen tehokas jakaminen erilaisiin tilakokonaisuuksiin. Kotimaan markkinoille tarjotaan täydellinen tuotevalikoima oman valmistuksen ja muiden ABB-Yhtiöiden tuotteita.

Divisioona Lapinleimun tuotanto jakaantuu kolmelle paikkakunnalle. Kanavatuotteita valmistetaan Turussa ja Kihniössä. Toijalan tehtaalla valmistetaan ilmastoinnin päätelaitteita. Vuonna 1999 divisioonan liikevaihto oli noin ¼ mrd. mk ja henkilöstöä oli noin 280.

Ilmastoinnin päätelaitteilla, Air Terminal Devices, ATD, tarkoitetaan ilmanvaihtojärjestelmän komponentteja, joiden kautta ilmaa joko tuodaan tai poistetaan huonetilasta. Loppukäyttäjälle päätelaite on näkyvä osa ilmastoinnista. Päätelaitteita ovat tulo- ja poistoventtiilit, ilmanhajottajat, tulo- ja poistoilmasäleiköt ja jäähdytyskattojen komponentit. Myös erilaiset ilmavirran mittaus- ja säätölaitteet, kuten Iris-säätimet ja säätö- ja sulkupellit, kuuluvat päätelaitteisiin. Ilmanvaihtokanavilla, Ducts, kuljetetaan ilmaa ilmankäsittelykoneelta tai puhaltimelta päätelaiteelle.

1.2 AIHEVALINTA

Kohdeyrityksessä on herännyt keskustelua siitä, ovatko tuotantomenetelmät ohutlevyteollisuuden mittakaavassa ajan tasalla ja ovatko ne tehokkaita ja sopivia tuotteille. Olisiko kenties mahdollista valmistaa ohutlevytuotteita edullisemmin, vähemmällä työvaiheilla, lyhyemmällä asetusajoilla, eli ylipäättään tehokkaammin? Tämän takia diplomityötä on lähdetty tekemään, eli selvittämään maailmalla tapahtunutta kehitystä ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmissä ja tarkastelemaan vastaantulevien uusien menetelmien etuja yrityksen valmistamien ohutlevytuotteiden kannalta.

1.3 TYÖN TAVOITTEET JA RAJAUS

Diplomityön tavoitteena on selvittää ohutlevytuotteiden tuotantotekniikassa tapahtunutta kehitystä. Aihe on rajattu ohutlevyjen muovaukseen, taivuttamiseen, leikkaukseen ja liittämiseen, sekä valmiiksi pinnoitetun levyn käyttömahdollisuuksien tutkimiseen. Työssä ei ole tarkoitus käsitellä kaikkia ohutlevyn työstöön liittyviä tekniikoita, vaan siinä on keskitytty ohutlevyteollisuudessa tapahtuneeseen valmistusmenetelmä- ja laitekehitykseen. Yksittäisiä menetelmiä ei ole pyritty esittelemään täydellisesti, vaan kohdeyrityksen kannalta tarpeellisia asioita esiin tuomalla.

Käytännön osassa suoritetaan tarkastelu tuoteryhmittäin. Valmistusmenetelmien soveltuvuutta eri tuoteryhmille arvioidaan ja soveltuvien menetelmien kannattavuutta tarkastellaan.

Lisäksi käytännön osassa on muutama yksityiskohtaisempi tarkastelu mielenkiintoisimmiksi havaituista valmistuksen kehittämisasioista. Näiden asioiden parissa on tehty käytännön kehitystyötä ja kokeita.

1.4 KÄYTETYT TUTKIMUS- JA KEHITYSMENETELMÄT

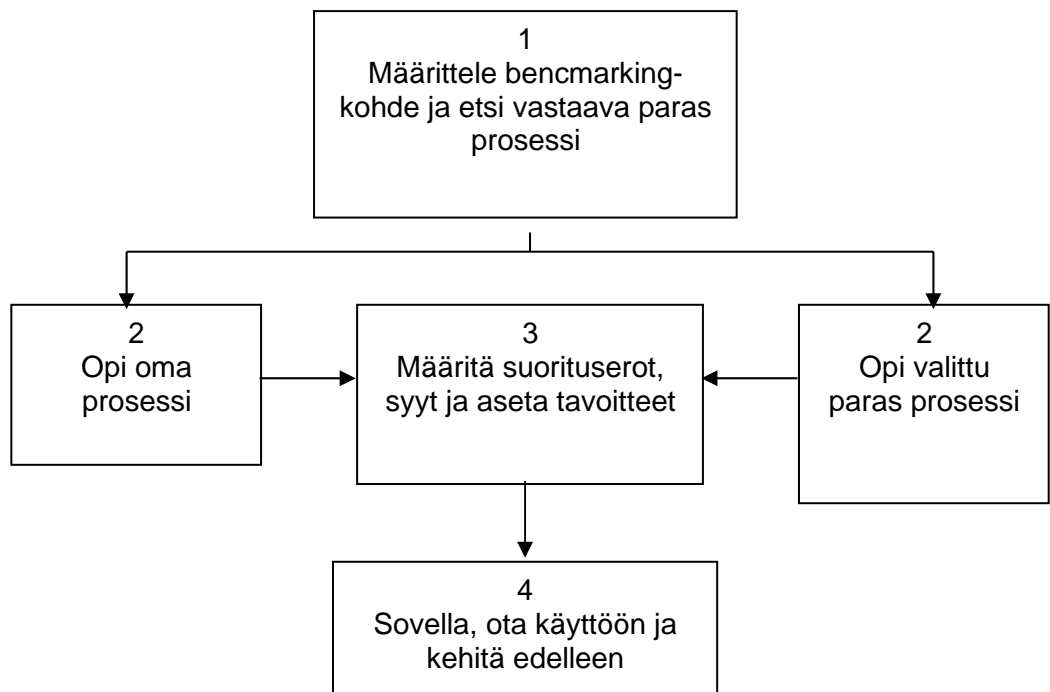
Kirjallisuutta ja verkkojulkaisuja tietolähteinä käyttäen selvitettiin uusia tuotantomenetelmiä ja niiden parissa tehtävää tutkimus- ja kehitystyötä. Tuotantokoneisiin tutustuttiin esitteiden, konevalmistajien ja maahantuojien ja tutkimuslaitosten avulla. Lisäksi pyrittiin vierailemaan koneita tai menetelmiä ansiokkaasti käyttävissä yrityksissä, joissa nämä koneet ovat tuotannon avainkoneita. Näin saatiin arvokkaita käyttökokemuksia koneiden toiminnasta, luotettavuudesta ja sopivista tuotteista.

1.4.1 Benchmarking

Benchmarking on kehitystyökalu, joka ohjaa kehitystoimintaa liiketoiminnalle keskeisiin asioihin, auttaa ymmärtämään omia prosesseja, helpottaa tavoitteen määrittelyä ulkopuolisten esimerkkien avulla ja ohjaa itse kehitysprosessia. Se on menetelmä, jonka avulla määritellään toisten organisaatioiden parhaat menettelytavat. Toisten parhaita menettelytapoja sovelletaan oman yrityksen organisaatioon. Näin pyritään muilta oppimalla kehittämään oman organisaation suorituskykyä.

Parhaat suoritusarvot, menetelmät ja menettelytavat omaava yritys ei välttämättä ole kilpailija, eikä välttämättä samalta alalta. Ainoaksi yhdistäväksi tekijäksi riittää, että kyseinen prosessi on yrityksen menestystekijänä hyvin hoidettu ja esimerkiksi kelpaava. /16/.

Benchmarking-prosessi voidaan jakaa kuvan 1 mukaiseksi nelivaiheiseksi malliksi. Ensimmäisenä vaiheena määritellään kohde, jota halutaan kehittää. Samalla etsitään paras toimiva prosessi jostain ulkopuolisesta organisaatiosta. Toisessa vaiheessa perehdytään tarkasti omaan prosessiin ja kohteeksi valittuun prosessiin. Seuraavaksi niistä määritetään suorituskykyerot ja syyt eroihin sekä asetetaan tavoitteet, joihin pyritään. Viimeisessä vaiheessa parhaan prosessin toimintatapoja sovelletaan omaan käyttöön ja kehitetään toimintatapaa yhä edelleen.



Kuva 1. Benchmarking-prosessin vaiheet. /16/.

Benchmarking-prosessin on onnistuakseen oltava keskeinen osa yrityksen kehityssuunnittelua ja kehitysprosessin toteuttamista. Prosessi ei ole yhden työntekijän työkalu, vaan se edellyttää kaikkien vastuussa ja kehitystoiminnassa mukana olevien osallistumista. /16/.

2 LEVYTUOTETUOTANNON OMINAISPIIRTEITÄ

Levytöissä työstetään joko ohutlevyjä, paksuus alle 3 mm, tai karkealevyjä, joiden paksuus on 3 mm tai enemmän. Ohutlevytyöt jaetaan kahteen ryhmään: sarjatuotantomaisiin pienten kappaleiden muovausteknisiin levytöihin sekä sarja- ja pienerätuotantoon soveltuviin yleislevytöihin kuten taivuttaminen ja leikkaaminen.

Muovaustekniikassa levyä työstetään tavallisesti puristimessa erityisten kappalekohtaisten työkalujen avulla. Tuloksena on suhteellisen tarkkamittaisia pienosia suurella tuotantonopeudella. Työkalut ovat kalliita, mikä edellyttää sarjatuotantoa. Jotkut työt ovat suoritettavissa standardisoiduilla yleistyökaluilla.

Ohutlevytyöissä esiintyvät seuraavat neljä piirrettä lähes poikkeuksetta:

1. vakio työvaihejärjestys
2. leikkauksen ja lävistyksen erikoisasema työn aloituksen ja keskeneräisen tuotannon määrän säätelijänä
3. suuri taivutuksen, särmäyksen tai muovauksen jälkeinen tilantarve
4. ohutlevykappaleiden käsittelyarkuus, kolhiintuminen, pinnan rikkoutuminen

Ohutlevytehtaassa tuotevirta on yhdensuuntaista. Valmistusketjun vaiheet; leikkaus, lävistys, särmäys tai taivutus tai muovaus, liittäminen, pintakäsittely ja loppukokoonpano toistuvat lähes poikkeuksetta samassa järjestyksessä. /17/.

3 OHUTLEVYJEN MUOVAUS

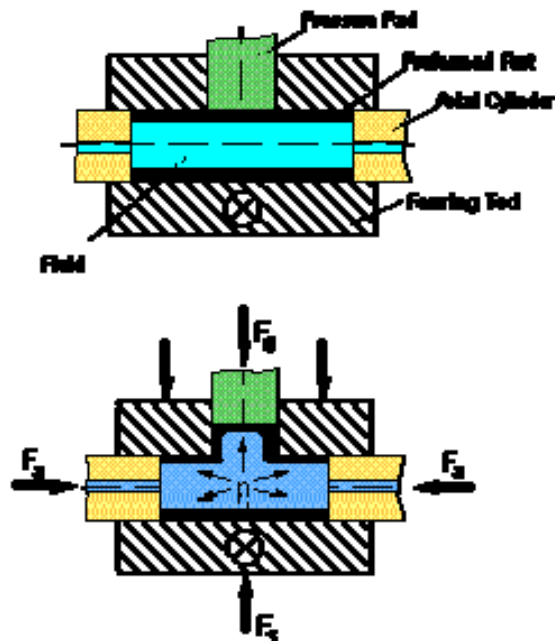
3.1 Nestemuovausmenetelmät

Nestemuovausmenetelmät ovat periaatteeltaan tavallista syvävetoa ja venytysmuovausta muistuttavia menetelmiä. Kappale muovataan nestepainetta hyväksikäyttäen.

3.1.1 Suurpainemuovaus

Hydroforming. Liquid Bulge Forming.

Suurpainemuovauksessa putkimainen tai levymainen aihio suljetaan muotin sisään ja muotin sisään johdetaan korkeapaineinen neste, joka muovaa kappaleen muotoonsa muotin seinämiä vasten. Kuvassa 2 on putken suurpainemuovauksen periaate.



Kuva 2. Putken suurpainemuovauksen periaate. /21/.

Suurpainemuovauslaitteisto sisältää seuraavat osat:

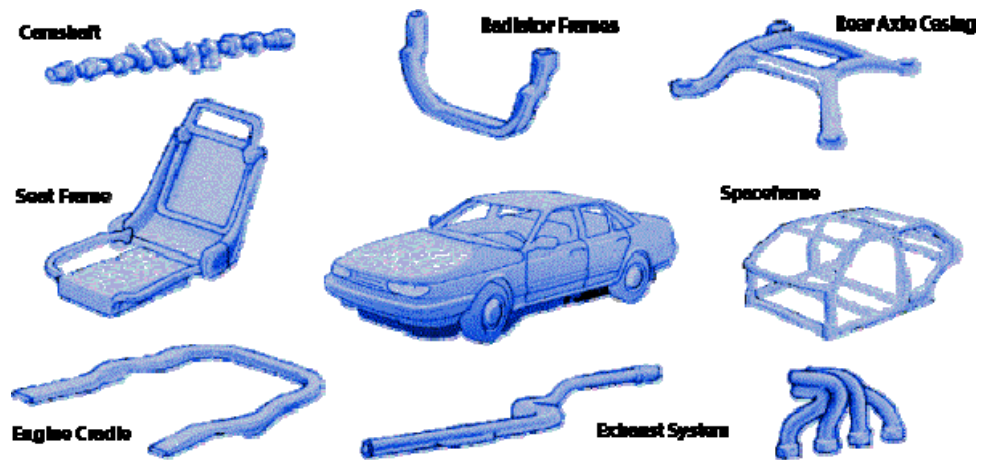
- muovaustyökalu
- työkalun sulkulaitteisto maksimisulkuvoimaltaan noin 80 000 kN
- nestepaineenkehityslaitteisto maksimipaineeltaan noin 200-1 000 Mpa
- työkaluhydrauliikka
- ohjausjärjestelmä

Muovattavan kappaleen monimutkaisuudesta riippuen materiaalinvirtauksen säätö on oltava hallittavissa, jotta materiaalinvirtausta muovausvyöhykkeille ja kappaleen eri osiin voidaan säädellä. Yleensä materiaalinvirtausta autetaan työntämällä materiaalia muovauskohtaan. /7/.



Kuva 3. Suurpainemuovauslaite. /21/.

Suurpainemuovaus sopii vaikeiden muotojen toteuttamiseen. Suuret ja monimutkaiset kokonaisuudet voidaan muovata yhdellä työvaiheella. Näin voidaan vähentää komponentteja, hitsejä ja muita liitoksia kokoonpanoissa ja päästään raaka-aine- ja painosäästöihin. Menetelmän etuna on venymän tasaisempi jakautuminen aihiossa. Materiaalin virtaus on tasaista, paikallisilta jännityshuipuilta vältytään ja takaisinjousto on vähäistä. Näiden vuoksi materiaalin muovattavuutta voidaan hyödyntää paremmin. Menetelmää käyttää autoteollisuus muun muassa kuvan 4 mukaisten osien valmistuksessa. Muovattavat kappaleet ovat seinämäpaksuudeltaan 2-25 mm. Tahtiaika on noin 1,5 minuuttia. Laitteisto, kuva 3, on varsin kookas.



Kuva 4. Tyypillisiä suurpainemuovattuja osia. /21/.

etuja:

- muovattujen osien materiaali- ja painonsäästö
- hyvä muototarkkuus
- vähentyneet valmistusvaiheet ja osien määrät
- tavanomaisia menetelmiä alemmat kustannukset monimuotoisilla kappaleilla
- mahdollisuus lujien materiaalien muovaamiseen
- tasainen venymäjakauma

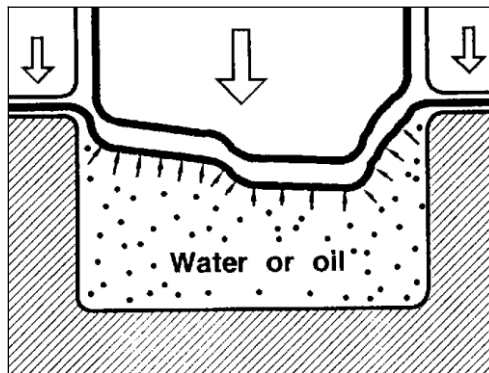
haittoja:

- teollinen käyttö vähäistä
- pitkät tahtiajat
- etuja ei voi hyödyntää, mikäli valmistetaan yksinkertaisia tuotteita
- muovauksen voitelu ongelmallista

3.1.2 Hydromekaaninen syväveto

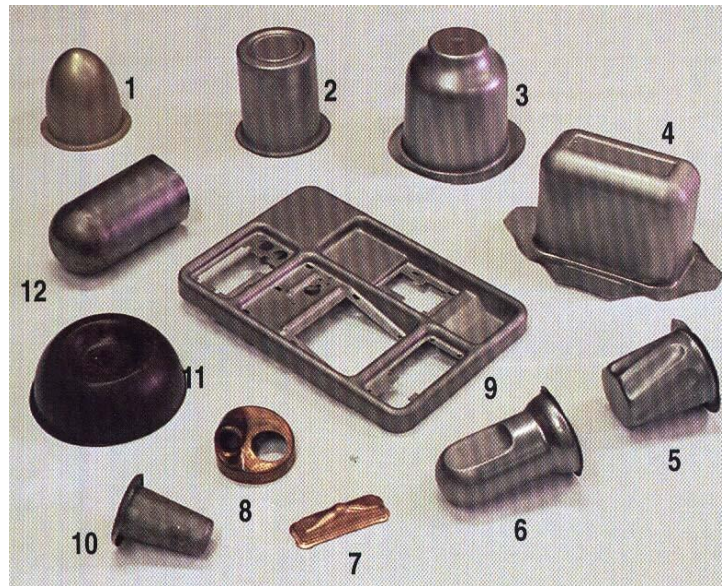
Hydromechanical Deep Drawing.

Hydromekaaninen syväveto on perinteisen syvävedon kaltainen menetelmä. Poikkeuksena on vetorenkkaan alapuolella oleva neste. Ylätyökalulla painetaan aihiota nestettä vastaan, jolloin aihio muotoutuu ylätyökalun mukaiseksi. Kuvassa 5 on hydromekaanisen syvävedon periaate. /5/.



Kuva 5. Hydromekaaninen syväveto. /26/.

Puristimen on oltava kaksitoiminen. Rajavetosuhteet ovat suuria kuten kuvan 6 kappaleista voidaan havaita. Menetelmä korvaa useita peräkkäisiä kartiovetoja yhdellä vedolla, jolloin saavutetaan työkalusäästöjä. Lähinnä painimen muodosta riippuen nestepainetta säädetään tai pidetään vakiona muovauksen aikana. Nestepaine ei vaikuta levynpidätykseen, vaan se vastustaa puristimen voimaa vain painimen poikkileikkauspinnalla. Paineenalaisen nesteen vuotaminen voi muodostua ongelmaksi varsinkin monimuotoisilla työkaluilla. Menetelmää käytetään suurtenkin sarjojen valmistuksessa ja myös jatkovedot ovat mahdollisia. Uutta puristinta hankittaessa on harkittava, tulisiko siihen ottaa valmius hydromekaanisen syvävedon käyttöön. /35/.



Kuva 6. Hydromekaanisesti muovattuja kappaleita. /56/.

nro	materiaali ja paksuus	nro	materiaali ja paksuus
1	uushopea 1,0 mm	7	kupari 2,0 mm
2	RST 0,7 mm	8	kupari 1,5 mm
3	RST 1,0 mm	9	RST 2,0 mm
4	RST 0,7 mm	10	hiiliteräs 1,0 mm
5	hiiliteräs 0,7 mm	11	muovitettu teräs 0,7 mm
6	hiiliteräs 0,7 mm	12	hiiliteräs 2,0 mm

etuja:

- soveltuminen vaikeille muodoille
- suuri rajavetosuhde (2,7-3,6), parantunut muovattavuus
- hyvä pinnanlaatu koska työkalukontaktille alttiita pintoja on vähemmän kuin perinteisessä syvävedossa
- hyvä mittatarkkuus
- pyöreys ja sylinterimäisyys paremmin hallittavissa
- pienet työkalukustannukset
- neste toimii jossainmäärin voiteluna

haittoja:

- nesteen käyttö vaatii tiiviyttä alatyökalulta
- kappaleiden kastuminen
- kallis puristin
- työkaluosaaminen on hankittava

3.1.3 Aquadraw-menetelmä

Vetämällä aihio vedellä täytettyä umpipohjaista vetorengasta vasten on rajavetosuhde saatu kasvamaan niin, että kappaleen korkeus on yli kaksinkertaistunut. Painimen muovatessa vesi työntyy aihion ja vetorengaan välistä voidellen samalla tehokkaasti. Tätä menetelmää on käytetty erityisesti ruostumattoman teräksen vetoon. /35/.

3.1.4 Hydroform-menetelmä

”Hydroform-menetelmässä muovattavaan levyaihioon kohdistuu paksun kumikalvon välityksellä hydrostaattinen paine. Painenesteenä käytetään vettä, jonka virtausta ja painetta säädetään muovauksen aikana. Menetelmällä voidaan saavuttaa vetosuhde 2,5-3,3. Tahtiaika on 10-30 s.” /35/.

3.1.5 Fluidform-menetelmä

”Fluidform-menetelmässä käytetään yläpuolista kumikalvon peittämää öljysäiliötä, johon aiheutettu paine muotoilee kumikalvon välityksellä levyaihion kiinteän alapuolisen työkalun mukaiseksi. Menetelmä sopii samantyyppisille kappaleille kuin hydroform-menetelmä, mutta myös sivupinnoista sisään lovettuja kappaleita voidaan muovata elastisella painimella. Tahtiaika on 10-30 s.” /35/.

3.1.6 Flexform-menetelmä

”Flexform-menetelmä on nestemuovausmenetelmä, joka soveltuu suurikokoisten matalien tuotteiden muovaukseen. Kumikalvon peittämä öljysäiliö muotoilee tuotteen kiinteään alatyökalun mukaiseksi. Muotoilupaine voi olla suurimmillaan 200 MPa.” /35/

”Laitteisto muodostuu vaakasuorassa olevasta sylinteristä, jonka sisällä on kumikalvon peittämä painesäiliö. Menetelmällä on mahdollista valmistaa yhdessä vaiheessa useita erilaisia tuotteista. Tahtiaika on 1-3 minuuttia.” /35/

3.2 Impulssimuovausmenetelmät

Impulssimuovausmenetelmien käyttö parantaa ohutlevymateriaalien muovattavuutta. Rypytyminen ja takaisinjousto vähenevät ja muovattavuus paranee, kun muovausnopeudet ovat suuria. Perinteisillä menetelmillä huonosti muovattavien materiaalien muouukset voivat impulssimuovausmenetelmillä olla mahdollisia. Teräksen korvaaminen alumiinilla kiinnostaa esimerkiksi autoteollisuutta, mutta ongelmia syntyy alumiinin heikon muovattavuuden takia. Tahtiajoiltaan menetelmät ovat automatisoituina syvävedon tasolla tai nopeampia, jos niiden käyttö vähentää työvaiheita.

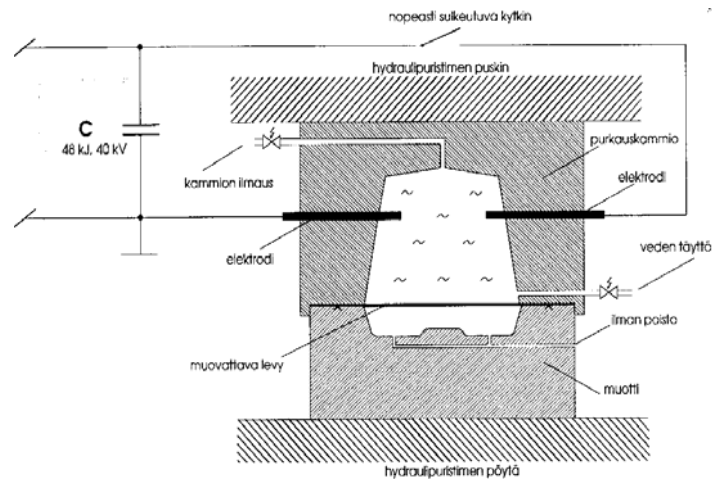
Muovausmenetelmiä on myös mahdollista yhdistää. Ensimmäinen muovaus suoritetaan perinteisillä työmenetelmillä ja lopullinen muovaus, kuten pienikokoiset kulmat tai terävät yksityiskohdat, suoritetaan impulssimenetelmällä. Tällöin ei tarvita niin suuritehoista impulssimuovauslaitteistoa. Impulssimuovausmenetelmien hyötysuhde on noin 10-15 % ja hyödyntämätön osa energiasta rasittaa ja kuluttaa työkalua. Kun muovausenergiasta saadaan pieni ja kohdistettu vähenee myös työkalun kuluminen.

Impulssimuovausmenetelmät ovat laitetekniikan kehittyessä vartenotettavia menetelmiä ohutlevyn muovauksessa. Tahtiajat ovat lyhyitä ja menetelmät soveltuvat monimutkaisille kappaleille.

3.2.1 Sähköimpulssimuovaus

Electrohydraulic Forming.

”Sähköimpulssimuovauksessa kondensaattoriin varattu sähköenergia puretaan elektrodien välissä nesteellä täytetyssä kammiossa. Nesteen höyrystymisen aiheuttama paineimpulssi ja siitä seuraava nesteen virtaus muovaavat aihion yksipuoleista muottia vasten. Tuotekohtaisena muovaustyökaluna toimii muotti, purkauskammio reunat toimivat levynpidättimenä ja painimen tehtävää suorittaa vesi. Materiaalista, aihion paksuudesta ja kappaleen muodosta riippuen tarvitaan yksi tai useampia paineiskuja. Muovautumisnopeus on suuri, 100-300 m/s. Tämä parantaa materiaalin plastisia ominaisuuksia ja poistaa takaisinjouaston lähes kokonaan.” /4/.



Kuva 7. Sähköimpulssimuovaus. /4/.

Impulssivirtalaitteistoon kuuluu suurjännitemuuntaja, tasasuuntaaja, kondensaattoriyksikkö, johtimet ja purkauskytkin. Muovausyksikköön kuuluu puristin, muovauskammio ja vedensyöttölaite. Muotissa on reikiä ilman poistamiseksi. Ilmanpoistoa voidaan tehostaa alipainejärjestelmän avulla. Sähköimpulssimuovauksen periaate on kuvassa 7.

etuja:

- sopii pienille sarjoille, jopa yksittäiskappaleille
- muovaus yhdessä työvaiheessa
- monimutkaiset muodot mahdollisia
- vähäinen takaisinjousto
- parantunut rajamuovattavuus
- vähäisempi rypytyminen
- voitelun tarve vähenee tai poistuu
- yksipuoleinen muotti riittää ja sama muotti käy eri levypaksumuksille
- prototyypikappaleiden edullinen ja nopea valmistus
- muovaukseen voidaan liittää lävistystä, rajausta, kaulustusta ym.
- sopii laajalle materiaalivalikoimalle
- ongelmallisten materiaalien muovaus helpottuu
- ei vahingoita kappaleen pintaa toiselta puolen
- tarkka säädettävyys ja hyvä toistotarkkuus
- yksinkertaiset työkalut
- monimutkaisten muotojen toteutus

haittoja:

- laitteistot kehitysvaiheessa
- teollinen käyttö vähäistä
- veden käyttö

VTT:n laitteisto:

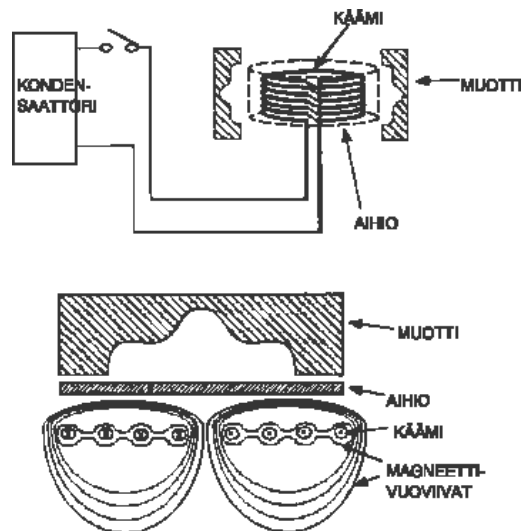
- 400 x 400 mm, Ø200 mm ja Ø100 mm muovauskammiot
- 48 kJ impulssienergia
- 25 kW verkkoliityntäteho
- 1,2 MN muotinsulkuvoima

Työkalut voivat olla hyvin edullisia verrattuna muihin muovausmenetelmiin, esimerkiksi syvävetoon, koska yksipuoleinen työkalu riittää. Työkalujen valmistaminen on nopeaa ja karkaisua ei yleensä tarvita. Varsinainen muovaus on melko nopea tapahtuma, mutta kappaleenvaihto on hidasta veden täytön ja tyhjennyksen takia. Jos vesitilalla varustetun työkalun asentaa alatyökaluksi pääsee veden tyhjennys- ja täyttövaiheesta eroon ja tahti aika nopeutuu. Sähköimpulssimuovaus on parhaimmillaan yksittäiskappaleiden ja pienten sarjojen valmistamisessa. /4//43/.

3.2.2 Magneetti-impulssimuovaus

Electromagnetic Forming.

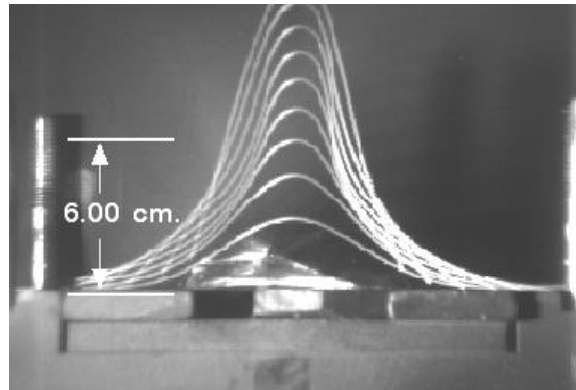
Magneetti-impulssimuovauksessa induktiokelaan johdetaan suuri virtaimpulssi. Induktiokelan virtaimpulssi muodostaa magneettikentän. Magneettikentän muutos indusoi sähkönjohtavaan aihioon pyörrevirtoja, jotka synnyttävät kappaleessa kohtisuoraan induktiokelaa vastaan olevan magneettikentän. Magneettikentät hylkivät toisiaan ja kappale muovautuu muottia vasten suurella nopeudella.



Kuva 8. Magneetti-impulssimuovaus. /8/.

Laitteisto koostuu sähköenergian varaus- ja purkausyksiköstä, syöttökaapeleista, induktiokelasta, muotista ja muotinsulkulaitteistosta. Energiamäärältään laitteistot ovat 6-40 kJ ja taajuusalueeltaan 20-60 kHz. Tyypillisen laitteiston magneettikenttä vaikuttaa kappaleeseen enimmillään 340 MPa paineella. Magneetti-impulssimuovauksen periaate on kuvassa 8.

Menetelmä soveltuu metalleille, joiden resistiivisyys on $0,15 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ tai vähemmän. Austeniittisen ruostumattoman teräksen resistiivisyys on $0,70-0,85 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, joten magneettikenttä ei vaikuta materiaaliin tehokkaasti. Tätä on pyritty ratkaisemaan sijoittamalla aihion eteen hyvin sähkönjohtavia aineita, kuten kuparia. /42/.



Kuva 9. Alumiinilevyn muovautuminen vapaasti ilmassa. Kuvien väli on 30 μs , muovautumisnopeus 55 m/s ja energiamäärä 3,6 kJ. Levyn mitat ovat 127 x 203 x 0,8 mm. Impulssilähde on kappaleen alapuolella. /34/

etuja:

- ei vahingoita kappaleen pintaa toiselta puolen
- voitelun tarve vähenee tai poistuu
- tarkka säädettävyys ja hyvä toistotarkkuus
- prosessi on tuotekohtaisesti helposti muunneltavissa ja automatisoitavissa
- liittäminen mahdollista samassa työvaiheessa, liitokset lujia ja jopa paineenkestäviä
- leikkaus, lävistys ja muovaus toteutettavissa samassa työvaiheessa

- yksinkertaiset työkalut
- sopii pienille sarjoille, jopa yksittäiskappaleille
- muovaus yhdessä työvaiheessa
- monimutkaiset muodot mahdollisia
- vähäinen takaisinjousto
- yksipuoleinen muotti riittää ja sama muotti käy eri levypaksuuksille
- prototyypikappaleiden edullinen ja nopea valmistus
- sopii laajalle materiaalivalikoimalle
- ongelmallisten materiaalien, kuten alumiinin, muovaus helpottuu, kuva 9

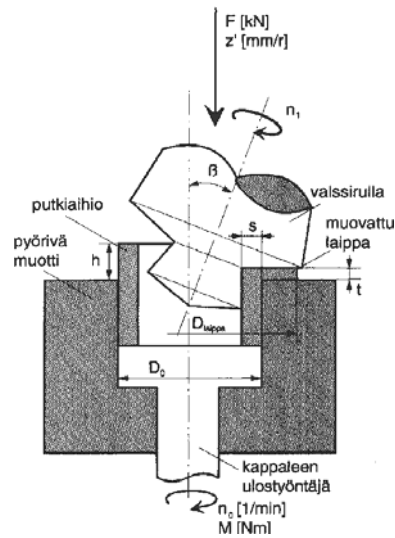
haittoja:

- teollinen käyttö vähäistä
- oltava lujarakenteinen laitteisto, keloihin kohdistuvat samat rasitukset kuin aihioon
- ei sovellu ruostumattomalle teräkselle ilman erikoisjärjestelyjä

3.3 Vierintämuovaus

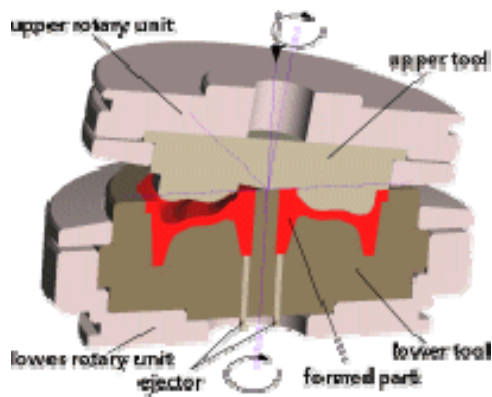
Rotary Forming.

Menetelmä perustuu valssirullan käyttöön ja pyörivään muottiin, johon asetetaan aihio. Kaarevapintaisella työkalulla painetaan aihiota muotin ja aihion samalla pyöriessä. Aihion kontaktipinta on pieni, joten pienellä puristusvoimalla saavutetaan materiaalin pysyvä muodonmuutos. Menetelmän periaate on esitetty kuvissa 10 ja 11. Puristusvoima on tyypillisesti 200-1 000 kN. Vierintämuovaus etenee aihion poikkipinnassa kierros kierrokselta. Pyörimisnopeus on 120-500 r/min. Tekniikka toimii yksinkertaisimmillaan siten, että puristimen puskimeen laakeroidulla valssirullalla muovataan aihiota pyörivässä muotissa vakionopeudella. Tavalliseen hydraulipuristimeen on mahdollista asentaa kaksiosainen lisälaitte, jonka alaosa koostuu muottia pyörittävästä moottorista. Yläosa on kiinnitetty puristimen puskimeen, jolla aikaansaadaan muovauksen aksiaalivoima.



Kuva 10. Laipan vierintämuovaus putkiaihion päähän. /9/.

Vierintämuovaamalla voidaan valmistaa mittatarkkoja kappaleita yhdessä työvaiheessa. Paksujen kappaleiden muovauksen vaativaa voimantarvetta saadaan pienennettyä vierintämuovauksella, koska muovautuminen tapahtuu vaiheittain. Suuret muovaukset ovat mahdollisia yhdessä työvaiheessa. Työkalujen toimivuus ja kestävyys, muovausnopeus ja mahdollinen valmistusvaiheiden väheneminen voivat olla perusteena suursarjatuotannolle. Vierintämuovauksen tahtiaika on kohtuullinen, kymmeniä sekunteja. Työkalut ovat halpoja valmistaa. Epäkeskeisten pyörähdyspintojen valmistaminen on mahdollista työkalun keskipisteen siirron avulla. Vierintämuovaus on mahdollinen menetelmä sellaisissa syvävetotuotteissa, jotka vaativat useita syvävetovaiheita ja välihekkutuksia. Näitä ovat pitkänomaiset kappaleet, joissa on suuri syvävetosuhte. /9/.



Kuva 11. Vierintämuovaus, jossa raaka-aineena on umpiaine. /22/.

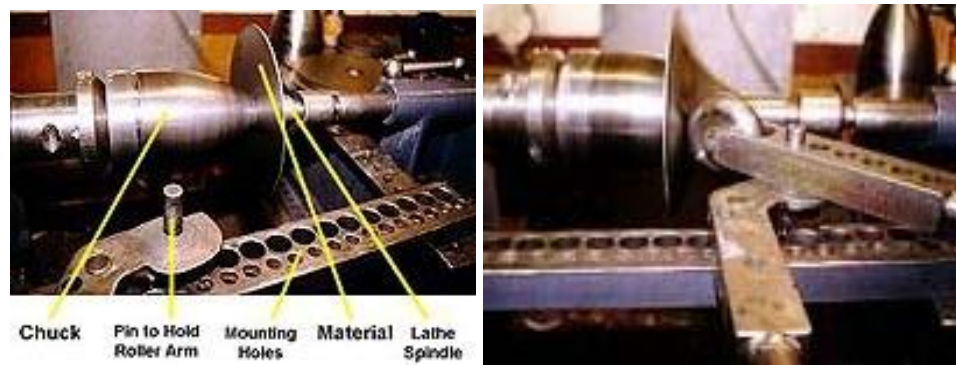
etuja:

- kohtuulliset työkalukustannukset
- suuretkin muovaukset mahdollisia
- hyvä mittatarkkuus
- pieni takaisinjousto
- pienemmät muovausvoimat kuin syvävedossa

3.4 Painosorvaus

Spinning.

Painosorvauksessa ympyrämäistä aihiota pyöritetään painosorvin karalla ja työkalulla painamalla aihioon saadaan haluttu muoto. Aihion venyminen painosorvattaessa on suurta. Menetelmä sopii pyörähdyssymmetristen kappaleiden valmistamiseen. Aihion sisällä on vastakappale, jota vasten sorvaaminen suoritetaan. Menetelmän periaate on esitetty kuvissa 12 ja 13.



Kuva 12 ja 13. Painosorvauksen vaiheita. /27/.

etuja:

- vähäiset laite- ja työkalukustannukset
- suuretkin muovaukset mahdollisia
- sopii eri materiaaleille ilman työkalumuutoksia
- sopii eri materiaalipaksuuksille ilman työkalumuutoksia

haittoja:

- hidas tahti aika
- tietyt muodot eivät ole mahdollisia

3.5 Kuulapuhallusmuovaus

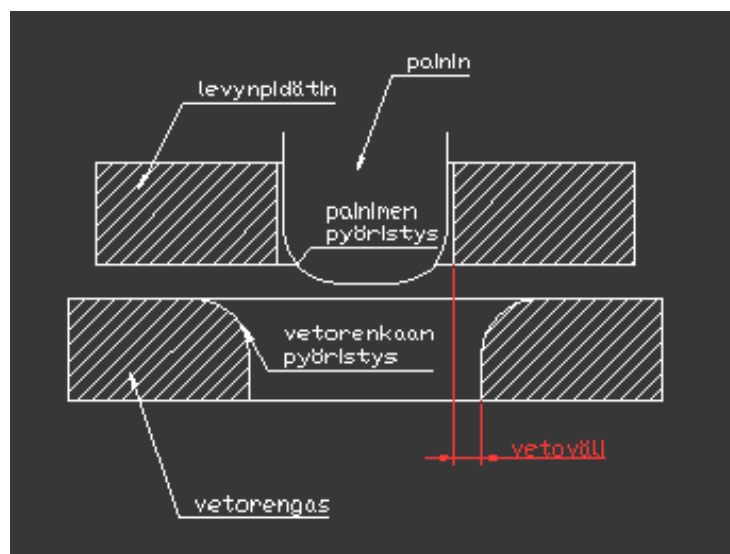
Menetelmässä levyä muovataan kohdistamalla siihen teräshaulisuihku. Levyn pintaan syntyvät jännityksen taivuttavat levyä. Kuulapuhallus jättää levyn pintaan puristusjännityksen, joka parantaa väsymislujuutta. /10/.

3.6 Lasermuovaus

Tekniikka perustuu levyn kuumentamiseen laserin avulla. Kuumentaessa syntyneet jännitykset käyristävät levyn. Menetelmää on käytetty tarkkuutta vaativissa kohteissa. /10/.

3.7. Syvävedo

Syvävedossa ei yleensä tarkoituksellisesti muuteta vedettävän aihion seinämän paksuutta. Vedon aikana levyä painetaan painimella ja levynpidätyspintojen välinen aihionosa liikuu vetorenkkaan yli muovautuen. Levynpidätysvoima estää kappaleen laipan liian rypyttymisen. Syvävetotyökalun periaate on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Syvävetotyökalun periaate.

Syvävedon lopputulokseen vaikuttavat parametrit ovat:

1. syvävedettävän materiaalin ominaisuudet
2. syvävedettävän materiaalin paksuus
3. vetosuhte, eli aihion halkaisija / painimen halkaisija
4. vetoväli
5. painimen ja vetorenkkaan pyöristykset
6. levynpidätysvoima
7. kitka ja voitelu
8. muovausnopeus /39/.

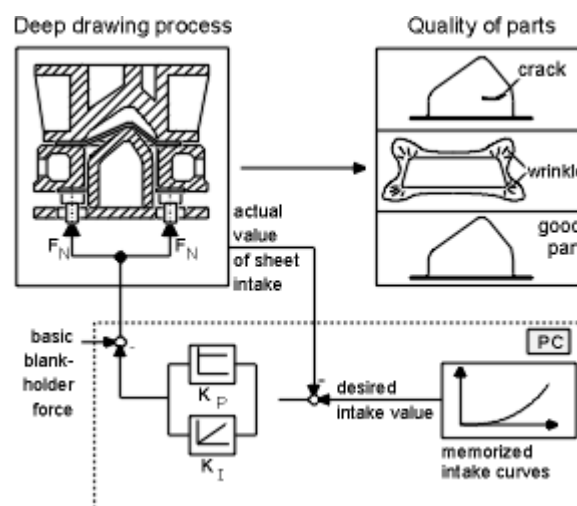
3.7.1 Pidätinpaineen säätö segmenteittäin

Pidätinrenkaan eri kohtien pidätysvoimaa säädetään yksitellen. Pidätysvoimaa säädetään hydraulisyntereillä, jotka ovat asennetut pidätinrenkaaseen. Pidätinrenkas on normaaliin tapaan tehty yhdestä kappaleesta ja se taipuu hydraulisynterien aiheuttamasta voimasta aiheuttaen erilaisen levynpidätyksen aihion eri kohtiin. Näin voidaan hankalien ja ei-ympyrämaisten vedettyjen kappaleiden materiaalinvirtausta tasata ja estää rypyjen ja repeämien syntyminen.

3.7.2 Syvävedon pidätyspaineen mittasäätö

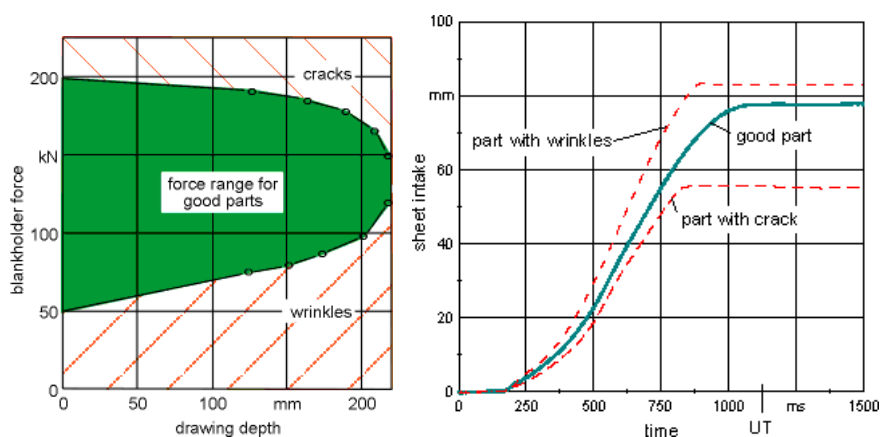
Process Control in Deep Drawing

Kehitetty järjestelmä mittaa sekä levyaihion virtausta muotin sisään, että aihion rypyttymistä ja suorittaa tällä perusteella pidätinpaineen säädön. Induktiivianturit tarkkailevat kappaleen rypyttymistä. Materiaalin virtaukselle on oma mittausjärjestelynsä ja mittauksesta vertaillaan vedon syvyyteen. Järjestelmä tasaa materiaalien ominaisuuksien vaihtelua. Kappaleen repeytymisen havaitsemista akustisen emission antureilla on myös tutkittu.



Kuva 15. Syvävetoprosessin anturointijärjestelyt. /38/.

Syvävetopuristimeen on asennettu levyn sisäänvirtausta ja levynpidätyksen voimaa mittaavat anturit kuvan 15 mukaisesti. Antureilta tulevaa tietoa vertaillaan muistiin asetettuihin onnistuneella kappaleella haettuihin arvoihin. Näin voidaan levynpidätyksen voimaa aktiivisesti säätää ja päästä hyvään lopputulokseen materiaaliominaisuuksiltaan vaihtelevilla aihioilla.



Kuvat 16 ja 17. Syvävedon pidätyspaineen mittasäätöä ohjaavat käyrät.

/38/.

Kuvissa 16 ja 17 ovat syvävedolle tyypilliset käyrät. Periaatteena on lisätä levynpidätyspainetta, jos vedettävän kappaleen laippa rypytyy. Jos taas vedettävä kappale repeää kupin alueelta, vähennetään levynpidätysvoimaa. Sama periaate voidaan esittää myös levyn sisäänvirtauksen funktiona, eli jos kappale virtaa sisään liian hyvin, se todennäköisesti rypytyy. Jos taas sisäänvirtaus on liian pientä, joutuu muovattava materiaali venymään enemmän ja repeää tämän tuloksena.

/38/.

3.7.3 Räätelöidyt aihiot syvävedossa

Tailored Blanks.

Räätelöity aihiot on kuvan 18 kaltainen kahdesta tai useammasta eri levyistä hitsaamalla muovausta varten koottu aihiot. Levyjen paksuudet ja/tai materiaaliominaisuudet ovat erilaisia. Räätelöityjä aihiotia käytetään vaikeissa muovauksissa. Etuina ovat painonsäästö, kun vain tarvittavissa kohdissa on paksuutta materiaalia sekä muovattavuuden paraneminen. Kappaleen materiaaliominaisuuksia voidaan optimoida. Eri kohdissa kappaletta voidaan painottaa esimerkiksi muovattavuutta tai korroosionkestoa. Räätelöidyt aihiot ovat usein laserleikattuja ja laser- tai vastushitsattuja. Räätelöityjä aihiotia valmistetaan usein alihankintana niihin erikoistuneissa yrityksissä. /49//51/.



Kuva 18. Räätelöity syvävetoaihiot. /49/.

etuja:

- parantunut muovattavuus
- materiaalinsäästö
- painonsäästö
- materiaaliominaisuuksien optimointi kappaleen eri kohdissa

haittoja:

- kalliit aihiot
- aihioiden käsittely ja käsittelyn vaatima tilantarve

3.8 Ruostumattoman teräksen syväveto

Ruostumattomalle teräkselle syvävetomateriaalina ominaista on sen suuri takaisinjousto, pieni myötölujuus ja suuri murtolujuus, mistä johtuu suuri venymä. Leikkaaminen vaatii suuren voiman. Yleisesti käytetylle austeniittiselle materiaalille ominaista on muokkauslujittuminen.

3.8.1 Ferriittisen ruostumattoman teräksen ominaisuudet

Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat niin sanottuja suoria kromiteräksiä ilman suurta nikkelseostusta. Ne muistuttavat lujuus- ja muovausominaisuuksiltaan tavallisia hiiliteräksiä. Rajavetosuhde ensimmäisessä vedossa on noin 1,55, eli pienempi kuin muovauslaatuisilla hiiliteräksillä. /36/.

3.8.2 Austeniittisen ruostumattoman teräksen ominaisuudet

Ohutlevyteollisuudessa yleisesti käytettävät ruostumattomat teräkset ovat mikrorakenteeltaan austeniittisia. Seosaineina on kromia ja nikkeliä. Haponkestävään laatuun on lisäksi seostettu 2-3 % molybdeeniä. Vähähiiliset L-laadut ovat paremmin muovattavia pienemmän lujuuden takia.

Ruostumattomien teräksen käytön etuja ovat korroosionkestävyys, muovattavuus ja miellyttävä ulkonäkö. Ruostumattomien terästen muovaus voidaan tehdä samankaltaisilla työkaluilla ja puristimilla kuin hiiliterästenkin muovaus. Muovausparametrejä on muutettava, sillä voimantarve ja takaisinjousto on ruostumattomilla teräksillä suurempi hiiliteräksiin verrattuna. Muovaustyökaluihin usein yhdistetty leikkaus tai rajausta vaatii huomattavasti suurempia leikkuuvoimia ja parempia leikkuusärmiä. Myös työkalun vetoväli tulisi olla suurempi. Rajavetosuhde parhaimmilla materiaaleilla on yli 2,0, eli suurempi kuin hiiliteräksillä.

Ruostumattomilla teräksillä esiintyvä austeniitti-martensiitti faasimuutostransformaatti, muokkauslujittuminen, on pelkästään austeniittisilla materiaaleilla esiintyvä ilmiö, jossa materiaali muuttuu martensiittiseksi eli karkenee muovauksesta johtuen. Martensiitti voidaan helposti todeta magneetilla. Muokkauslujittuminen aiheuttaa materiaalin lujuuden ja kovuuden kasvun ja vähentää materiaalin plastisuutta heikentäen siten muovattavuutta.

Taulukko 1. Austeniittisen ruostumattoman teräksen ominaisuuksia muovauksessa verrattuna hiiliteräkseen.

tyyppi	austeniittinen matalahiilinen stabiili hst	hiiliteräs syvävetolaadut 01-06
toimitustila	2B	
Rp 0.2 [N/mm ²], standardin mukainen minimimyytölujuus	220 (280, Avesta 17-11-2,5L)	180-280
Rm [N/mm ²], standardin mukainen minimimurtolujuus	520 (570, Avesta 17-11-2,5L)	270-410
murtovenymä A ₂ [%]	45 (50, Avesta 17-11-2,5L)	28-40
vetosuhte 1. Veto [D/d]	2,0	
vetosuhte 2. Veto [D/d]	1,20-1,35	
levynpidätyspaine [N/mm ²]	1,96-4,90	2,15-2,75
voimantarve syvävedossa	1,3-2,0*hiiliteräs	
vetoväli, 1.veto (*levynpaksuus)	1,20-1,35	1,1-1,2
vetoväli, 1.veto, karkeavetotyö (*levynpaksuus)	1,75-2,20	
vetoväli, viimeinen veto (*levynpaksuus)	1,0-1,1	1,1
vetorenkaan reunan pyöristykset (*levynpaksuus)	5,0-8,0	4,0-8,0
painimen reunan pyöristykset (*levynpaksuus)	4,0-6,0	2,0-5,0
syvävetonopeus [m/s]	0,25	0,25-0,32

Austeniittisille ruostumattomille teräksille on tyypillistä matala myötölujuus ja voimakkaan muokkauslujittumisen takia suuri murtolujuus. Terästen murtovenymä on suuri ja muovattavuus hyvä, normaaliolosuhteissa hyvin muovattavien hiiliterästen luokkaa. Materiaaliominaisuuksia on vertailtu taulukossa 1. /36/.

3.8.3 Ruostumattomien terästen toimitustilat

Ruostumattomien terästen toimitustila kertoo materiaalin muovattavuudesta, ulkonäöstä ja pinnanlaadusta. Toimitustila 2D soveltuu parhaiten muovaukseen, sillä levyn myötölujuus on pieni ja voiteluaine pysyy hyvin levyn pinnassa kiinni. Austeniittisten ruostumattomien terästen viimeistelyvalssaus, toimitustila 2B, heikentää jonkin verran muovausominaisuuksia koska levy lujittuu. Tämä toimitustila on kuitenkin yleisimmin käytettyä, koska se soveltuu hyvin kiillotettavaksi. Kiillotettu laatu 2G on hiukan kalliimpaa, mutta säästää erillisen kiillotustyövaiheen, jos halutaan kiiltäviä tuotteita. Eri toimitustilat on esitelty taulukossa 2. /36/.

Taulukko 2. Ruostumattomien terästen toimitustilat. /36/.

toimitustila EN	Viimeistely
1D	kuumavalssaus, hehkutus ja peittäus
2D	kylmävalssaus, hehkutus ja peittäus
2B	kylmävalssaus, hehkutus, peittäus ja kevyt viimeistelyvalssaus kiillotetuina valsseina
2G	kylmävalssaus, hehkutus, peittäus ja kiillotus
2J	kylmävalssaus, hehkutus, peittäus ja harjauskiillotus
2H	Viimeistelyvalssaus

3.8.4 Ruostumattoman teräksen syvävedettävyyden parantaminen

Veto- ja pidätinrenkaan lämmittäminen helpottaa austeniittisen ruostumattoman teräksen syvävetoa, koska materiaali virtaa vedon aikana paremmin seinämään samalla kun pohjan alue muokkauslujittuu. Tämä johtaa rajavetosuhteen kasvuun. Kun veto- ja pidätinrenkas lämmitetään huoneenlämpötilasta +80 C° asteeseen saadaan syvävedetyn kupin rajavetosuhde erään tutkimustuloksen mukaan nousemaan 2,1:stä 2,6:een. Tällöin aikaansaataavan kupin syvyys kasvaa 53 %. Syvävedettyjen kuppien oheneminen vähenee etenkin pohjan alueella. Martensiittipitoisuus on pienempi, koska pohja ei lämmitetyillä työkaluilla joudu myötämään yhtä paljon kuin lämmittämättömällä työkaluilla. Veto- ja pidätinrenkaan lämmittämisen sijasta voitaisiin yhtäläisesti jäähdyttää paininta, jolloin muovattava levy lujittuisi voimakkaasti kupin pohjan ja seinämän alueelta. /18//62/.

Syvävedon voitelussa haetaan mahdollisimman pienikitkaista voiteluainetta, jolloin materiaalin virtaus kappaleen vedettyyn osaan olisi mahdollisimman helppoa ja seinämä säilyisi paksuna. Materiaalin virtausta saattaa parantaa myös voitelun tarkoituksellinen huonontaminen painimen puolelta. Tällöin painin ottaa mukaansa enemmän materiaalia kupin alueelle.

Joissakin tapauksissa ruostumattoman teräksen syvävedossa saattaa ongelmana olla niin sanottu varastorepeäminen kappaleen sisäisten jännitysten seurauksena. Tämä ilmiö voi esiintyä heti syvävedossa tai noin 10-20 tuntia sen jälkeen. Repeäminen on yhteydessä martensiitin muodostumiseen ja materiaalin kaasupitoisuuteen. Erityisen vaarallinen on vetykaasu, mikäli sitä on ylimäärin teräksessä. Yksinään vetykaasu ei voi aiheuttaa murtumaa, vaan sen vaikutus ilmenee ruostumattomilla kylmämuokkauksen aikaansaaman muokkausmartensiitin yhteydessä.

Repeily voidaan poistaa muovaamalla aihio 70–100 °C lämpötilassa, suorittamalla jälkihehkus muovaamisen jälkeen tai käyttämällä stabiilimpaa, enemmän nikkeliä sisältävää terästä. Jälkihehkuksen tulee tapahtua suojakaasussa ja se on aikaa vievä ja kallis työvaihe.

Viivästynyt murtuma ei ole normaalisti ongelma, mikäli lähtömateriaali on kunnossa vetypitoisuuden osalta. Haponkestävällä materiaalilla ilmiö on harvinaisempi, koska martensiitin muodostuminen vedossa haponkestävällä on hyvin vähäistä. /44/.

Rypytyminen on yksi syvävedossa esiintyvä ongelma. Rypytyminen johtuu liian pienestä levynpidätyspaineesta, joka voi aiheutua liian pienestä levynpidätysvoimasta tai liian paksusta voiteluainekalvosta. Rypytyminen voi johtua myös epätasaisesta levynpidätysvoimasta mikä voi johtua työkalun linjauksessa olevista poikkeamista, aihionmuodon aiheuttamasta epäsymmetriasta levynpidätysvoimissa tai epätasaisesta aihionpaksuudesta. Pyöreään kappaleen syvävedossa laippa joutuu tyssäntymään, kun materiaali virtaa kupin alueelle. Tämä aiheuttaa pyöreiden kappaleiden voimakkaan rypytyksen laipan alueelta.

Aihion repeäminen johtuu materiaalin paikallisesta ohenemisesta liian vähäisen materiaalinvirtauksen tähden. Tällöin on pidätyspainetta vähennettävä tai voitelua parannettava. Aihion repeäminen on myös paljolti kiinni materiaalin muovattavuusominaisuuksista ja materiaalin paksuudesta.

3.9 Kitka levynmuovauksessa

Levynmuovauksessa pyritään yleensä mahdollisimman alhaiseen kitkaan. Keinoja tähän ovat aihion tai työkalujen voitelu, eri työkalumateriaalit tai pinnoitteet ja muovin käyttö levyn pinnassa. Myös muovattavan levyn pinnan tekstuurirakenteella on vaikutusta voiteluaineiden toimintaan.

3.9.1 Muovattavan levyn pinnoitus muovikalvolla

Levyn pinnoittaminen muovikalvolla pienentää kitkaa ja estää kappaleen tahmautumista työkaluihin. Kalvon irrotus muovauksen jälkeen on oma työvaiheensa. Muovikalvo estää kappaleiden naarmuuntumista muovauksen aikana. Kalvoja on kahta tyyppiä, PVC ja PE.

PVC-muovipinnoitteen kitkakerroin on parhaimpien voiteluaineiden luokkaa. Sen kiinnipysyvyys vedon aikana on hyvä. PVC-muovi ei ole ympäristöystävällinen materiaali. PVC-muovin lämmönkesto on 60-75 C°.

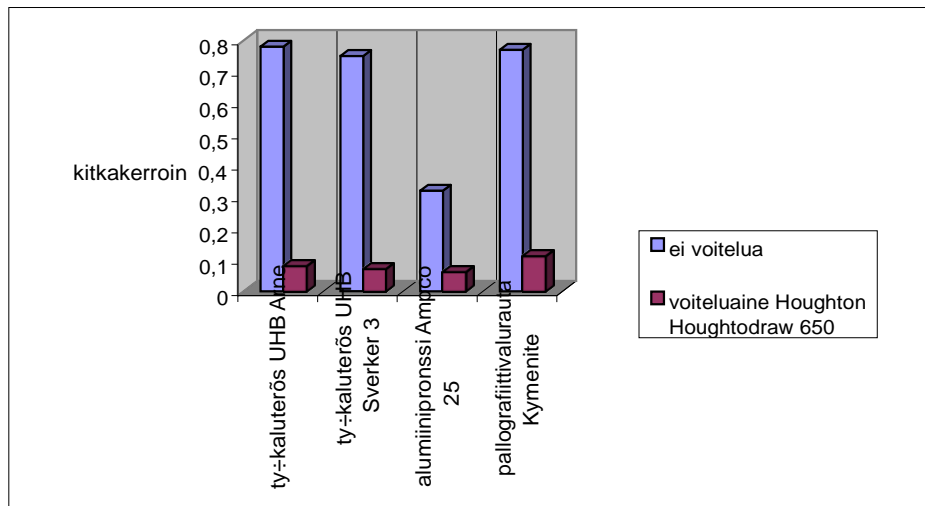
PE-muovikalvo on kitkaltaan hieman suurempi. Se on helpompi irrottaa muovauksen jälkeen. Lämmönkesto on 80-100 C° ja se kestää suurempia vetosuhteita. PE on ympäristöystävällisempää kuin PVC.

Muokkauslujittumisen aikaansaamista suurista pintapaineista johtuen ruostumaton teräs tahmautuu helposti terästyökaluihin. Siksi työkalun ja levyn pinnat pyritään erottamaan kokonaan toisistaan esimerkiksi juuri muovikalvolla yhdessä voiteluaineen kanssa.

3.9.2 Työkalumateriaalit ja työkalujen pinnoitus

Alumiinipronssia käytetään työkalumateriaalina ruostumattoman teräksen muovauksessa sen pienen kitkakertoimen, tahmautumattomuuden ja hiottavuuden vuoksi. Alumiinipronssi ei helposti naarmuta kappaletta ja ruostumattoman teräksen vetorenkaissa se on osoittautunut hyväksi.

Taulukko 3. Työkalumateriaalin vaikutus kitkakertoimiin, kun syvävetomateriaalina on austeniittinen ruostumaton teräs. /41/.



Taulukossa 3 on vertailtu eri työkalumateriaaleja, kun syväveto on suoritettu voitelun kanssa ja ilman voitelua. Työkalumateriaaleista selvimmän erottuu alumiinipronssi, kun syväveto tehdään ilman voitelua. Voiteluainetta käytettäessä työkalumateriaalien erot tasoittuvat.

Kappaleiden pintaan aikaansaadaan erilaisilla pinnoitusmenetelmillä ohut kerros, joka on kova, liukas ja kulutuskestävä. Pinnoitteiden valintaan vaikuttavat työstettävät materiaalit ja pinnoitteen yhteistoiminta voiteluaineen kanssa, sekä se minkälaisesta työstöstä on kyse. Työkalun liukkaus parantaa syvävedettävyyttä, koska materiaalin virtaus muovausalueelle helpottuu. Työkalun ja materiaalin välinen alentunut kitka mahdollistaa myös voiteluaineiden käytön vähentämisen tai mahdollisesti niistä luopumisen. Voiteluaineiden käytön vähentäminen säästää kustannuksia, pienentää puhdistustyön määrää ennen maalausta ja lisää ympäristöystävällisyyttä. /2/.

3.9.3 Voiteluaineet

Voiteluaineen ominaisuuksista riippuen kitkakerroin voi kasvaa tai pienentyä pintapaineen noustessa. Suuri vetonopeus alentaa kitkakerrointa nestemäisillä voiteluaineilla. Pyrittäessä tehokkaaseen levynpidätykseen, ja sitäkautta materiaalin suurempaan venymiseen pieni kitkakerroin aiheuttaa hankaluuksia, jos puristimen pidätysvoima ei riitä. Tällöin kitkaa voidaan suurentaa huonontamalla voitelua. Mikäli tämä ei tahmutumisen takia ole mahdollista, on valittava kallis voiteluaine, jonka muodostama kalvo on kestävä ja pintapaine suuri. Levynpidätystä voidaan tehostaa myös muotoilemalla työkaluun levynpidätystä lisääviä muotoja. /35/.

3.9.4 Voiteluaineen levitys

Voiteluaineen levitys syvävedossa voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Rainaa voidaan voidella telalevityslaitteella tai suihkuttamalla voiteluainetta rainalle. Jos aihioina on kiekkoja, on sumuvoitelu usein ainoa mahdollisuus. Voitelu voidaan toteuttaa myös sumuttamalla voiteluainetta suoraan työkaluun aihiomateriaalin sijasta. Voiteluaineen sumutus voi tapahtua joka kappaleen jälkeen tai aina tietyn kappalemäärän jälkeen. Voiteluaineen levityksessä tärkeitä ominaisuuksia ovat voiteluaineen määrän säädettävyys ja levityksen tasaisuus.

4 OHUTLEVYJEN TAIVUTTAMINEN

4.1 Taivutusautomaatti

Panel Bender. Automatic Bending System.

Kannattavasti taivutusautomaatilla taivutettavia kappaleita ovat ne, joissa on useita ylös- ja alaspäin taivutuksia useammalla sivulla. Taivutusautomaatti pystyy taivuttamaan levyä sekä ylös- että alaspäin. Suurten kappaleiden taivutukseen taivutusautomaatti sopii hyvin, koska levy on koneen pöydällä koko ajan ja vain taivutettavat reunat liikkuvat taivutuksen yhteydessä. Aihiot on tavallisesti valmistettu levytyökeskuksella tai muulla aukotus- tai kulmintamenetelmällä. Taivutusautomaatin suurimpia etuja on joustavuus ja hyvinkin monimutkaisten kappaleiden valmistaminen. Tavanomaisesti rullamuovattavat tai särmättävät tai taivutettavat kappaleet sopivat useimmiten taivutusautomaatille, kunhan reunakorkeudet eivät ole liian suuria. Taivutusautomaatin, kuva 19, tilantarve on suuri.



Kuva 19. Taivutusautomaatti. /64/.

rajoituksia:

- levyn paksuus (teräs max. 3mm)
- särmän korkeus (max. ~300 mm)
- minimi levykoko (min. pituus ~300 mm)
- särmän pituus (max. ~3 200 mm)

Valmistuslinjaan liittäminen voidaan toteuttaa siten, että aihiot tulevat valmiiksi pinottuina taivutusautomaatin syöttöpuolelle esimerkiksi korkeavarastosta tai trukilla tuotuna. Taivutusautomaatti ottaa levynipusta aihion, taivuttaa sen ja purkaa koneelta. Syöttö- ja purkauslaitteina voi olla perinteiset yksiköt tai nivelvarsirobotti. Robotti huolehtii sekä kappaleen syötöstä että valmiin kappaleen pinonnasta. Pinontatapoja on useita erilaisia.

Tuotesuunnittelun on osallistuttava investoinnin toteuttamiseen tarkistamalla tuotteiden osien valmistettavuus taivutusautomaatilla sekä perehtymällä koneen ominaisuuksiin siten, että tuotteet voidaan suunnitella koneen ominaisuuden luovasti hyödyntäen. Tällöin kyseeseen tulevat työvaiheiden yhdisteleminen ja kappaleiden suunnittelu nimenomaan taivutusautomaatti silmälläpitäen. Laite on kapasiteetiltaan suuri ja joustava ja sillä voidaan korvata esimerkiksi särmäyspuristimia, erikoistyövaiheita, rullamuovausta ja liittämistä tiettyyn rajaan saakka. /64/.

4.2 Taivutuskone

Folding Machine.

Taivutuskone, kuva 20, on kohtuullisen hintainen laite, jolla voidaan tehdä taivutuksia tietyissä rajoissa. Taivutusprosessi on automaattinen ja taivutus voi tapahtua vain yhteen suuntaan, tavallisesti ylöspäin. Takavaste ja taivutuspalkin liike ovat ohjelmoitavissa. Levy on taivutuksen ajan koneen pöydällä. Tämä mahdollistaa suurien levyjen taivutuksen, kun levyä ei tarvitse taivutuksen aikana tukea.

Levyjen maksimipaksuudet ovat koneesta riippuen 1,5-10,0 mm. Taivutuskone on pienillä kappaleilla hieman hitaampi kuin särmäyspuristin. Suurilla levymäisillä kappaleilla kone on nopeampi kuin särmäyspuristin ja taivuttaminen onnistuu yhden työntekijän toimesta koska levyä ei tarvitse tukea taivutuksen aikana. Koneita hankittaessa on mietittävä mikä tulee olemaan taivutettavien levyjen maksimipaksuus. Useimmiten taivutuskoneella taivutettavat maksimipaksuudet ovat ≤ 3 mm. Perusversioita paremmat koneet säätävät automaattisesti taivutettavan levypaksuuden mukaan.



Kuva 20. Taivutuskone. /25/.

etuja:

- sopii suurille levyille
- edullinen hankintahinta
- helppo ohjelmointi
- nopea
- ei vaurioita materiaalia kuten särmäyspuristin, sopii pinnoitetuille levyille
- ei venytä levyä
- ohjelmointi on helppoa

haittoja:

- kohtuuhintaiset koneet sopivat vain ohuille materiaalivahvuuksille

4.3 Robotisoitu särmäyspuristin

Särmäyspuristimen kappaleenkäsittely on automatisoitu nivelvarsirobotin avulla. Robotti ottaa levyn pinosta, taivuttaa sen särmäyspuristimen kidassa mukailen levyn liikettä ja lavaa valmiin kappaleen. Usein robotti vielä suorittaa kappaleen paikoituksen erillisiä vasteita vasten ennen taivutusta. Tällöin soluun tuotuja aihioita ei tarvitse valmiiksi paikoittaa.

Laitteisto koostuu särmäyspuristimesta, takavasteesta, särmäysrobotista, ohjaimesta, etäohjelmointi-PC:stä, otteenvaihto- ja paikoitusasemasta, sekä syöttö- ja purkulavoista. Tarttuvia on useita erilaisia ja tarttujan vaihto on toteutettu automaattisesti. Kuvan 21 mukaista erillistä kappaleenkäsittelyrobottia voidaan käyttää. Särmäävä nivelvarsirobotti voi olla joko paikoillaan tai asennettu lineaariradalle tai pyörivälle servojalustalle. Robotti voi olla myös kiinnitettynä kaksikitaisen pystyasennossa olevan särmäyspuristimen keskipalkkiin. Liikkuva särmäysrobotti voi käyttää hyväkseen koko särmäyspuristimen kitaa ja työkaluasetusta.



Kuva 21. Robotisoitu särmäyssolu. Erilliset särmäys- ja kappaleenkäsittelyrobotit. /59/.

Nykyaikaisissa, kuvan 21 mukaisissa robotisoiduissa särmäyspuristimissa, ohjaimen kehittämiseen on panostettu, jotta ohjelmointi- ja asetusajaa saataisiin lyhennettyä. Ohjain ratkaisee tarvittavat työkalut, niiden asemat, särmäysjärjestyksen, tarvittava tarraimen, tarttumiskohdat, robotin liikkeet, törmäystarkastelun ja otteenvaihdot.

robotisärmäykseen sopiva kappale on:

- painava
- suuri pinta-ala
- suuret valmistuserät, koska pitkät asetusajat
- voidaan yhdistää eri vaiheita eri työkaluryhmiä käyttämällä
- pieni tilantarve särmättynä eli hyvä pinoutuvuus
- suuri aukoton pinta-ala alipainetarraimelle
- ei erikoistyökalujen tarvetta

Robotin kappaleajat eivät hidastu levykoon kasvaessa kuten käy käsinsärmäyksessä. Menetelmä on käsinsärmäystä nopeampi suurilla valmistuserillä ja suurilla ja painavilla kappaleilla.

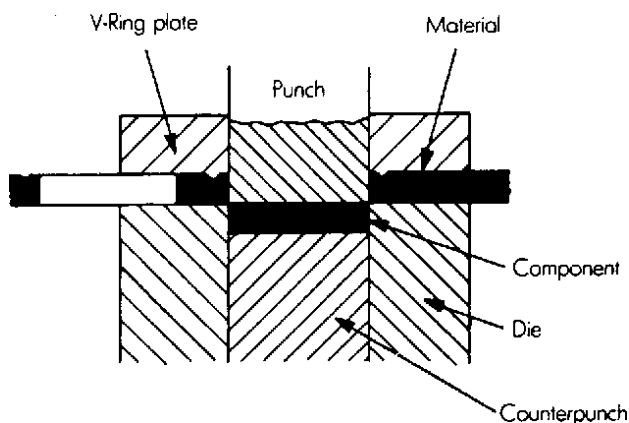
Kappalekohtaiset ohjelmointiajat ja valmistuseräkohtaiset asetusajat ovat huomattavasti pidempiä kuin käsinsärmäyksellä. Verrattuna käsinsärmäykseen robotisoitu särmäyspuristin vaatii siis suuret valmistusmäärät ja eräkoot ollakseen kannattava. Sopiva valmistuserän koko on oltava yli 350 – 800 kappaletyypistä ja asetusajasta riippuen. /63/.

5 OHUTLEVYJEN LEIKKAUS

5.1 Hienoleikkaus

Fine Blanking.

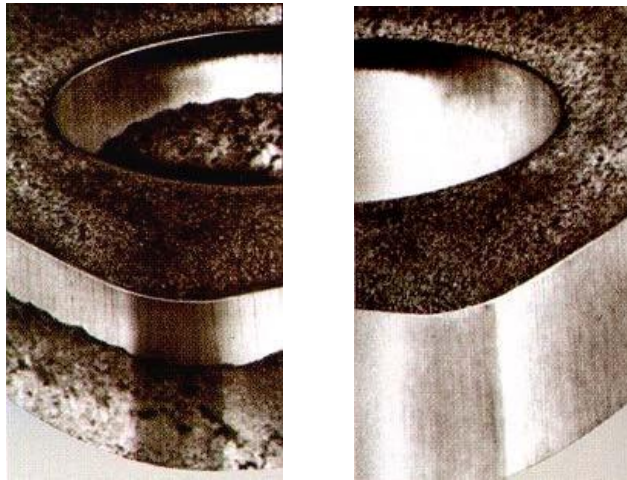
Hienoleikkaus on menetelmä, jossa levy leikkautuu koko poikkipinta-alaltaan. Leikkausjälki saadaan niin sileäksi, kuvat 23 ja 24, että jälkityöstöä lastuamalla tai hiomalla ei tarvita. Hyvä leikkausjälki aikaansaadaan kolmitoimisella puristimella, jossa levynpidätyksestä huolehditaan niin, ettei taipumista eikä murtumista esiinny. Kolmitoimisella puristimella voidaan kontrolloida erikseen painimen voimaa, pidätyspainetta ja ulostyöntäjän vastapainetta. Hienoleikkaustyökalun periaate kuvassa 22.



Kuva 22. Hienoleikkaus. /11/.

Laitteistona on kolmi- tai nelitoiminen puristin, jonka hinta on noin kaksinkertainen yksitoimiseen puristimeen verrattuna. Työkalukustannukset ovat noin 70 % tavallisia leikkuutyökaluja korkeammat.

Hienoleikkauksen etuna on leikkauspinnan jälkityöstön eliminointi. Jos nykyisellä menetelmällä leikkauspinnan laatu on riittävä, ei hienoleikkauksen käyttö ole perusteltua. Teräviä nurkkia ei voi leikata materiaalin ja työkalujen murtumisvaaran vuoksi. Leikattavien kappaleiden paksuus on yleensä alle 4 mm. Tyypillisiä hienoleikattavia kappaleita ovat autoteollisuuden osat, kuten oven lukot, istuinten säätömekanismit ja vaihdelaatikon osat. /11/.



Kuvat 23 ja 24. Perinteisesti leikattu ja hienoleikattu kappale. /20/

etuja:

- kappaleen reunat ja kulmat ovat suoria
- kappaleet ovat mittatarkkoja
- pursetta on vähän
- reunat ovat sileät
- mahdollistaa pienten reikien leikkaamisen paksuun materiaaliin
- pienet muovaukset voidaan yhdistää osaksi leikkausprosessia

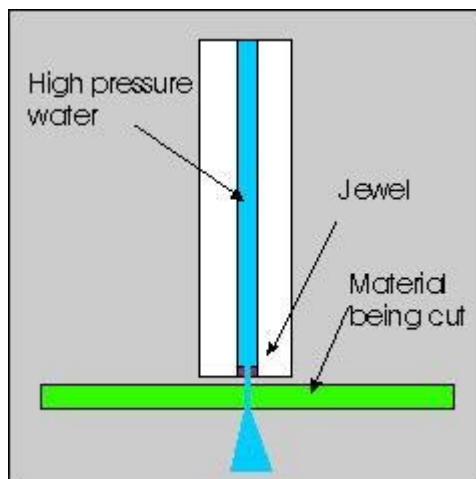
haittoja:

- kalliimmat työkalut kuin tavallisessa leikkauksessa
- kalliimpi puristin kuin tavallisessa leikkauksessa

5.2 Vesisuihkuleikkaus

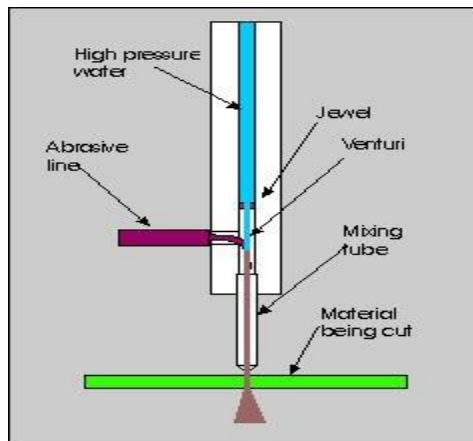
Water Jet Cutting. Abrasive Water Jet Cutting.

Vesisuihkuleikkaus perustuu veden ainetta kuluttavaan vaikutukseen. Menetelmässä on kaksi vaihetta: aineen irrotus ja poiskuljetus. Materiaalin irrotus on mahdollista, kun vesisuihkon paine ylittää materiaalin puristuslujuuden. Lopullinen irtoaminen tapahtuu eroosion, leikkautumisen ja paikallisten nopeiden jännitysvaihtelujen seurauksena. Pelkällä vedellä leikattaessa vesisuihku aiheuttaa hiushalkeamia, joista vesi irrottaa pieniä ainesosia. Vesisuihkuleikkauksen suuttimen toimintaperiaate kuvassa 25.



Kuva 25. Vesisuihkuleikkauksen periaate. /37/.

Abrasiivinen leikkaus perustuu abrasiivipartikkelien hiovaan vaikutukseen. Leikkausmekanismi on tällöin eroosio. Abrasiivipartikkelit syötetään vesisuihkuun leikkauspäässä. Menetelmä on kalliimpi, koska abrasiivien käytön takia suuttimien vaihtoväli pienenee. Metallien työstössä käytetään yleensä abrasiivista leikkausta. Abrasiivisen vesisuihkuleikkauksen suuttimen toimintaperiaate kuvassa 25. /6/.



Kuva 26. Abrasiivisen vesisuihkuleikkauksen periaate. /37/.

Kapasiteettia lisää useamman leikkauspään käyttäminen kuten kuvassa 27. Leikkauspäät ovat kiinni samassa rungossa ja liikkuvat siten samaa rataa.



Kuva 27. Abrasiivinen vesisuihkuleikkaus kahdella leikkauspäällä. /24/.

etuja:

- sopii laajalle materiaalivalikoimalle
- alumiinin ja kuparin leikkaus helppoa
- komposiittimateriaalien leikkaaminen mahdollista
- helppo automatisoida, tosin nivelvarsirobottiin liittäminen vaatii asiantuntemusta
- leikattava muoto on vapaa, kuva 28
- ei lämmöntuontia kappaleeseen, joten ei termisiä jännityksiä, karkenemistä tai palamista

- hyvä pinnanlaatu ohuilla materiaaleilla
- ei työkaluja
- pieni materiaalihukka
- pienet työstövoimat vaikka kyseessä on mekaaninen leikkausmenetelmä
- ei jäysteitä
- ympäristöystävällinen
- käyttö ja huolto eivät vaadi erikoiskoulutusta.

haittoja:

- melu, vesileikkaus 95 dB, abrasiivinen vesileikkaus jopa 120 dB
- rajoitettu ainepaksuus
- aineen kastuminen
- suuttimien kuluminen
- työturvallisuus, abrasiivinen vesisuihku säilyttää tehonsa 6 metrin etäisyydelle, vesisuihku 0,5 metrin etäisyydelle
- kallis laiteinvestointi
- abrasiivihiekan käsittelyn aiheuttama pöly sekä leikattujen kappaleiden pintaan jäävä pöly kulkeutuu muualle työtiloihin



Kuva 28. Eri muoveista vesisuihkuleikattuja vapaamuotoisia kappaleita.
/24/.

5.3 Plasmaleikkaus

Plasma Cutting.

Plasmaleikkaus perustuu suurienergiatiheyksisen plasman kuumentavan vaikutuksen käyttöön. Hiiliterästen leikkauksessa käytetään pääasiassa happiplasmaleikkausta. Aikaisemmin käytetty typpiplasmaleikkaus on syrjäytynyt happiplasmaleikkauksen mahdollistaessa suuremman leikkaurailon. Yleissääntönä voidaan pitää, että leikkauks jälki on sitä suurempi, mitä paksumpi on leikattava materiaali. 10-25 mm materiaaleilla leikkaurailon kaltevuus on 1-4 astetta, kun se ohuilla alle 1 mm materiaaleilla on jopa 15-25 astetta. Leikkuukustannuksia happileikkauksessa nostaa kulutusosien nopeampi kuluminen. Happileikkauksessa kaasuna käytettävä paineilma taas alentaa kaasukustannuksia. Happileikkauksessa polttimen kulutusosat on vaihdettava noin 100-150 kaarensytytyksen jälkeen, kun typpiplasmaleikkauksessa vaihtoväli on 500-600 sytytystä. Eräissä happileikkausjärjestelmissä on kulutusosien vaihtoväli pidennetty 400-1 200 kaarensytytykskertaan ohjaamalla kaarensytytyks- ja sammutusvirtaa suuttimen kulumisen kannalta edullisella tavalla. Plasmapolttin kulutusosineen kuvassa 29.

Plasmaleikkauksessa on tietyt minimilevynpaksuudet, joita ohuempia levyjä ei voida leikata. Tämä johtuu siitä, että poltinta ei voida kuljettaa tarpeeksi nopeasti, jolloin plasmapolttin ehtii sulattamaan metallin pois altaan, virtapiiri katkeaa ja plasmakaari sammuu.

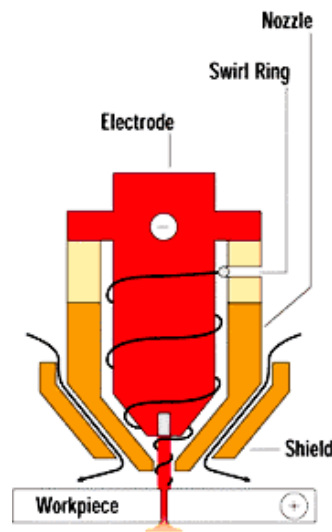
Menetelmän automatisoinnissa käytetään x-y-pöytää tai nivelvarsirobottia. Suurien kuljetusnopeuksien takia nivelvarsirobotin käyttö 3-D leikkauksessa saattaa olla ongelmallista. Robotin ohjaimen kapasiteetti ei aina riitä laskemaan tarvittavia akseleiden liikkeitä, varsinkin kun plasmapolttin on kokoajan pidettävä oikeassa kulmassa leikattavaan aineeseen nähden.

etuja:

- plasmaleikkaus on nopea menetelmä
- laitteisto on edullinen hankkia, hienosuihkuplasma on kallis
- pienet käyttökustannukset

haittoja:

- leikkausreunan laatu ei ole riittävä kaikissa sovelluksissa
- kulutusosien vaihto keskeyttää työstön



Kuva 29. Plasmaleikkauksen poltin. /19/.

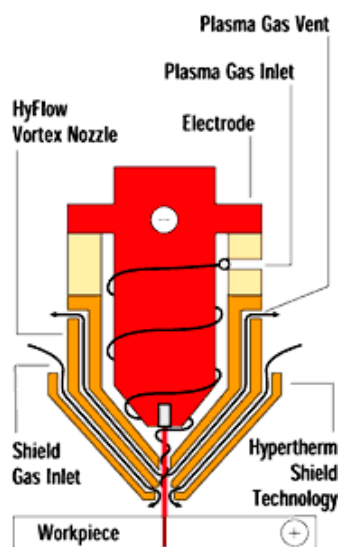
5.4 Hienosuihkuplasmaleikkaus

Precision Plasma Cutting. High Density Plasma Cutting.

Hienosuihkuplasmaleikkaus on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin perinteinen plasmaleikkaus, muttasuuremman virrantiheyden vuoksi lämmöntuonti on pienempi ja leikkau jälki parempi. Virrantiheys on noin kolminkertainen tavalliseen plasmaleikkaukseen verrattuna. Suurempi virrantiheys on toteutettu lähinnä polttimen erikoisjärjestelyin, kuva 30.

Leikkaurailon kaltevuus on 0-3 astetta riippuen levynpaksuudesta ja käytettävän leikkausvirran suuruudesta. Pienempi leikkausvirta johtaa hitaampaan leikkau nopeuteen, mutta parempaan leikkau jälkeen.

Polttimen kulutusosat on uusittava 600 - 1 200 sytytyksen jälkeen. Johtuen menetelmän suuremmasta tarkkuudesta on polttimenkuljetuslaitteiston oltava laadukas. Plasmakaasuina käytetään O_2 , ilma + H_2 , N_2 kaasuja tai ilmaa ja suojakaasuina O_2 , CH_4 kaasuja tai ilmaa riippuen leikattavasta materiaalista ja tarvittavasta pinnanlaadusta sekä leikkausnopeudesta. /19/



Kuva 30. Hienosuihkuplasmaleikkauksen poltin./19/.

5.5 Laserleikkaus

Laser Cutting.

Laserleikkaus on terminen prosessi, jossa materiaali osittain sulaa ja osittain höyrystyy lasersäteen vaikutuksesta. Lisäksi hapettava leikkauskaasua käytettäessä osa materiaalista hapettuu. Sula materiaali puhalletaan pois railosta kaasuvirtauksen avulla, joka tuodaan leikkaussuuttimen kautta leikkauskohtaan. Leikkauskaasuista yleisimmät ovat happi ja typpi. Typpi on kalliimpaa ja sillä päästään parempaan pinnanlaatuun. Happi voidaan korvata edullisella paineilmalla, jos leikkausnopeudesta voidaan tinkiä 20-30 %. Argonia käytetään hyvin reaktiivisten materiaalien kuten titaanin tai zirkonin leikkauksessa.

Laitteistona on laserin tuottava laitteisto sekä säteenkuljetuksesta vastaava nivelvarsi- tai portaalirobotti. Laserlaitteisto voi olla myös yhdistettynä levytyökeskukseen, jolloin laserpää on paikoillaan ja levyä liikutetaan. Muovattujen kappaleiden rajausta ja aukotusta voidaan tehdä myös muovauksen jälkeen, jolloin reiät saadaan paremmin oikeisiin mittoihin ja tuotevariaatioiden määrää voidaan kasvattaa. Tämä edellyttää kolmidimensionaalista työstöä.

CO₂-laserit ovat teollisuuskäytössä yleisiä. Säteen kuljetus tapahtuu peilien avulla. Se on joustava menetelmä silloin, kun leikataan erilaisia vakiotuotteita. Useimmat ohutlevyjen leikkauksen työasemat ovat varustetut CO₂-laserilla.

Nd:YAG-laserin etuna on säteen johdettavuus valokaapelia pitkin, jonka vuoksi se on helpommin liitettävissä automaatiosovelluksiin. Joustavan kuidun ja nivelvarsirobotin avulla kolmidimensionaalinen työstö on mahdollista. Robottityöaseman helppo käytettävyys säteen helpon kuljetettavuuden vuoksi on Nd:YAG-laserin yleistymisen suurimpia syitä.

Vesisuihkuleikkauksen ja Nd:YAG-laserin yhdistelmämenetelmää käytetään normaalin vesisuihkuleikkauksen tapaan. Laser kulkee veden sisällä absorboitumatta ja tehostaa vesisuihkun leikkauskykyä. Menetelmä on erityisen sopiva lämpöherkkien ja ohuiden materiaalien tarkkuusleikkaukseen. /57/.

Laserteknologian käyttö teollisuudessa on lisääntynyt. Syynä on paljolti ollut se, että tavallisilla tekniikoilla ei ole saavutettu riittävä joustavuutta. Laserin käyttöönotto vaatii hankkeeseen sitoutumista tuotesuunnittelusta alkaen. Tuotteet on suunniteltava menetelmä ja sen ominaisuudet huomioiden.

etuja:

- joustava menetelmä
- ei työkalukustannuksia
- ei työkalunvaihtoja
- ei asetusajoja
- leikkuujälki on hyvä
- monimutkaisten muotojen leikkaus, 3-D leikkaus
- pienten leikkuuvoimien vuoksi ei vaadi järeitä kiinnittimiä
- helppo ohjelmointi ja nestaus
- suunnittelijoille vapaammat kädet

haittoja:

- kallis investointi
- korkeat käyttökustannukset
- tilantarve

soveltuvuus:

- monimutkaiset leikkaukset
- joustava tuotanto

Lasertyöasemien leikkuunopeutta on kasvatettu käyttämällä leikkauspään liikuttamiseen lineaarimoottoreita perinteisen kuulamutteriruuvi-moottori yhdistelmän sijaan. Näin leikkauspään kuljetuslaitteiston massa ja hitaus ovat vähentyneet ja kiihtyvyys, hidastuvuus ja liikenopeudet ovat lisääntyneet.

Laserlaitteistojen hintojen halpeneminen tulevaisuudessa tulee asettamaan ne erilaiseen kilpailuasemaan muihin leikkausmenetelmiin nähden. On ennustettu, että laitteistojen hinnat tippuisivat kymmenesosaan seuraavan viiden vuoden kuluessa. Jotkut ennusteet taas veikkaavat, että kehitys tapahtuisi kuten esimerkiksi tietokoneilla, eli ominaisuudet paranevat, mutta hinnat säilyvät ennallaan ajan kuluessa.

Tuotekehitystyötä tehdään lasereiden parissa ja tämän päivän laitteet jäävät vanhanaikaisiksi lähitulevaisuudessa. Ohutlevyteollisuudessa investointeja suunniteltaessa on lasereiden hinta- ja laitekehitystä seurattava.

5.6 Yhdistelmälevytyökeskus

Yhdistelmälevytyökeskuksella on mahdollista sekä laserleikkaus että mekaaninen leikkaus lävistystyökaluilla, eli lävistäminen. Useimmiten käytettävä laitteisto on CO₂ -laser. Yhdistelmälevytyökeskus kuvassa 31.



Kuva 31. Yhdistelmälevytyökeskus. /60/.

Investointihinnaltaan yhdistelmälevytyökeskus on kallis. Samalla hinnalla saa erilliset levytyökeskuksen ja laserleikkaustyöaseman. Onkin mietittävä tuotelähtöisesti kannattaako laitteet hankkia erikseen vai hankkia kone, jossa on molemmat toiminnot.

Laserleikkauksessa kaikki kappaleiden muodot on laserleikattava, myös yksinkertaiset reiät ja neliöt. Laatu on kappaleen kaikissa kohdissa sama, mutta myös tuotantokustannukset ovat korkeat. Laserleikkaus on hyvä menetelmä kaarevia muotoja leikattaessa. Leikkuujälki on hyvä ja leikkuunopeus saattaa olla suurempi kuin lävistyksessä. Levynhukka on pienempi kuin lävistämällä leikattaessa.

Kustannuksia laserleikkauksessa aiheutuu leikkauskaasuista, sekä laserlaitteiston kaasunkulutuksesta ja suuresta virrankulutuksesta. Leikattava materiaali ja haluttava pinnanlaatu sanelevat leikkauskaasun. Hapella leikkaaminen on edullisempaa kuin tyellä. Tyypileikkauksen leikkausjälki on parempi.

On olemassa myös typenkehittämiä, jotka kehittävät tyypeä ilmasta. Näin typpikustannuksia saadaan pienemmiksi, mutta näin tehty tyyppi ei ole niin puhdasta kuin kaasunvalmistajan toimittama. Typenkehittimillä valmistetulla tyellä leikattaessa leikkausjälki on heikompi ja epäpuhdas tyyppi aiheuttaa leikkauskohdan värjäytymistä. Kaikkien vaativimpiin leikkaustilanteisiin tämä tyyppi ei siis sovellu.

Lävistyslevytyökeskuksella kaikki kappaleiden muodot on tehtävä lävistämällä, myös monimutkaiset erikoistyökaluin tehtävät muodot. Tuotantokustannukset ovat edullisemmat, mutta jälki kaarevilla muodoilla ei ole yhtä hyvä kuin laserilla leikattu. Lävistäminen on kilpailukykyinen valmistusmenetelmä, kun muodot eivät vaadi erikoistyökaluja tai sisällä muuttuväsiteisiä kaaria.

Yhdistelmälevytyökeskuksella valmistettavien tuotteiden valmistusteknillinen ajattelu on erilainen. Koneen eri leikkausmahdollisuuksia voidaan käyttää luovasti. Voidaan panostaa laatuun läpäisyajan kustannuksella, läpäisy aikaan laadun kustannuksella ja voidaan tehdä nopeasti sellaisia muotoja, jotka lävistämällä tehtynä vaatisivat erikoistyökaluja tai useita iskuja eri työkaluilla.

Jos samoissa kappaleissa on sekä lävistettäviä muotoja että laserleikattavia muotoja, saattaa yhdistelmälevytyökeskus olla perusteltu. Jos taas kappaleet leikataan joko laserilla tai lävistämällä, saattaa kaksi eri konetta olla perusteltu investointi. Yhdistelmälevytyökeskuksen nopeutta hidastaa ja leikkuukustannuksia nostaa kappaleilla, joissa on suoria leikkauksia jonkinverran se, ettei koneeseen voida liittää kulmaleikkuria.

Tavallisilla tai yhdistelmälevytyökeskuksilla on myös jossain määrin mahdollista muovata, taivuttaa ja kierteyttää.

Koska laseryhdistelmälevytyökeskukseen ei voida liittää kulmaleikkuria, pitää tehdä valinta laserin ja kulmaleikkurin välillä. Tämä valinta perustuu valmistettävien kappaleiden geometriaan. Jos tuotanto koostuu pääosin suorakaiteen muotoisista kappaleista, on kulmaleikkurilla varustettu levytyökeskus oikea valinta. On huomioitava kulmaleikkurin maksimileikkuupaksuus, joka on 3-5 mm. Mikäli tuotanto on vaihtelevaa kannattaa valita joko laseryhdistelmälevytyökeskus tai laserleikkaustyöasema.

Yhdistelmälevytyökeskuksessa, kuten tavallisessakin levytyökeskuksessa, on pudotusluukku, joten pienet kappaleet voidaan suoraan leikata irti levystä ja pudottaa pois luukun kautta laatikkoon. Laserleikkauksessa levy on paikoillaan työstön ajan, joten pudotusluukku ei voi olla ja kaikki kappaleet on jätettävä silloilla kiinni levyyn.

laser on hyvä valinta, jos:

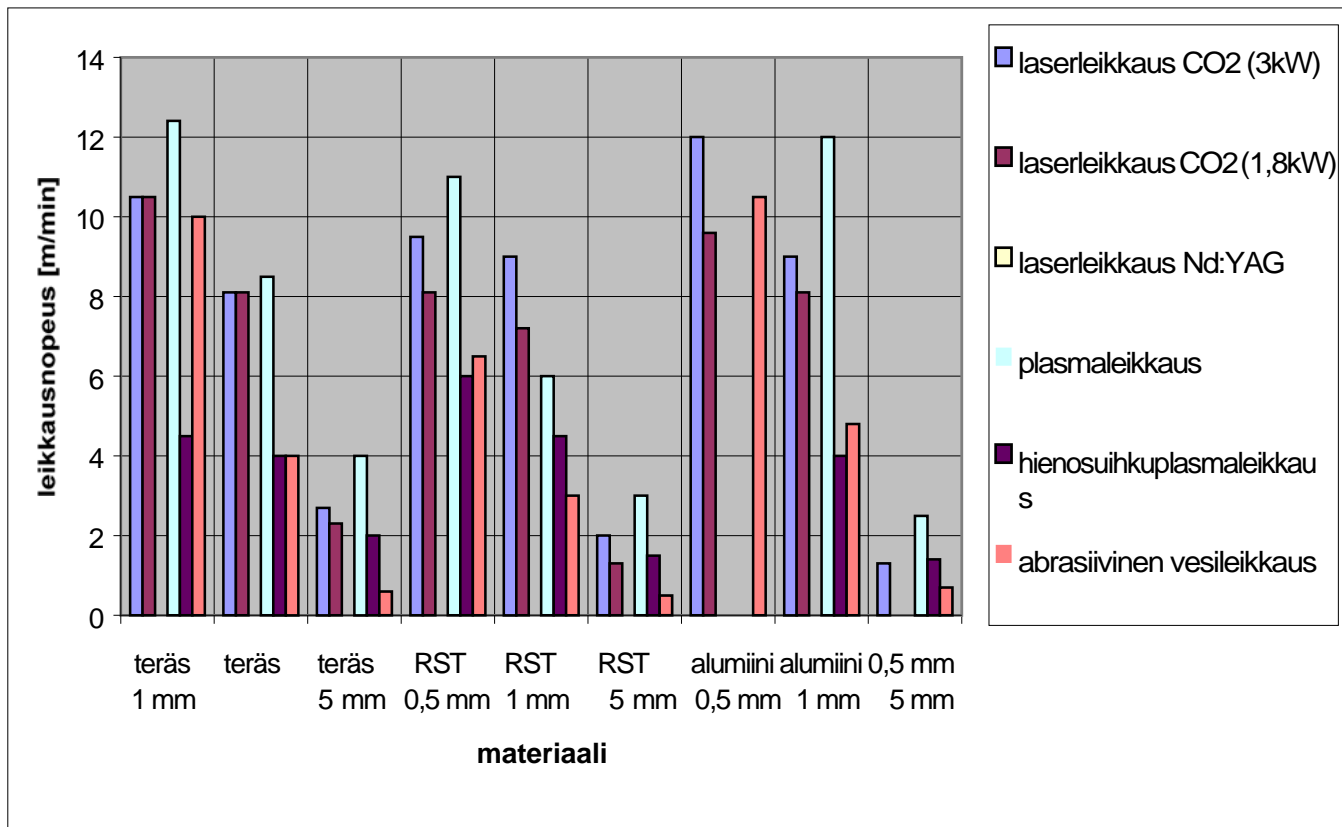
- monimuotoisia kappaleita
- pienet ulkosäteet
- levynpaksuus suurempi kuin 3-5 mm, myös ohuemmilla levynpaksuuksilla, jos tuotanto on vaihtelevaa ja monimuotoista

kulmaleikkuri on hyvä valinta, jos:

- suorakaiteenmuotoisia osia /60/.

5.7 Leikkausmenetelmien vertailua

Taulukko 4. Leikkausmenetelmien nopeuksia. /6//19//48/.



Taulukossa 4 on vertailtu eri leikkausmenetelmien nopeuksia eri materiaaleilla ja materiaalivahvuuksilla. Leikkausmenetelmiä valittaessa tulee ottaa huomioon leikattavat materiaalit ja materiaalipaksuudet sekä leikkausnopeus ja tarvittava pinnanlaatu. Vertailun vuoksi nykyaikaisen levytyökeskuksen nopeus on noin 10 m/min terästä lävistämällä leikattaessa.

6 OHUTLEVYJEN LIITTÄMINEN

Ohutlevyjen liittämismenetelmät jaetaan neljään pääryhmään:

- mekaaniset liitokset
- hitsausliitokset
- juottoliitokset
- liimaliitokset

Lisäksi näitä voidaan yhdistellä. Liittämismenetelmän valintaa vaikeuttaa ohutlevymateriaalien ja liitosvaihtoehtojen runsaus. Usein joudutaan tutkimaan liitoksen toiminto kokonaisuutena ja valitsemaan sopivin vaihtoehto esimerkiksi arvoanalyysin avulla. /1/.

Liittämismenetelmän valintaan vaikuttavat:

- esivalmistelut
- asennettavuus, kokoonpantavuus ja huollettavuus
- automatisoitavuus
- nopeus, tahtiaika ja asetus aika
- sarjasuuruudet
- menetelmien kustannukset
- käytettävissä olevat koneet
- työturvallisuus
- avattavuus
- käyttöolosuhteet eli lämpötila, kosteus ja kemikaalit
- ominaisuuksien säilyminen
- perusaineen sopivuus liittämismenetelmälle
- pinnoitemateriaalien vaikutus liitettävyyteen
- tiiveys
- ulkonäkö
- vaadittava lujuus

6.1 Liimaus

Adhesive Bonding.

Liimaus on monipuolinen, perinteisiä liittämistapoja täydentävä menetelmä. Oikein käytettynä liimauksella voidaan päästä taloudelliseen lopputulokseen, keventää rakennetta ja liittää hyvinkin erilaisia materiaaleja yhteen. Liimauksen yleistymistä on haitannut liimauskokemuksen- ja tutkimuksen puute. Ohutlevyjen liimaamiseen soveltuvien liimojen määrä kasvaa jatkuvasti. /1/.

Tärkeimmät käytössä olevat liimat voidaan jakaa seuraaviin luokkiin liiman tyyppin mukaan:

- reaktiokovettuvat rakenneliimat (polyuretaani-, akryyli- ja epoksiliimat)
- sulateliimat (hot melt)

etuja:

- eripaksuisten ja eri materiaalien liittäminen
- liimakerros vaimentaa värähtelyjä
- liimaliitos on tiivis
- liimaliitos on kevyt
- liimaliitoksella on hyvä väsymislujuus
- hyvä kemiallinen kestävyys
- ei aiheuta mikro- eikä makrorakennemuutoksia perusaineessa
- jännitysten tasaisempi jakautuminen
- liimaus voidaan tehdä yksinkertaisilla välineillä

haittoja:

- heikko repimis- ja kuorimislujuus
- lujuus huononee lämpötilan ja kosteuden vaihdellessa
- epävarmuus pitkäaikaiskestävyydestä, vaatii testausta
- terveydelliset haitat, epoksi- ja akryyliiimat turvallisempia
- kuivumisaika, voidaan nopeuttaa lämmittämällä
- laadunvarmistus on hankalaa
- levyn puhdistaminen ennen liimausta

liimauksen käyttö on perusteltua, kun:

- halutaan laajoja ja tasaisia liitospintoja
- hitsaus aiheuttaa liikaa jälkityötä
- halutaan välttää vetelyjä ja jäännösjännityksiä
- jännitykset jakautuvat tasaisesti kuormituksessa
- rakennemuutokset perusaineessa eivät ole sallittuja
- halutaan liittää ei hitsattavia materiaaleja
- liitetään eripariliitoksia
- halutaan joustava ja värähtelyjä vaimentava liitos
- liitospinnat ovat suuria

liimaus ei sovellu, jos:

- korkea käyttölämpötila, yli 100 °C, erikoisliimoilla yli 300 °C
- jauhemaalateissa lämpötila ylittää sallitun käyttölämpötilan
- liitos on jatkuvasti alttiina kosteudelle, pohjusteen käyttö parantaa kosteudenkestoa
- liitokselta vaadittavat lujuudet ovat 10-30 N/mm² suuremmat
- vanheneminen ei ole sallittua
- liitos on oltava avattavissa
- liitokseen kohdistuva kuormitus on kuorimista tai halkaisua, eikä sitä voi liitoksen muotoilulla välttää
- liitettävät materiaalit vaativat paljon esikäsittelyä ennen liimausta
- liitospinnat ovat pieniä

Yksi suurimmista liimauksen yleistymistä hidastavista tekijöistä on epävarmuus liitoksen pitkäaikaiskestävyydestä. Liimaliitoksen ominaisuuden muuttuvat ajan mukana eli liimaliitokset vanhenevat. Vanhenemista aiheuttavat lämpötila, kosteus, jännitykset, jäätyminen ja sulaminen, kemikaalit ja ilmansaasteet.

Leikkauslujuus liimaliitoksilla on hyvä ja suora vetolujuus kohtalainen tai hyvä. Liimaliitos pyritään suunnittelemaan siten, että siinä esiintyy enimmäkseen suoraa vetojännitystä tai leikkausjännitystä. Repivää tai kuorivaa kuormitusta pyritään suunnittelussa välttämään, vaikkakin liimojen ominaisuudet ovat näissä kuormitustapauksissa kehittyneet. /61/.

6.2 Teippaus

Adhesive Tape.

VHB-teipit ovat kaksipuoleisia kokonaan liimamassasta valmistettuja teippejä. Ne kestävät mekaanista rasitusta, korroosiota sekä ympäristön rasituksia. VHB teippejä on ollut markkinoilla yli kaksikymmentä vuotta, joten niiden pitkäaikaiskestävyys on kokemuksia.

Liittämismenetelmä täytyy huomioida jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Teippausautomaatin luoksepääsevyys, liitoksen aloitus- ja lopetuskohdat sekä voimien vaikutussuunnat tulee ottaa huomioon. Liitospintojen karhennus ja puhdistus liottimella on mahdollisesti tarpeen.

Teippauksen edut tulevat esiin pinnoitettujen materiaalien liittämässä, kun pinnoite ei saa vaurioitua. Liitoksen valmistus ei vaadi erityistä tarkkuutta eikä ammattitaitoa. Teippaaminen voidaan automatisoida kappaleenkäsittelyn suhteen ja teippi voidaan levittää koneellisesti. /28/.

Teippaamista voidaan käyttää varmistamaan liimattu liitos, kunnes liima ehtii kuivua. Teippaus soveltuu syvin eri ainesten liittämiseen toisiinsa, esimerkiksi lasi-metalli-liitokset.

etuja:

- ei vaadi luoksepääsyä toiselta puolelta
- ei pinnan vaurioitumista
- tiivistysominaisuudet
- värähtelyjen vaimennus
- helppo asentaa
- pienet investoinnit
- parantunut työturvallisuus

haittoja:

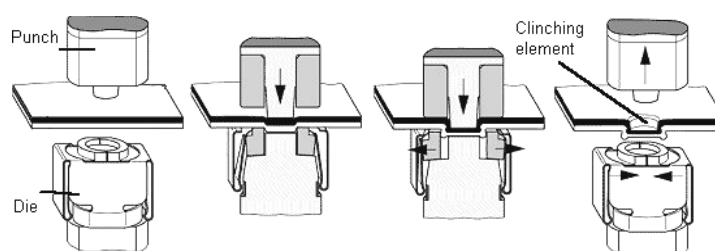
- lujuus kuorimisen suhteen
- maksimilämmönkesto 90 °C jatkuva, 200 °C hetkittäinen /61/.

6.3 Puristusliittäminen

Clinching. Press-joining.

Puristusliittämisessä ohutlevyt muotolukitaan toisiinsa pistin-tyyny työkaluparilla yhteen puristamalla niin, että liitettävät levyt muovautuvat paikallisesti ja syntyvä muoto lukitsee levyt toisiinsa. Liittämistyövaiheiden periaatteet ovat kuvassa 32. Puristusliittämällä voidaan liittää yhteen erilaisia materiaalipaksuusyhdistelmiä, joissa yksittäisen levyn paksuus on 0,2-4,0 mm. Ohjearvona voidaan pitää, että puristusliitoksen lujuus on 35-100 % pistehitsin lujuudesta. Elastisemmän rakenteen ja lämpövaikutuksen puuttumisen ansiosta puristusliitoksen väsymislujuus on parempi kuin pistehitsin. Pistimen puolelle liitokseen jää painauma, tyynyn puolella liitoskohdassa on nysty. Liitoksen tekoon ei tarvita suurta voimaa. Voimantarve vaihtelee välillä 10-100 kN liitospistettä kohti liitettävistä materiaaleista ja työkaluista riippuen. Puristusliittäminen voidaan suorittaa usealla pisteellä yhtä aikaa, jolloin koko kappaleen liitokset tapahtuvat yhdellä työliikkeellä. Tämä nopeuttaa liittämistä ja tekee lopputuloksesta huolitellumman näköisen, kun pisteet sijaitsevat symmetrisesti kappaleessa.

Varsinkin sinkittyjen teräslevyjen pistehitsauksessa ongelmana on elektrodien lyhyt kestoikä. Elektrodit joudutaan kunnostamaan muutaman sadan liitoksen välein. Puristusliittämiseen ominaista on työkalujen pieni kuluminen. Niinpä työkalujen käyttöikä voi olla 200 000 työiskua. Sinkitystä materiaalista irtoava aine aiheuttaa työkalujen tiheämmän puhdistusvälin ja nopeuttaa työkalujen kulumista.



Kuva 32. Puristusliittämisen periaate. /54/.

Puristusliittäminen on hitaampi menetelmä kuin pistehitsaus, kun liitetään piste kerrallaan. Hitaus johtuu liittämispäiden hitaista sulkeutumis- ja avautumisliikkeistä, jotka ovat noin 1 sekunti. Jotta puristusliittämiseen investointi olisi kannattava, tulee liittämistä automatisoida niin, että yhdellä työkierrolla syntyy monta liitospistettä. Automatisointi voidaan suorittaa robotilla niin, että roboti joko liikuttaa kappaletta kiinteän liitospään välissä tai robotilla on työkaluna puristusliittämispihdit ja kappale on kiinni kiinnittimessä. Yhden pisteen laitteisiin voi myös rakentaa automaattityökierrolla varustettuja manipulaattoreita, joilla kappaleen liitokset syntyvät automaattisesti piste kerrallaan. Monipistetyökalulla saadaan aikaan osa taikka kaikki kappaleen liitokset yhdellä työiskulla.

Puristusliittämistä varten on saatavissa myös kuvan 33 tyyppisiä keveitä käsityökaluja. Nämä ovat joko paineilma- hydraulii-, sähköhydraulii-, sähkö-, tai akkukäyttöisiä ja painot vaihtelevat 4 – 26 kg. Lattiallaseisovat manuaalikoneet ovat kuvan 34 mukaisia.



Kuva 33. Kevyt käsikäyttöinen hydraulinen puristusliittämiskäsityökalu. Puristusvoima on 50 kN ja paino 4 kg. /54/.

Puristusliittäminen voidaan myös yhdistää liimaamiseen, jolloin aikaansaadaan tiivis liitos. Tällöin vältetään myös rakokorroosio. Liimanlevittäminen ja puristusliittäminen automatisoidaan esimerkiksi nivelvarsirobotin avulla, jolloin liimanlevittämistä, kappaleenkäsittelyä ja puristusliittämistä varten on omat robottityökalunsa. Menetelmä sopii hyvin pinnoitetuille levyille. Puristusliitospisteet pitävät kappaleet yhdessä, kunnes liima on kuivunut. Näin saadaan liimattavien kappaleiden läpäisyäikää huomattavasti lyhennettyä. /47/.



Kuva 34. Puristusliittämiskone. /53/.

etuja:

- soveltuu eri materiaalia olevien levyjen liittämiseen
- soveltuu eri paksuutta olevien levyjen liittämiseen
- soveltuu kahden tai useamman levyn liittämiseen
- sopii pinnoitetuille levyille
- voidaan käyttää yhdessä muiden liittämismenetelmien kanssa.
- liitettävien levyjen välissä voi olla paperi, muovi tai kangas
- monikerroslevyjä voidaan liittää
- ei vaadi liitoskohtaan etukäteistoimenpiteitä
- levyjen pinnoite ei yleensä tuhoudu, korroosiosuoja säilyy
- voidaan tehdä useita pisteliitoksia kerralla
- hiljainen, savuton, roiskeeton, hajuton, myrkytön, lämmötön, ei valokaarta
- pieni energiankulutus
- kustannukset sinkityn teräslevyn liittämässä huomattavasti pienemmät kuin pistehitsauksella, taulukko 5.

haittoja:

- vaatii luoksepäästävyden levyn molemmilta puolilta
- liitoksen ulkonäkö
- materiaalit muokkauslujittuvat liitoksessa
- tarvitaan useita pistin-tyyny pareja eripaksuisille levyille ja eri materiaaleille
- liitoksen tulee olla limiliitos
- liitoksessa tulee olla riittävästi tilaa työkalulle
- pistin ja tyyny arkoja roskille /1/.

Taulukko 5. Puristusliittämisen, onttoniittauksen ja pistehitsauksen kustannukset, kun liitettävä materiaali on 20 μ m sinkkikerroksen omaava hiiliteräs. Hinnat ovat penniä/liitospiste ja kyse on autoteollisuuden tuotantomääristä. /46//52/.

	puristusliittäminen	onttoniittaus	pistehitsaus
investointi	5,7	9,8	9,8
käyttökulut	3,2	4,9	11,5
yhteensä	8,9	14,7	21,3
suhdeluku	1	1,7	2,4

Automaattisilla valmistuslinjoilla puristusliittämistyökalut integroidaan valmistuslinjaan ja usein liittämistyövaiheeseen tuodaan kappaleita myös valmistuslinjan ulkopuolelta. Itse puristusliittäminen on yksinkertaista verrattuna kappaleenkäsittelyjärjestelmään, joka tuo tarvittavat osat liittämispisteeseen ja suorittaa asemoinnin. /46/.

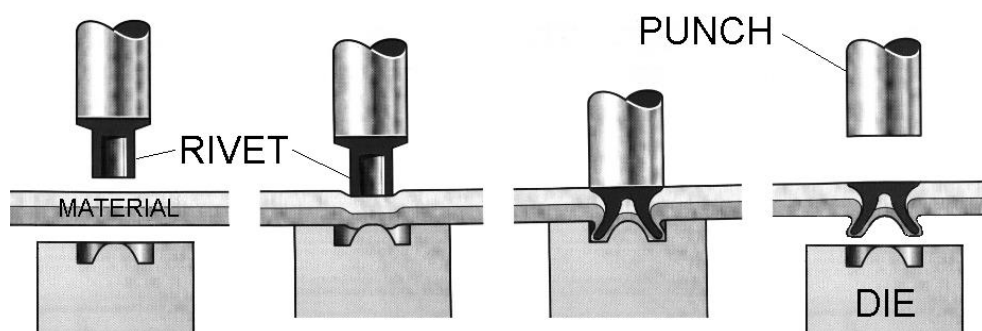
6.4 Niittaus ilman esireikää

Niittaus ilman esireikää helpottaa asennusta, kun reiän poraaminen jää työvaiheena pois. Jos aihiot ovat tehdyt levytyökeskuksella tai vastaavalla menetelmällä esireiät syntyvät helposti. Esireikä helpottaa paikoitusta jos osat ovat muuten mittatarkkoja.

6.4.1 Onttoniittaus

Riveting.

Putkimaiset onttoniitit eivät tarvitse esiporattua reikää, eikä niittauksessakaan synny läpireikiä. Niitin yläpinta on niittauksen jälkeen painautunut samalle tasolle levyn yläpinnan kanssa. Niitti on muovautuva. Kiinnitettävien levyjen taustapuolelle muodostuu kohouma. Niittausmenetelmän työvaiheet ovat kuvassa 35 ja onttoniittauskone on kuvassa 36. Hyvistä lujuusominaisuuksista johtuen tämä menetelmä on hyvä vaihtoehto varsinkin vaikeasti pistehitsattavien materiaalien liittämiseen. Niitit toimitetaan muovinauhassa ja niitä saa eri värisinä. Liitoksen suunnittelussa on materiaaliparit valittava niin, että galvaaninen korrosio ei syövytä niittä.



Kuva 35. Onttoniittauksen periaate. /30/.

etuja:

- eri materiaalien liittäminen
- pinnoitettujen levyjen liittäminen
- ei hitsattavien materiaalien liittäminen
- hyvä ulkonäkö
- ei roiskeita eikä huujuja
- parempi lujuus kuin puristusliitoksella

haittoja:

- suuremmat kustannukset kuin puristusliittämisellä



Kuva 36. Onttoniittauskone. /29/.

6.4.2 Lävistysniittaus

Lävistävä niitti muistuttaa onttoniittausta sillä erolla, että niitti tekee reiän liitettäviin levyihin ja niitti on muodoltaan tiimalasin muotoinen umpiniitti. Lävistävä niitti ei tarvitse esireikää. Liittämisen vaiheet ovat niitin syöttö, lävistys, pistimen ja tyynyn työliike, jolla liitoskohdassa oleva materiaali muovataan tiiviisti niittiä vasten. /55/.

6.5 Laserhitsaus

Laser Welding.

Laserhitsaus on konepajasovelluksissa syvätunkeuma- eli avaimenreikähitsausta (key-hole). Lasersäde kohdistetaan yleensä hitsattavan pinnan normaalin suuntaisena. Metallin pinta alkaa kiehua ja avaimenreikä saadaan muodostumaan. Kun syntyneen metallihöyryn paine on riittävän suuri, saadaan koko materiaalin läpi ulottuva reikä.

Suojakaasuna hitsauksessa käytetään yleisesti argonia, heliumia, typpeä ja hiilidioksidia sekä niiden seoskaasuja. /58/.

Sinkityn levyn laserhitsauksessa sinkki höyrystyy 900 C° asteessa aiheuttaen hitsiin huokosia päällekkäisliitoksella. Jättämällä levyjen väliin 0,1 mm rako höyrystynyt sinkki poistuu liitoksesta ja saadaan aikaan hyvälaatuinen liitos. Päittäis- ja pienaliitokset ovat sopivia sellaisenaan. /1/.

etuja:

- suuri hitsausnopeus
- automatisoitu, kosketukseton prosessi
- joustavuus: samalla laserilla voidaan hitsata ja leikata
- yhdeltäpuolelta tapahtuva liittäminen
- ei tarvita lisäainetta
- pieni lämmöntuonti
- kapea ja huomaamaton hitsi
- monimuotoisten kappaleiden valmistus
- hyvä mittatarkkuus
- vähäinen jälkityöstön tarve
- ei työkaluja
- luoksepääsy vaikeisiin paikkoihin
- konstruktiomuutokset helppoja toteuttaa
- liitosmuodon valinta on vapaa

haittoja:

- kalliit laitteistot
- suuret käyttökustannukset
- railosovitukset oltava tarkkoja
- parametrien haku vaatii erikoisosaamista
- vaatii erityishuomiota työturvallisuuteen

Muovipinnoitettu tai maalattu levy voidaan hitsata pinnoitteen puolelta, jolloin pinnoite vaurioituu vain pieneltä alalta. Hitsi voidaan tehdä myös taustapuolelle, jolloin lämmöntuontia voidaan hallita siten, ettei tunkeumayllä pinnoitteeseen ja pinnoite ei vaurioidu. Käytännössä minimilevynpaksuus on 0,75 mm. Ohutlevyjen hitsauksessa vaikeutena ovat railotoleranssit, eli käytännössä levyjen vetely ja kiinnittimien toteuttaminen.

Hitsauksessa käytetään Nd:YAG- ja CO₂-laseria. Nd:YAG-laserin etuna on säteen kuljetus valokuitua pitkin, jolloin hitsausympäristön pöly tai värähtelyt eivät haittaa säteenkuljetusta. Lasersäde voidaan jakaa usealle työasemalle.

Nd:YAG-hitsauksessa ei aina käytetä lainkaan suojakaasua. Esimerkiksi hiilliteräksen hitsaus onnistuu hyvin ilman suojakaasua. Tämä tosin aiheuttaa huokosia ja sulkeumia hitsiin heikentäen lujuutta. Ruostumattomilla teräksillä suojakaasua käytetään lähes aina, koska korroosionkeston takia hapettumattomuus on tärkeää.

6.6 Kaarijuotto

Arc Soldering.

Kaarijuotto muistuttaa ulkoisesti hyvin paljon MIG-hitsausta. Laitteistoksi käy tavallinen MIG/MAG-laitteisto. Ohuilla levyillä ja epäedullisissa hitsausasennoissa virtalähteeltä vaaditaan synergistä pulssitusta, ettei sula muodostuisi liian suureksi. Erona MIG/MAG-hitsaukseen on lisäaineen laatu. Kaarijuotossa käytetään alumiinipronssista tai piipronssista umpilankaa ja suojakaasuna puhdasta argonia tai argon-hiilidioksidi seoskaasua. Valokaari sulattaa lisäaineen, joka siirtyy pisaroina liitoskohtaan. Perusaine ei sula, joten liitettäessä terästä alumiini- tai piipronssilangalla voidaankin puhua kaarijuottamisesta. Valokaari kuumentaa liitospinnat, lisäainesula kostuttaa ne ja liittää yhteen jäähtyessään. Päittäisliitoksessa tulee käyttää pientä ilmarakoa, jotta sula pääsee tunkeutumaan liitoksen taustapinnalle.

Sinkkipinnoite ei aiheuta kaarijuotossa ongelmia, vaan sulava sinkki parantaa juotteen kostutusominaisuuksia, pienentää huokoisuutta ja parantaa kaaren hallintaa. Kuvissa 37 ja 38 on esitetty kaarijuotetun sinkityn levyn liitoksen ulkonäkö. Kaarijuoton palko on huomattavasti pienempi kuin hitsaamalla syntyvä. Liittäminen tapahtuu kuumakaarialueella tai pulssikaarialueella riippuen levyn paksuudesta ja hitsausasennosta. Virran synerginen pulssitus mahdollistaa myös käsinjuoton. Hitsausvirtälähteeltä vaaditaan pulssituksen lisäksi stabiilia toimintaa matalilla virta-arvoilla. Kuljetusnopeus on 2-3 mm pienajuotossa 2-4 m/min. Siirryttäessä automatisoidusta hitsauksesta automatisoituun kaarijuottoon tulee huomio kiinnittää juottoparametrien, lisäainelangan ja suojakaasun tyyppin vaikutukseen juoton onnistumisessa, sekä automatisointilaitteen, kuten robotin, tarkkuuteen suuremmilla kuljetusnopeuksilla ja pienemmällä palolla /1//12/.



Kuvat 37 ja 38. Sinkityn ohutlevyn kaarijuotto. Kuva 37 yläpuolelta ja kuva 38 alapuolelta.

etuja:

- suuri nopeus, 3-4 kertainen verrattuna robotisoituun MIG/MAG hitsaukseen
- pieni lämmöntuonti
- sinkkikerroksen vähäinen vaurioituminen, joten hyvä korroosionkesto
- vähäinen jälkikäsittelytarve, hyvä ulkonäkö
- vähemmän sinkkihuuruja

haittoja:

- suurilla materiaalivahvuuksilla laitteistolta vaaditaan suurta langansyöttönopeutta, 18-22 m/min, johon vanhat laitteistot eivät välttämättä pysty, pienillä levynpaksuuksilla tämä ei ole ongelma koska langansyöttönopeudet ovat normaalilla tasolla
- pronssilisäainelanka on teräslankaa pehmeämpää, joten langansyöttölaite on oltava korkealaatuinen
- juottopää on kohdistettava tarkasti
- kallis lisäaine, hinta n. kymmenkertainen verrattuna teräsumpilankaan
- stabiili ja synergisellä pulssituksella varustettu virtalähde on kalliimpi
- juotteen lujuus on pienempi kuin hitsauksen lujuus

sovellukset:

- erityisesti sinkitty teräs

6.7 Hitsausprosessien tehostaminen

Robottihitsaukseen siirtymisessä on joskus ollut havaittavissa, että hitsausta on jatkettu samoilla parametreilla kuin aikaisemmin käsinhitsauksessa on totuttu tekemään. Tämä ei kuitenkaan ole automatisoidun hitsauksen idea. Automatisoitu hitsaus mahdollistaa tehokkaampien hitsausparametrien käytön, koska hitsaaja on siirretty pois hitsaustapahtuman läheltä ja hitsauspolttimen liikkeet ovat suurillakin nopeuksilla vakaita ja tarkkoja.

Hyvä mittari hitsausprosessien tehostumisessa on lisäaineen kulutus. Kun lisäaineen kulutus tunnissa kasvaa hitsattaessa samoja tuotteita, on hitsausprosessi tehostunut.

MAG-hitsaukseen vaikuttavat parametrit, joita optimoimalla voidaan hitsausta tehostaa:

- suojakaasun laatu ja virtaus
- lisäaineen laatu ja syöttönopeus
- vapaalangan pituus
- polttimen kuljetusnopeus
- polttimen asento
- virta
- jännite
- pulssitus

6.8 Ultraäänihitsaus

Ultrasonic Welding.

Ultraäänihitsauksessa kappaleet puristetaan yhteen ja liittämisenenergia tuodaan liitokseen värähtelevän sonotrodirin avulla. Kappaleita ei kuumenneta sulamispisteeseen, vaan kappaleet puristetaan yhteen ja liittäminen tapahtuu korkeataajuisten mekaanisten värähtelyjen avulla. Pienestä tehosta johtuen menetelmä sopii pienten ja ohuiden levyjen liittämiseen. Liitettävien kappaleiden paino on yleensä alle 10 g. Alasimen puoleisen kappaleen painolle ei ole rajoituksia. Lyijyn, tinan ja sinkin liittäminen ei onnistu johtuen niiden pienestä kitkasta. Sama koskee myös näistä valmistettuja levynpinnoitteita. Metallien liittämisessä käytetään vaakatasoista oskillaatiota, kun taas muovien liittämisessä käytetään pystytasoista oskillaatiota. Tämän vuoksi samat laitteistot eivät sovellu muovin ja metallin hitsaamiseen. Käsikäyttöinen laitteisto muovin hitsaamiseen on kuvassa 39. /1//33//40/.

Ultraäänihitsaus soveltuu kokoonpanotyöhön. Hitsi on pieni ja huomaamaton, eikä hitsaustapahtuma aiheuta roiskeita eikä huujuja.



Kuva 41. Ultraäänihitsauskone muovin hitsaamiseen. /31/.

6.9 Yhdeltä puolelta tapahtuva liittäminen

Yhdeltä puolelta suorittava liittäminen on joissakin tapauksissa välttämätöntä, kun liitettävän kohteen vastapuolelle ei päästä työkalulla. Tällöin mahdollisuuksia ovat vetokaraniittaus, ruuviliitos ja rosetteliliitos, sekä erikoishitsausmenetelmät.

Vetokaraniittaus tunnetaan parhaiten kauppanimellä pop-niittaus. Vetokaraniitistä on olemassa myös itseporaava versio, jolla vältetään esireiän tekeminen erillisenä työvaiheena. Uudentyyppiset itseporaavat ruuvit ovat myös jatkuvan kehitystyön kohteena. Kannan muotoa muuttamalla asennettavuutta on parannettu.

Rosette-menetelmässä esirei'itetty sekä toinen esirei'itetty ja kaulustettu kappale liitetään toisiinsa kääntämällä kaulukset reikään asetettavalla työkalulla reiän ulkokehälle. /65/.

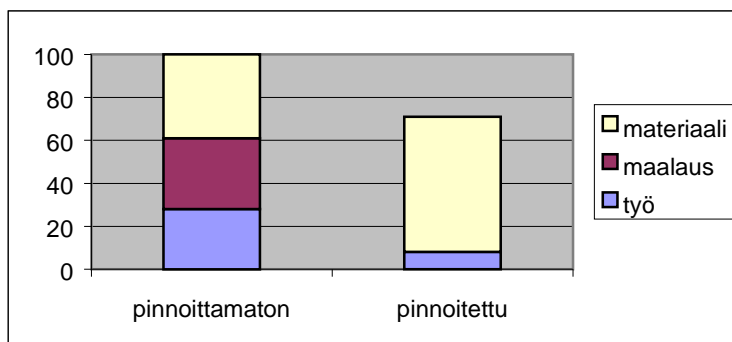
7 PINNOITETUN JA MAALATUN LEVYN KÄYTTÖ

Precoated Sheet. Prepainted Sheet.

”Pinnoitettujen levyjen käyttö on lisääntynyt. Kehittyneiden työstö- ja liittämismenetelmien ansiosta pinnoitettua levyä voidaan käyttää monissa aikaisemmin jälkimaalatuissa kohteissa. Pinnoitettuja levyjä tulee varastoida ja käsitellä huolellisesti. Levyjä voidaan leikata ja muovata yleisimmillä menetelmillä, kunhan työympäristö pidetään puhtaana ja työkalut hyvässä kunnossa. Sopivia liittämismenetelmiä ovat kiinnike- ja puristusliittäminen, niittaaminen varsinkin itselävistävillä niiteillä, liimaaminen sekä erikoishitsausmenetelmät.” /13/

Työvaiheita jää pois, kun siirrytään pinnoitetun levyn käyttöön. Siten valmiiksi pinnoitetun tai maalatun levyn käyttö nopeuttaa läpäisyäikää. Oikeilla konstruktiolla ja oikeilla valmistusmenetelmillä pinnoitetun levyn käyttö on edullisempaa kuin jälkimaalatuun. Vertailu on taulukossa 6. Lisäksi investoinnit maalaamoon ja maalaamon tilantarve ja maalaamon käyttökustannukset jäävät pois. Vastuu ympäristöasioista pinnoittamisen suhteen siirtyy levyn toimittajalle.

Taulukko 6. Pinnoittamattoman ja pinnoitetun levyn kustannusvertailu raaka-aineissa ja valmistuksessa. /13/.



Muovipinnoitetun ohutlevyn syvävedettävyys määräytyy perusaineen mukaan. Perusainetta on saatavilla syvävetolaatuina ja sinkkikerroksella varustettuna. Muovipinnoite kestää hyvin syvävetoa ja yksiakselista vetoa.

Kaksiakselinen veto esimerkiksi pyöreäpäisellä painimella saattaa aiheuttaa mikrohalkeilua pinnoitteeseen Tämä ei yleensä vaikuta korroosiokestävyyteen tai pinnoitteen kiinnipysymiseen. Muovaavaan työstöön suositellaan PVC-plastisol-pinnoitetta. Puhtaassa syvävedossa ei pinnoitteen kiinnipysymisessä yleensä ole ongelmia kappaleen laipan ja seinämän alueella. Muovattaessa pinnoitettua levyä puristimessa käytetään samoja työkaluja kuin pinnoittamattomallakin materiaalilla. Työkalujen tulee kuitenkin olla kiillotettuja. Vetovälys tulisi olla 1,1. Useimmat pinnoitteet toimivat kuivakalvotyypisenä voiteluaineena. Tällöin joudutaan usein lisäämään pidätyspainetta. Muovausnopeuteen on kiinnitettävä huomiota, ettei levyn lämpenemisen takia ylitetä pinnoitteen ylintä käyttölämpötilaa.

Taulukko 7. Pinnoitetyyppien arvioitu käyttöikä vuosina Suomen ilmastossa. /13/.

pinnoite	Ensimmäinen huoltomaalaus	esteettinen käyttöikä huoltomaalattuna	Varsinainen käyttöikä ilman huoltomaalauksia
pural	15-25	30-50	25-40
PVC-plastisol	10-20	35-25	25-35
PVDF	15-25	25-40	30-40
polyesteri	10-15	20-30	20-30
mattapolyesteri	10-15	25-35	25-35
akryyli	10-15	20-30	25-35

Taulukossa 7 ensimmäisen huoltomaalauksen kohdalla tarkoitetaan sellaista pinnoitteen vähimmäisikää, jolloin on tarpeen harkita huoltomaalauksia. Seuraavassa sarakkeessa on esteettinen käyttöikä kertaalleen huoltomaalattuna. Viimeisessä sarakkeessa tarkoitetaan aikaa, jolloin pinnoite on niin huonossa kunnossa, ettei huoltomaalaus enää onnistu. Tällöin sinkkipinta on vielä maalattavissa, kun pinnoite poistetaan. Perinteisen jauhemaalatun pinnan kestävyys on 20-40 vuotta.

Rakennuksissa käytetyiltä materiaaleilta edellytetään palonkestävyyttä ja vähäistä savunmuodostusta. Pinnoitteille on tehty VTT:llä palonkestävyyden, syttymisherkkyuden ja savunmuodostuksen määritykset. Pinnoitteiden hyväksynnät voidaan tarkistaa valmistajalta.

Pinnoitetuilla levyillä levyjen reunat ja lävistetyt aukot jäävät ilman pinnoitetta. Metallin värisinä nämä erottuvat hyvin näkyviin jäävissä kohteissa. Valmiissa tuotteessa terävät leikkausreunat eivät ole mukavia käsitellä. Perinteisessä jälkimaalauksessa syntyvä paksu maalikerros peittää alleen ohutlevyosien terävät särmät ja reunat ja kappaleita on mukava ja turvallinen käsitellä. Lisäksi levyn reunan korroosiosuojaus toteutuu jälkimaalauksessa.

esteitä pinnoitetun levyn käytölle:

- nykyinen konekanta
- ennakkoluulot
- pinnoitetun levyn hinta
- tuotteen konstruktio ja valmistustapa
- naarmujen hankala korjaus
- erikoisvärejä ei ole saatavilla pienissä erissä
- sävyerot maalattavien osien ja eri toimituserien kesken
- liittäminen hankalampaa

etuja:

- työvaiheiden väheneminen ja läpäisyajan nopeutuminen
- välivarastojen määrän lasku
- siisti työympäristö
- laaja värivalikoima

haittoja:

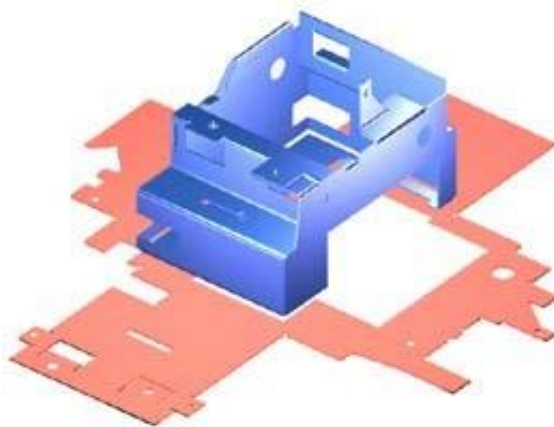
- pistehitsaus vain rajoitetusti mahdollista
- pinnoitteen joustavuus ja adheesio vaativissa muovauksissa
- reikien ja aukkojen sekä levyn reunat jäävät pinnoittamatta
- naarmujen syntyminen valmistusprosessin aikana /13/.

8 OHJELMISTOT

8.1 Särmäyksen ja taivuttamisen simulointi

Nämä ohjelmistot ovat tarkoitettuja kappaleiden levityskuvien tekoon. Kappale piirretään ensin 3-D kuvana, jonka jälkeen se voidaan aukilevittää kuvan 40 mukaisesti kyseisillä ohjelmistoilla, jolloin saadaan aikaan särmäyksessä tai taivutuksessa tarvittavan aihion geometria.. Ohjelmat huomioivat materiaalikohtaisesti mittojen muutokset särmäyksessä. Ohjelmat voivat nopeuttaa tuotesuunnittelusta valmiiksi tuotteeksi aikaa, kun valmistetaan taivuttamalla tai särmäämällä laatikkomaisia tuotteita. Muovaavan työstön simulointi ei näillä ohjelmistoilla onnistu. Ohjelmistot asennetaan lisäosana CAD-ohjelman päälle.

Nykyaikaisissa CAD-ohjelmissa on ohutlevytuotteiden suunnittelua helpottavia ominaisuuksia. Kappale piirretään 3D-mallina. Kappaleiden aukilevitys ja piirustusprojektioiden teko onnistuu tehdystä 3D-mallista. CAD-ohjelman piirustukset on linkitetty keskenään, eli kun yhteen piirustukseen tehdään muutoksia päivittyvät siihen yhteydessä olevat piirustukset. Ohjelmistot helpottavat suunnittelijan työtä ja vähentävät virheitä sekä lisäävät suunnittelun visuaalisuutta. Suunnittelijan työ muuttuu selkeämmin piirtäjästä suunnittelijaksi.



Kuva 40. Levityskuva 3-D mallista. /32/.

levitysohjelmistojen ominaisuuksia:

- tekee tilavuusmallien levityskuvat automaattisesti
- nurkkien automaattinen aukaisu levityskuvissa
- 3-D-mallin muutokset päivittyvät automaattisesti levityskuvaan
- törmäysten huomioiminen ja välttäminen
- levityskuvan automaattinen mitoittaminen
- luo muokattavan taivutustaulukon
- materiaalitietokanta joka on muokattavissa
- taivutuspäästöjen laskeminen
- tietojen siirto NC –työstökoneelle
- kustannusarviot työvaiheista

8.2 Muovauksen simulointi

Levynmuovausprosessin suunnittelussa voidaan käyttää työkalujen ja aihion numeerista ja visuaalista mallintamista ja työstötapahtuman simulointia. Työstön simuloinnin avulla pyritään nopeuttamaan valmistusprosessien suunnittelua ja alentamaan valmistuksen aloittamisen kustannuksia. Tämä perustuu siihen, että numeerisella simulaatiolla pystytään korvaamaan osa kalliista ja aikaa vievistä muovauskokeista. Simuloimalla pystytään varsin luotettavasti ennustamaan muovausvirheet kuten aihion rypytyminen tai repeytyminen, mutta simulaation kustannukset ovat olennaisesti alhaisemmat kuin prototyypityökalujen hinta. Mitä monimutkaisempia ovat tehtävät muovaukset, kuten kuvassa 41 kappaleessa, sitä suurempia ovat simuloinnin avulla syntyvät säästöt.



Kuva 41. Simuloinnin avulla toteutettu vaikea syvävetokappale. /50/.

simulaation avulla voidaan tutkia seuraavia asioita:

- aihion rypytyminen muovauksen aikana
- aihion repeäminen muovauksen aikana
- aihion muoto muovauksen jälkeen
- tuotteeseen jäävät jäännösjännitykset
- levyn paksuusjakauma muovauksen jälkeen
- takaisinjouston suuruus /45/.

Työkalun suunnittelun lisäksi menetelmää käytetään myös tuotesuunnittelussa ja uusien valmistustekniikoiden tutkimisessa. Simulointiprosessissa mallinnetaan ensin työkalut veto- ja pidätinrenkaineen ja painimineen sekä aihio. Näihin rakennetaan elementtiverkot ja materiaalille annetaan materiaalitiedot. Tämän jälkeen suoritetaan muovauksen simulointi ja tuloksena saadaan näillä työkaluilla ja ahiomateriaalilla syntyvän kappaleen geometria. Työkalun geometriaan, ahiomateriaaliin, muovausvoimiin, kitkakertoimiin ja voiteluun tehdään muutoksia, kunnes lopputulos on haluttu.

8.3 Tuotannon simulointi

Tuotannon simuloinnin tarkoituksena on pyrkiä optimoimaan olemassa olevan tai hankittavan konekannan käyttötehokkuutta erilaisin tehtaan toimintaa simuloivin mallein. Tehtävän simuloinnin avulla on mahdollista löytää piiloutunutta lisäkapasiteettia olemassa olevista koneista tai näyttää toteen tarve koneiden lisähankintoja varten.

lopputuloksena saadaan muunmuassa seuraavaa:

- tehtaan layout
- tarvittavat konekanta, koneiden kapasiteetit ja työntekijöiden määrät
- materiaalivirtojen optimointi
- kustannus-, valmistusaika ja kapasiteetilaskenta

Simulointimallia jatkuvasti parantamalla ja muutoksia tekemällä voidaan löytää ratkaisut, joidenka hakemiseen muilla keinoin menisi paljon aikaa, tai jotka olisi mahdotonta löytää muilla keinoin.

9 BENCHMARKING

Yritysvierailu tehtiin kaikkiaan yhteentoista ohutlevy-yritykseen. Vierailujen yhteydessä havaittiin suomalaisen ohutlevyteollisuuden tuotantotekniikan taso varsin perinteiseksi valmistusmenetelmien suhteen. Varsinaisia benchmarking-kohteita ohutlevyteollisuudessa olisivat autotehtaat, joissa valmistettavat kappaleet ovat vaikeudeltaan toista luokkaa ja joissa kustannustehokkuuden on oltava hyvä. Autoteollisuuden tarpeista tai itse autoteollisuudessa on kehitetty monia tässä työssä esiteltyjä valmistusmenetelmiä.

Benchmarking-vierailulla tulee olla selkeä päämäärä, mitä kohdeyrityksestä halutaan oppia. Tässä esitettävät vierailut ovat olleet yleisluontoisia yritysten valmistustekniikoihin tutustumisia, jotka ovat antaneet yleiskäsityksen ohutlevyteollisuudesta. Liitteessä 1 olevassa taulukossa esitellään mahdollisia benchmarking-kohteita, joita voidaan käyttää apuna työssä esiteltyihin menetelmiin ja laitteisiin tutustuttaessa.

Seuraavissa yritysesittelyissä on kerrottu vierailuyritysten valmistusmenetelmistä niiltä osin, kuin se on mielenkiintoista divisioona Lapinleimun tuotannon kannalta.

9.1 Tulevaisuuden Tehdas, Lappeenranta

VTT:n, LUT-Yliopiston ja teknologiakeskus Kareltekin yhteisessä tutkimuslaitoksessa tutkitaan ja kehitetään tuotantomenetelmiä enimmäkseen ohutlevyteollisuuden käyttöön. Käytössä ovat seuraavat ohutlevyntuotteiden valmistusmenetelmät:

- sähköimpulssimuovaus
- magneetti-impulssimuovaus
- vierintämuovaus
- robotisoitu laserleikkaus
- Nd:Yag- ja CO₂-laserit
- yhdistelmälevytyökeskus
- elektronisuihkuhitsaus

9.2 Hackman Metos Oy Ab, Kerava

Yrityksessä valmistetaan ohutlevytuotteita suurkeittiöihin ruostumattomasta teräksestä AISI 304. Trumpf-merkkinen portaalityyppinen laserleikkausasema tuotti hyvälaatuaista leikkauspintaa, mutta ongelmana oli leikkauspöydästä levyyn tarttuva aines, joka on poistettava ennen syvävetoa viilaamalla ja harjaamalla. Lisäksi käytössä oli Trumpf-levytyökeskus. Levyjen syöttö sekä levytyökeskukselle että laserleikkausasemalle tapahtui omista korkeavarastoista suuren levynpaksuusvalikoiman vuoksi.

Teräslevyt olivat suojatut irrotettavilla PE-muovikalvoilla niiltä osin, kun ne jäävät näkyviksi pinnoiksi. Tämä estää levyjen naarmuuntumisen. Syvävedossa kuitenkin käytettiin voiteluainetta, joten muovikalvon voiteleva vaikutus ei riittänyt tässä tapauksessa.

9.3 Asko Kodinkone Oy, Lahti

Yrityksessä valmistetaan sähköliesiä ja pesukoneita sinkitystä, normaalista ja emaloinninkestävästä teräsohutlevystä. Liesitehtaan tuotantolinja alkaa rainanarkituskoneella. Seuraavaksi on kaksi Salvagnini levytyökeskusta. Tranemon kaksipuristiminen automaattisella materiaalikäsittelyllä varustettu puristinlinjan ensimmäinen vaihe tekee aukotuksen ja toinen syvävedon. Aihiot ovat rainasta leikattuja arkkeja ja tulevat korkeavarastosta. Tuotteen vaihtuessa puristintyökalut tulevat korkeavarastosta ja vaihtuvat joko automaattisesti tai useimmiten työntekijän vaihe vaiheelta kuitaamana. Manipulaattorien tarraimen vaihtoa on yksinkertaistettu liitäntäpistokkeella, joka sisältää sähköliitännät ja paineilman. Näitä puristinlinjoja on kaksi.

Puristimien jälkeen on vedettyjen kappaleiden rajaus leikkaavalla rullalla ja hydraulisyliinterillä kappaleen pyöriessä sekä suoruuden kalibrointi. Vedetyt kappaleet siirretään toiseen korkeavarastoon odottamaan pintakäsittelyä. Pintakäsittelyssä vedetyt kappaleet liikkuvat riippukuljettimien avulla pitkiäkin matkoja.

Epäkeskopuristimia on käytössä useita. Kaikki eivät tuotannon automatisoinnin tuoman lisäkapasiteetin vuoksi ole jatkuvassa käytössä, vaan niissä on sama työkalu kokoajan kiinni. Epäkeskopuristimiin ei siten useinkaan tarvitse vaihtaa työkalua, vaan kun työvaihe muuttuu, vaihdetaan toiselle puristimelle. Näin puristimien asetusajoissa voidaan säästää.

Hellan jalustan teossa on Pivatic-linja, joka tekee määräleveyteen leikatusta valmiiksi pinnoitetusta rainasta valmiita laatikkomaisia kappaleita aukotuksineen, särmäyksineen ja laatikoksitaivutuksineen. Laatikon kehä liitetään puristusliittämällä.

Liimausta käytetään metalli-lasi liitoksissa esimerkiksi uuninluukun lasin kiinnityksessä. Teipillä varmistetaan kiinnipysyminen, kunnes liima on kuivunut.

Kokoonpanon jälkeen tuotteet siirtyvät pakkaukseen. Lavattujen pakettien päälle asennetaan kiristemuovi.

Pakkauksesta tuotteet siirtyvät automaattivarastoon, josta ne kutsutaan pois lastausta varten rekkakuormittain oikeassa järjestyksessä.

Pesukonetehtaalla on samantyyppinen puristinlinja kuin liesitehtaalla, mutta raaka-aine tulee kelalta.

Pesukoneen rumpu pyöristetään, hakasaumataan ja saranat kiinnitetään niittauskoneella. Rummun päädyt tiivisteliimataan ja käännetään kiinni rummun lieriöön. Rummun akselilaippa kiinnitetään rumpuun puristusliittämällä aikaisemman niittauksen sijasta.

Rummun ulkovaippaan kiinnitetään varustelua varten kierretappeja tapitushitsauksella.

9.4 Tammerneon Hungary Kft., Budapest, Unkari

Yrityksessä valmistetaan valomainoksia ja julkisivurakenteita alumiinista ja sinkitystä ohutlevystä. Sarjakoot ovat vaihtelevia yksittäiskappaleista satoihin. Uusi teollisuushalli oli vielä aikailla tyhjiään odottamassa lisää tuotantoa ja kokoonpanoa liittyen lähinnä linja-auton ovien valmistukseen. Hallin rakentamisesta on ollut paikanpäällä vastaamassa yksi henkilö Suomesta. Halli on uudella teollisuusalueella n. 15 km Budapestista. Alueella on valmiina tai rakenteilla useita ulkomaisten yritysten teollisuustiloja.

Ohutlevyosat valmistetaan hyllystövarastolla varustetulla Finn-Power levytyökeskuksella. Tarvittaessa osat särmätään särmäyspuristimella. Käytössä on jauhemaalaukselinja, joka soveltuu myös erittäin kookkaiden kappaleiden jauhemaalaukseen. Värivalikoima on suuri, joten jauheen talteenottoa ei ole ollut kannattavaa rakentaa muille kuin valkoiselle perusvärille.

Mainoksien kehikot valmistetaan useimmiten alumiiniprofiilista. Liittäminen suoritetaan MIG/MAG-hitsauksella.

Teräsputkien ja profiilien puhdistamiseen ruosteesta on käytössä raepuhalluslaite, jonka läpi puhdistettavat kappaleet kulkevat.

Ainoastaan muoviosat toimitetaan valmiina Suomesta. Yritys on laajentamassa muoviosien alihankintaverkostoa Unkarissa. Kaikki muu tuotteisiin liittyvä valmistus ja kokoonpano suoritetaan omana työnä.

9.5 Helkama-Forste Oy, Forssa

Yritys valmistaa jääkaappeja. Ohutlevy toimitetaan valmiiksi arkitettuna tehtaalle. Kaksi Finn-Power levytyökeskusta varustettuna korkeavarastolla tuottavat levyosia, jotka särmätään särmäyspuristimilla. Jääkaappien julkisivupaneelit valmistetaan Samesor-rullamuovauslinjoilla, joita on kolme kappaletta. Yhdessä rullamuovauslinjassa on taivutusmahdollisuus myös levyn poikkisuunnassa. Rullamuovauslinjan muovausakseleiden päihin on mahdollista liittää muovausrullat, jolloin saadaan ylimääräinen rullamuovauslinja esimerkiksi kapeiden listojen muovausta varten. Rullamuovauksessa pystytään monimutkaisiin muotoihin, jotka särmäämällä olisi mahdoton toteuttaa yhdestä osasta.

9.6 Kone Oyj, Hyvinkää

Yritys valmistaa hissejä. Hissin korissa ja ovissa käytetään paljon ohutlevyä. Puristusliittämistä käytetään maalattujen ja ruostumattomien levyjen liittämässä.

Liimausta käytetään pintalevyjen liittämässä ulkonäkösyistä. Liitämis- ja liimaussolu koostuu Fanug-robotista, Pulmek-puristusliittämiskoneesta, Graco-liimanlevityslaitteesta, joka kiinnitetään robotin tarraimen sekä korkeavarastosta valmiille tuotteille. Liimana käytetään Sikaflexiä, joka aktivoidaan levityksen jälkeen suihkuttamalla vettä liiman päälle. Järjestelmän on rakentanut Mercantile.

Taivutusautomaatti, jolle levytyökeskuksella työstetyt aihiot tulevat korkeavaraston kautta korvaa kolme särmäyspuristinta. Robotti vastaanottaa valmiit kappaleet ja lavaa ne.

9.7 Tammerneon Oy, Tampere

Yrityksessä valmistetaan valomainoksia alumiinista ja sinkitystä ohutlevystä. Ohutlevypuolella konekanta oli Finnpower levytyökeskus, plasmaleikkauskone ja x-y pöydällä toteutettu kevyt jyrskone alumiini- ja muovilevyjen jyrskintään. Levyjen taivutus suoritettiin särmäyspuristimilla ja kaarevat muodot toteutettiin levynpyöriskoneilla. Liittäminen suoritettiin pääasiassa kaarihitsauksella.

9.8 Lillbacka Oy, Kauhava ja Härmä

Levytyökoneita valmistavan yrityksen tarvitsemat ohutlevyosat valmistettiin Finnpower-merkkisillä levytyökeskuksilla, särmäyspuristimilla ja taivutusautomaateilla. Ohutlevytehdas oli rakennettu korkeavaraston ympärille. Tuotteet maalattiin jauhemaalauslinjoilla.

9.9 Opa Oy, Mikkeli

Yritys valmisti ruostumattomasta teräksestä pääasiassa syvävetämällä erilaisia keittiön astioita. Raaka-aine tuli valmiina pyöreinä kiekkoina eri toimittajilta. Syvävedon voiteluaineena oli Hougtdraw TT51 ja työkalumateriaali oli alumiinipronssia. Tuotteet liikkuvat kuljettimilla, jotka olivat nostetut katon korkeudelle. Tuotteille suoritettiin kiillotus kuten keittiöastioille on ominaista.

9.10 ABB Ventilation Products AB Division Veloduct, Järna, Ruotsi

Yritys valmistaa ilmanvaihtokanavia ja kanavanosia. Aihionvalmistuksessa käytettiin paineilmaplasmaleikkausta. Kanavanosien päähän kiinnitettävien kumitiivisteiden paikalleen asentaminen oli robotisoitu. Automaattisia lankahitsauskoneita oli varsin paljon. Lähtöaihio lankahitsaukselle oli valmiiksi muotoon leikattu levy, joka pyöristettiin pyöristyskoneessa ja välittömästi hitsattiin. Pistehitsausta käytettiin paljon, mutta T-haaran valmistuksessa oli käytössä liimauksen ja puristusliittämisen yhdistelmä. Suorakaiteenmuotoisien kanavien teossa oli vanha RAS-taivutuskone. Valmistuotevarastot vaikuttivat varsin suurilta.

9.11 Stala Oy, Lahti

Yritys valmistaa putkia ja tiskipöydän kansia ruostumattomasta teräksestä. Materiaalit tulevat pääosin Outokummulta ja myöskin Avestalta. Pääosin materiaali on EN 1.4301 toimitustilaltaan 2B tai 2D. Osa tiskipöydän kansista syvävedetään kerralla valmiiksi ja osa altaista hitsataan pöydän kanteen syvävedon jälkeen. Altaiden syvävedot suoritetaan yhdessä vaiheessa varsin massiivisilla puristimilla. Kappaleenkäsittely on manuaalista. Työkalumateriaalina on Ampco-alumiinipronssi tai työkaluteräs. Voiteluaineena on Fuchs Renoform MF 9-saippua veteen sekoitettuna. Painimen puolella aihiossa käytettävä PVC-muovikalvo suojaa materiaalia naarmuilta ja toimii lisävoiteluna. Muovi irrotetaan vedon jälkeen käsin repimällä. Vedetyt pöydät pestään pesulinjalla, varustellaan ja pakataan.

10 TUTKIMUKSEN SYVENTÄMINEN

10.1 Käytössä olevat valmistustekniikat

Toijalan tehtaan päätuotteet ovat ilmastoinnin päätelaitteet, palopellit ja säleiköt. Turussa valmistetaan kanavaa, kanavanosia ja sälepeltejä. Kihniön tehtaalla valmistetaan kanavaa ja kanavanosia, sekä suutinkanavaa.

10.1.1 Toijala

- automatisoitu kokoonpano
- käsnehitsaus
- levytyökeskuksella lävistäminen
- painosorvaus
- pistehitsaus
- pulverimaalaus
- märkämaalaus
- syväveto, muotoilu, rajausta ja hitsaus rainasta valmiiksi komponentiksi automaattilinjalla
- puristusliittäminen
- robotti-MAG-hitsaus
- rullamuovaus
- särmääminen
- käsnehitsaus
- puristimilla levyosien irrottaminen rainasta
- puristimilla levyosien muotoilu
- alumiiniprofiilin sahaus
- tiivisteiden kiinnitys vierintämuovaamalla

10.1.2 Turku

- hakaliittäminen
- pulverimaalaus
- kielekeliittäminen
- kierresaumaputkenvalmistus
- yhdistelmälevytyökeskuksella laserleikkaaminen ja lävistäminen
- lankahitsaus
- levynpyöröstys
- muotoleikkaus
- pistehitsaus
- plasmaleikkaus
- syväveto
- puristusliittäminen
- robotti-MAG-hitsaus
- rullamuovaus ja kulminta
- sikkaus
- suuntaisleikkaus x-y
- särmääminen
- tiivisteiden kiinnitys vierintämuovaamalla

10.1.3 Kihniö

- syväveto
- lankahitsaus
- pistehitsaus
- kiekkohitsaus
- kierresaumaputkenvalmistus
- maalaus
- rainan pituusleikkaus
- tiivisteiden kiinnitys vierintämuovaamalla

10.2 Valmistettavuus, tavoiteltavat hyödyt

Valmistettavat tuotteet, varsinkin päätelaitteet, ovat vakioituneet ja käyttäjät ovat niihin ja niiden ulkonäköön tottuneet niin, ettei tuotteiden ulkonäkö voi suuresti muuttua, vaikka valmistusmenetelmät muuttuvat. Valmistettavuuden kehittämisessä ja uusien valmistusmenetelmien käyttöönotossa tämä on huomioitava.

10.2.1 Työvaiheiden väheneminen

Pyritään saamaan tuote valmiiksi mahdollisimman vähillä työvaiheilla. Tämä lyhentää läpäisyajoja ja pienentää työvoima, työkalu- ja laitekustannuksia.

10.2.2 Läpäisyajan lyheneminen

Läpäisyajojen lyhentäminen nopeuttaa tilaus-toimitus-prosessia ja lyhentää pääoman sitoutumisaikaa keskeneräiseen tuotantoon. Nopeammat toimitukset parantavat palvelutasoa ja nopeutunut läpäisy aika lisää tuotannon kapasiteettia.

10.2.3 Materiaalihukan pieneminen

Materiaalihukan pienentäminen näkyy suorana hyötynä raaka-ainekustannusten pienentyessä. Raaka-aineen tarkka hyödyntäminen lisää myös ympäristöystävällisyyttä. Materiaalinkäyttöä suunnitellaan ja tuotteisiin tehdään jatkuvia parannuksia materiaalinkäytön ja materiaalihukan pienentämiseksi. Materiaalin hintaa eri toimitusmuodoissa, levy, raina, kiekot ja räätälöidyt aihiot, tulee vertailla.

10.2.4 Muovattavuuden paraneminen

Muovattavuuden parantamisella pyritään ongelmallisten materiaalien, kuten ruostumattoman teräksen, muovattavuuden helpottamiseen. Voiteluaineiden käytöstä muovauksessa pyritään eroon kokonaan tai pyritään käyttämään ympäristöystävällisiä voiteluaineita. Keinoja tähän ovat työkalun muotoilu, muovauskitkan pienentäminen, eri muovausmenetelmien käyttäminen, työkalujen lämmitys ja muovauksen simulointi.

10.2.5 Ulkonäön paraneminen

Uusien menetelmien aiheuttama ulkonäön koheneminen on tärkeä kilpailuetu, koska osa valmistettavista tuotteista on näkyvillä paikoilla ja ostopäätöksen teossa tuotteen ulkonäkö on siten tärkeä ominaisuus. Hyvä ulkonäkö antaa luotettavan ja kestävä tuotteen vaikutelman.

10.3 ABB Fläkt Oy Divisioona Lapinleimun tuotteiden valmistusstrategia

Valmistetaan suuria määriä tuotteita, mutta eräkoot ovat pieniä, koska valmistus tapahtuu JOT-periaatteiden mukaan. Pienet eräkoot vaativat lyhyet asetusajat tuotteiden välillä.

Työkalut ja tuotantokoneet saavat olla kalliitakin, koska niiltä edellytetään nopeita tahtiaikoja, toimivuutta ja kestävyyttä. Tuotantokoneiden on oltava helpokäyttöisiä koska niillä tiimituotannon ja vuorotyön takia on useita eri käyttäjiä. Tuotteet uudistuvat hitaasti, joten työkaluihin voi panostaa senkin vuoksi.

Tuotannon automaatioaste on oltava korkea, koska manuaalisyö on kallista ja aikaavieppää. Ilmanvaihtokomponenttien valmistajien tuotteet ovat hyvin samanlaisia, joten tärkeä osa kilpailuetua on oman tuotannon toimivuus. Sitä kautta muodostuvat tuotteiden laatu, toimitusvarmuus ja edullisuus.

Ylläoleviin asioihin perustuu tuotantotekniikoiden valinta.

10.4 Tuotteiden jako valmistustekniikoiden mukaan ja ajatuksia tuotannon kehittämisestä

Tuotteet voidaan jakaa tuoteryhmiin valmistusmenetelmien mukaan. Tuotteet, joissa ovat samat tai suunnilleen samat valmistusmenetelmät muodostavat tuoteryhmän. Valmistusmenetelmien mukaisten tuoteryhmien avulla on helpompi hahmottaa kokonaisuuksia, kun tehtaassa valmistusmenetelmiä kehitetään tai arvioidaan.

10.4.1 Pienet kanavan osat

Kanavan osat ovat ilmanvaihtokanaviston komponentteja, joilla haaroitetaan, käännetään tai supistetaan kanavaa. Pienet kanavan osat ovat pääosin Kihniön tehtaalla valmistettavia kanavan osia. Päävalmistusmenetelmä on syväveto.

valmistusmenetelmät:

- syväveto
- lankahitsaus
- pistehitsaus
- tiivisteiden kiinnitys vierintämuovaamalla

Vaikeitten muotojen muovauksen toteuttamisessa kysymykseen tulee hydromekaaninen syväveto. Ruostumattoman teräksen syvävedossa työkalun lämmitys parantaa vedettävyyttä ja PE-muovikalvo yhdessä voiteluaineen kanssa voitelee hyvin. Työkalujen leikkaavat särmät on pidettävä terävinä ruostumatonta leikattaessa.

Syvävedon voiteluaineissa voidaan siirtyä ympäristöystävällisempien voiteluaineiden käyttöön. Pistehitsaus voidaan korvata puristusliittämällä esimerkiksi T-haaran liittämässä.

10.4.2 Suuret kanavan osat

Kanavan osat ovat ilmanvaihtokanaviston komponentteja, joilla haaroitetaan, käännetään tai supistetaan kanavaa. Suuret kanavat osat valmistetaan Turun tehtaalla segmenteistä kokoamalla. Tämä vaatii paljon käsityötä varsinkin suurimpien kokojen osalta.

valmistusmenetelmät:

- aihoiden leikkaus
- taivutus (pyöritys)
- saumaus
- lankahitsaus
- tiivisteiden kiinnitys

Suuret kanavanosat tehdään leikkaamalla ja taivuttamalla segmenteistä. Syvävetämällä tehtäessä työkalukustannukset tulisivat liian kalliiksi. Muovaamalla valmistettaessa kyseeseen voisi tulla yksipuoleisia muotteja hyödyntävä menetelmä, kuten hydromekaaninen syväveto tai impulssimuovaus. Liittämismenetelmänä voi soveltaa puristusliittämistä.

10.4.3 Sälepeltili, palopeltili ja raitisilmasäleikkö

Nämä ovat laatikkomaisia tuotteita. Päävalmistusmenetelmät ovat rullamuovaus/särmäys ja kokoonpano ja varustelu.

valmistusmenetelmät:

- rullamuovaus
- särmäys
- robotisoitu hitsaus
- levytyökeskuksella lävistäminen
- plasmaleikkaus
- pistehitsaus
- kokoonpano

Särmäyspuristimen käytön kohdalla kannattaa harkita myös taivutuskoneen käyttöä edullisemman hankintahinnan vuoksi. Robottihitsauksessa kaarijuottoon siirtyminen kasvattaa hitsausnopeutta ja parantaa hitsaussauman ulkonäköä. Uutta hitsausvirtalähdettä hankittaessa kannattaa varmistaa, että sillä onnistuu kaarijuotto. Tämä ominaisuus ei nosta nykyaikaisen hitsausvirtalähteen hintaa. Nykyisen robotin soveltuvuus suuremmille kuljetusnopeuksille, sekä robotin paikoitustarkkuus pitää tarkastaa ennen kaarijuottoon siirtymistä. Puristusliittämisellä voidaan korvata pistehitsausta varsinkin palopeltilissä ja raitisilmasäleikössä.

10.4.4 Venttiilit ja Iris

Venttiilit ovat ilmastoinnin näkyvä komponentti, joten hyvä ulkonäkö on tärkeää. Näillä tuotteilla päävalmistusmenetelmiä ovat syväveto, jauhemaalaukset ja kokoonpano. Volyymit ovat suuria, joten pienetkin parannukset vaikuttavat.

valmistusmenetelmät:

- syväveto
- käsnähitsaus
- puristusliittäminen
- jauhemaalau
- automaattinen kokoonpano
- pistehitsaus

Vaikeitten muotojen toteuttamisessa kysymykseen tulee hydromekaaninen syväveto. Ruostumattoman teräksen syvävedossa työkalun lämmitys parantaa vedettävyyttä ja PE-muovikalvo yhdessä voiteluaineen kanssa voitelee hyvin. Syvävedon voiteluaineissa voidaan siirtyä ympäristöystävällisempien voiteluaineiden käyttöön. Tällä hetkellä pienissä Iriksissä käytetään puristusliittämistä ja isoissa niittausta. Myös isoissa Iriksissä voidaan siirtyä puristusliittämiseen. Ympäristöystävällisten voiteluaineiden käyttöä syvävedossa sekä ympäristöystävällisten kemikaalien käyttöä jauhemaalauksessa kannattaa miettiä. Sinkitty levy vaatii kuitenkin jauhemaalauksen pesulinjan kemikaaleilta eräänlaista karhentavaa vaikutusta maalin tarttumisen varmistamiseksi. Tämä tulee huomioida uusia kemikaaleja tutkittaessa.

10.4.5 Alumiinisäleiköt

Alumiinisäleiköt ovat pursotetusta alumiiniprofiilista valmistettuja säleiköitä, jotka ovat myöskin ilmanvaihdon näkyviä komponentteja. Valmistus sisältää profiilien katkaisun ja säleikön kokoonpanon.

valmistusmenetelmät:

- profiilin sahaaminen
- MIG / TIG-hitsaus
- kokoonpano

Ajatuksena on ollut muutamien alumiiniprofiilien korvaaminen rullamuovaamalla teräsohutlevystä tehdyillä profiileilla. Laskelmien mukaan tämä ei säästä kustannuksissa ja tuotteiden laatu laskee.

10.4.6 Kierresaumaputki ja Activent-suutinkanava

Kierresaumaputki on ilmastoinnin peruskomponentti, jolla ilmaa siirretään. Kierresaumaputket tehdään erityisellä koneella rainasta pyöristämällä ja muotolukitseamalla. Activent suutinkanava tehdään samalla periaatteella kuin kierresaumaputki, mutta sisältää suuttimia. Activent on tarkoitettu ilman tuontiin ja jakoon.

- kierresaumaputkenvalmistus erityisellä koneella
- Activent-suutinkanavan suuttimien syväveto

Kierresaumakanavien valmistuksessa pyritään voiteluaineiden valinnan avulla mahdollisimman puhtaaseen kanavaan sisäilman ja ympäristön kannalta. Voiteluaineita tutkitaan ja valitaan sopiva voiteluaine. Tällä hetkellä kierresaumakanavan teko onnistuu pelkkää vettä voiteluna käyttäen. Activent-suutinkanavan katkaisussa, pesussa, kuivauksessa ja paketoinnissa on myös kehitettävää.

11 CASET

Työn alkuvaiheessa oli päätetty keskittyä hyvin laajasti vastaantuleviin menetelmiin. Työn puolivälissä pidetyssä palaverissa tehtiin rajaus niihin menetelmiin, joita tutkittaisiin lisää.

näitä olivat:

1. ruostumattoman teräksen muovaaminen
2. pinnoitetun levyn käyttömahdollisuuksien tutkiminen
3. voiteluainetekniikka ja voiteluaineeton syväveto
4. puristusliittäminen
5. kaarijuotto
6. yhdistelmälevytyökeskus

näiden menetelmien case-tuotteet ovat:

1. Iris-mittaus- ja säätölaite
2. Activent-suutinkanava
3. Ecoduct-puhdas ilmanvaihtokanava ja syvävedettävät tuotteet
4. kanavan osat ja suuremmat Iris-mittaus- ja säätölaitteet
5. RIS-raitisilmasäleikkö
6. kaarevat Iris-osat

11.1 Case - Ruostumattoman teräksen syväveto

HST-tuotteiden valmistamiseen impulssi on tullut markkinoilta. Jo valmistettavaan ruostumattomaan kanavaan olisi saatava ruostumaton mittaus ja säätölaite. Myös HST-tuotteista mahdollisesti saatava suhteessa korkeampi hinta on ollut tuote- ja tuotannonkehityksen kirvoittimena. HST-tuotteiden valmistus on tarkoitus aloittaa minimi-investoinnein samoja työkaluja ja tuotantokoneita sekä samaa materiaalinvirtausta mahdollisimman pitkälle käyttäen.

11.1.1 Valmistettava tuote Iris mittaus- ja säätölaite

Iris mittaus- ja säätölaite on pyöreään kanavaan asennettava ilmavirtojen mittaukseen ja säätöön tarkoitettu kuvan 42 mukainen laite. Laite muodostuu runko-osasta, virtausta kuristavista säleistä, säleiden liikuttamiseen tarkoitettu siirtorenkaasta, säätömutterista tai säätökahvasta, säätöasteikosta ja mittayhteistä. Kanavaanliitäntäyhteet on varustettu kumitiivistein. Tuotetta valmistetaan kahtatoista eri kokoa, jotka ovat nimetyt nimellishalkaisijan mukaan 80, 100, 125, 150, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630 ja 800 mm.



Kuva 42. Iris mittaus- ja säätölaite.

11.1.2 Tuotteen valmistusmenetelmät

Erikokoisten tuotteiden osien valmistusmenetelmät on selvitetty liitteen 2 taulukossa. Kokojen 100-200 kannet, pohjat ja siirtorenkaat valmistetaan syvävetämällä automaattisella syvävetolinjalla. Materiaali tulee kelalta, voidellaan telavoitelulaitteella ja leikataan 8-kulmaiseksi ahioksi.

Tämän jälkeen suoritetaan tarvittavat syväveto- ja rajausvaiheet ja kappale poistetaan linjalta. Kanteen ja pohjaan asennetaan kumitiivisteet, jotka lukitaan paikoilleen painosorvaamalla liitäntäyhteen pää tiivisteeseen päälle. Tämän jälkeen tuotteen kokoonpannaan. Säleet kiinnitetään puristusliittämällä. Mitta-asteikoin ikkuna lävistetään, säätöasteikkotarralla varustettu siirtorengas asetetaan paikoilleen, kansi ja pohja painetaan yhteen ja liitetään lopullisesti painosorvaamalla toisiinsa. Tuotteen ulkopuoliset tarrat liimataan, mittayhteet asennetaan ja tarkistetaan tuotteen tiiveys.

Koon 250 kannen ja pohjan aihio valmistetaan syvävetolinjalla. Kokojen 315-400 osien aihiot valmistetaan levytyökeskuksella. Aihiot muovataan manuaalisilla hydraulipuristimilla. Kaulukset ovat rainasta pyöristämällä valmistettuja ja lankahitsaamalla liitetyjä irtokauluksia. Irtokaulusten kumitiiviste on kiinnitetty painosorvaamalla kauluksen pää tiivisteeseen päälle. Irtokaulus liitetään kanteen tai pohjaan hydraulipuristimella levittämällä, jolloin kaulus laajenee ja lukittuu kannen tai pohjan sisään. Tiiveys varmistetaan liimalla Säleet kiinnitetään niittaamalla ja kokoonpano suoritetaan kuten kokojen 100-200. Koon 400 kannen ja pohjan yhteen liittäminen tehdään suuremmalla painosorvilla.

Kokojen 500-800 kannet ja pohjat valmistetaan painosorvaamalla. Muut osat leikataan levytyökeskuksella, irtokaulukset kiinnitetään ja suoritetaan kokoonpano.

Pienintä kokoa 80 ei ole tarkoitus ottaa HST valmistusohjelmaan.

11.1.3 Koemenetelmät

HST-Iriksen valmistettavuutta tutkittiin valmistamalla koekappaleita samoin valmistusmenetelmin samoilla valmistuslinjoilla ja koneilla kuin sinkitystä teräksestä valmistettu tuote tehdään. Näin saatiin selville tuotannon ne työvaiheet, jotka eivät onnistu johtuen ruostumattoman teräksen erilaisista materiaaliominaisuuksista. Johtuen eri kokojen hyvin erityyppisistä valmistusmenetelmistä tehtiin koekappaleita jokaisesta koosta, jolloin jokainen valmistusmenetelmä, työvaihe ja työkalu saatiin testattua.

Ongelmallisissa työvaiheissa mietittiin ratkaisuja teoriaosassa esitettyjen tietojen pohjalta. Materiaalin syvävedettävyyttä parannettiin työkaluja lämmittämällä ja käyttämällä pyöreitä aihioita. Voitelua parannettiin muovikalvon avulla. Työkalujen leikkuuvoimaa tehostettiin leikkaavia särmiä teroittamalla.

Ruostumattoman teräksen syvävetoa oli kokeiltu kanavanosien valmistuksessa Ruotsin tehtaalla. Kokeilu tehtiin käyttäen samoja työkaluja kuin sinkityn teräksen muovaus. Tuloksena oli, että työkalun leikkausta pitää parantaa ja vetopainimeen pitää tehdä muutoksia. Myös puristimien vaihtoa tehokkaampiin kaavailtiin.

Ensimmäiset kokeet tehtiin 0,5 mm ja 0,6 mm ruostumattomalla ja haponkestävällä ruostumattomalla teräksellä. Materiaalit olivat taulukossa 8 esiteltävät AISI 304 ja AISI 316L ja koekappale oli Iris 100 kansi. Materiaalia tilatessa korostettiin, että loppukäyttötarkoitus on syväveto. Tällöin raaka-ainetoimittajan on mahdollista valita muovaukseen parhaiten sopiva sulatuserä, mikä tarkoittaa lujuudeltaan pienempää materiaalia.

Taulukko 8. Koemateriaalit, ruostumaton teräs.

koemateriaali	AISI304, P725, EN 1.4301	AISI316L, P757, EN 1.4436
sulatuserät, Outokumpu	0,5 mm 933203 0,6 mm 846042	0,5 mm 924762 0,6 mm 930404
tyyppi	austeniittinen ruostumaton teräs	austeniittinen stabiili haponkestävä ruostumaton teräs
seosaineet [%]	<ul style="list-style-type: none"> • C max. 0,05 • Cr 17,0-19,0 • Ni 8,0-11,0 	<ul style="list-style-type: none"> • C max. 0,05 • Cr 16,0-18,5 • Ni 10,5-14,0 • Mo 2,5-3,0
lujuudet ASTM A –240 minimiarvot	<ul style="list-style-type: none"> • myötölujuus 205 N/mm² • murtolujuus 515 N/mm² 	<ul style="list-style-type: none"> • myötölujuus 205 N/mm² • murtolujuus 515 N/mm²

Materiaali, jolla muovaus saatiin onnistumaan, oli 0,6 mm AISI 316L. Matalammasta hiilipitoisuudesta johtuen materiaalin lujuus on pienempi ja materiaali on muokkausmartensiitin muodostumisen kannalta stabiilimpi molybdeeni-seostuksesta johtuen. 0,6 mm ainespaksuus säilyy riittävän paksuna muovauksen jälkeen myös kupin pohjalla.

Voiteluna käytettiin painimen puolella eri voiteluaineita ja vetorenkaan puolella sekä eri voiteluaineita että PE- tai PVC-muovikalvoa.



Kuva 43. Syvävetomateriaali AISI 316L 0,5 mm. Kuva 44. Syvävetomateriaali AISI 316L 0,6 mm. Kappale Ø 100 mm Iris kansi.

Kuvien 43 ja 44 kappaleet on valmistettu kolmessa työvaiheessa. Ensimmäinen vaiheena on pyöreäpohjaisen kupin veto kahdeksankulmaisesta aihioista. Toisessa vaiheessa kupin pohja ja aihion ulkokehä leikataan pois pyöreillä rajaustyökaluilla. Kolmas vaihe on kupin pohjan oikaisu ja ulkoreunan kääntö. Kappale kuvassa 44 on hieman rypyttynyt laipan kohdalta johtuen pienestä pidätyspaineesta. Pidätyspainetta ei kuitenkaan voitu nostaa, koska nostaminen aiheutti repeytymisen kupin alueelle. Kuvassa 44 oleva kappale on vedetty lämmitetyillä veto- ja pidätinrenkailla.

Vaikeimpana koekappaleena ollut Iris-säätölaite, halkaisijaltaan 100 mm, kupinsyvyydeltään 57 mm ja vetosuhteeltaan 2,3 saatiin onnistumaan, kun veto- ja pidätinrenkas lämmitettiin 50-80 C° asteeseen. Myöhemmin syväveto onnistui ilman työkalujen lämmittämistä, kun työkalujen leikkaavat särmät teroitettiin. Hyvä leikkuujälki poisti alkusärön, joka oli johtanut murtumaan. Sinkityllä teräslevyllä käytetään kahdeksankulmaisia aihioita. Ruostumattomalla teräksellä syvävedon onnistumista helpotti myös pyöreiden aihoiden käyttö. Pyöreitä aihioita käytettäessä levynpidätysvoima on tasainen ympäri aihiota ja rypytyminen on vähäisempää. Tasaisesta levynpidätyksestä johtuen levyn paikallinen oheneminen on tasaista kupin alueella.

Halkaisijaltaan 100 mm tuote oli pienin, jota suunniteltiin otettavaksi valmistusohjelmaan. Sen syvävetosuhte oli myös suurin. Johtuen syvävetosuhteen suuruudesta kappale vaatii hyvän voitelun, joka toteutettiin voiteluaineen ja PE-muovin yhdistelmävoiteluna vetorenaan puolelta ja voiteluaineella painimen puolelta. Muut varsinaisesti syvävedettävät halkaisijakoot 125, 160, 200 mm onnistuivat ilman muovikalvoa pelkkää voiteluainetta käyttäen. Halkaisijaltaan 100 mm tuotteen voitelua saattaisi parantaa vetorenaan ja mahdollisesti pidätinreunaan valmistaminen alumiinipronssista tai pinnoittaminen esimerkiksi titaaninitridillä. Syvävedon materiaalinvirtausta parantaisi myös vetorenaan pyörityksen säteen kasvattaminen, kuitenkin tuotteen toimivuuden kannalta sallituissa rajoissa. Tällä hetkellä piirustuksenmukainen pyörityssäteen maksimi on 3,5 mm. Pyörityssäde tulisi olla ohjearvojen mukaan laskettuna 5...8 x levynpaksuus, eli 5...8 x 0,6 mm, eli 3...4,8 mm.

11.1.4 Koetulokset

Kokeiden aikana tuli ilmi seuraavia HST-materiaalista johtuvia ominaisuuksia.

materiaalin suurempi takaisinjousto:

- tarttuminen muovaustyökaluihin johtuen takaisinjoustosta, automaattisyvävetolinjalla on saatu parempia tuloksia muovausparametrien hienosäädöllä, sekä paineilman käytöllä irrotuksessa, manuaalipuristinten työkaluissa auttavat vahvemmat irrotusjouset sekä työkalujen hionta tartunnan aiheuttavilta pinnoilta, ohuempi levy materiaali auttaa myös
- tiivisteiden kiinnittämisen rypyttäminen ja tiivisteiden leikkautuminen, saadaan hallintaan tiivistekoneen hienosäädöllä ja myöhemmin käyttäjäkokemuksen karttumisella, tiivisteiden leikkautumista vähentää, kun kauluksen pään leikkuutyökalu pidetään hyvässä kunnossa tai kun kauluksen päästä hiotaan leikkuujäyste pois.

- kannen ja pohjan toisiinsa liittäminen onnistuu, mutta vaatii enemmän voimaa
- hammaspyörän kaulusreiän liika tiukkuus, tippa öljyä väliin

materiaalin suurempi lujuus:

- leikkaukset ja rajaukset vaativat huomattavasti enemmän voimaa ja työkalujen leikkaavat särmät vaativat tarkkailua ja huoltoa
- säätöasteikon ikkunoiden lävistys ei onnistu
- puristusliittäminen vaatii eri parametrit
- myös mahdollisuus lujuuden hyödyntämiseen: materiaalisäästöä syntyy, kun käytetään 0,1-0,2 mm ohuempaa ruostumatonta terästä kuin mitä sinkitty teräs on

materiaalin muovautuvuus:

- ei tarvita työkalun lämmitystä
- PE-muovi tarvitaan voitelulisänä vain Ø 100 Iriksessä

Tuotteiden valmistusongelmat käytiin läpi työkaluittain ja työvaiheittain. Kokokohtaiset ongelmat tuotteen valmistuksessa ovat liitteessä 3.

11.1.5 Nollasarjan valmistaminen

Valitusta koosta Ø 125 valmistetaan nollasarja, jolla testataan tuotannon ja kokoonpanon toimivuutta oikeantyyppistä tuotantoa mukailten. Nollasarjan koko on 100 kpl. Samassa yhteydessä vertaillaan myös kiekko- ja rainamateriaalin toimivuuden eroja syvävedon raaka-aineena.

toimenpiteet ennen nollasarjan valmistamista:

- aihiolappujen hankinta
- sumuvoitelulaitteen hankinta
- säleenkiinnityksen puristusliittämisen toteuttaminen
- säätöikkunan ja mittayhteiden lävistyksen toteuttaminen

11.1.6 Investointilaskelmat

Investointien takaisinmaksuajaksi on määrätty kaksi vuotta. Selvitetään tarvittavat investoinnit ja lasketaan takaisinmaksuaika. Uuden tuotteen ollessa kyseessä takaisinmaksuajan laskeminen perustuu oletukseen tuotteen tulevasta menekistä.

11.1.7 Toimenpiteet ennen tuotannon aloittamista

Ennen varsinaisen tuotannon aloittamista tulee toteuttaa seuraavat toimenpiteet:

- lävistyskoneen tehostus (ikkuna ja mittayhteet)
- säleen puristusliittäminen toimivaksi tai niittauskoneen tehostaminen HST niittejä varten tai sopivamman niittigeometrian tai niittimateriaalin etsiminen
- irtokauluksien mitat kohdalleen Turun tehtaan kanssa
- haponkestävä liima ja niitti ja vetokaraniitti
- muovaustyökalujen hienosäätöä
- levytyökeskuksen työkalut tarkistettava HST-materiaalia varten

11.1.8 Materiaalikustannusten vähentäminen

HST on erittäin kallis materiaali verrattuna sinkittyyn teräkseen. Hinnaltaan se on noin nelinkertainen. Niinpä HST:n kulutuksen vähentämisessä saavutettavat kappalekohtaiset säästöt ovat paljon huomattavampia. HST:n suurempi lujuus mahdollistaa ohuempien ainepaksuuksien käytön. Samalla ohuemmat ainepaksuudet säästävät työkaluja

Paksuuksia voidaan vähentää ainakin seuraavissa osissa:

- Iris Ø 100 siirtorengas 0,8 mm → 0,6 mm, ehkä 0,7 mm
- Iris Ø 250 mm kansi, pohja ja siirtorengas 0,7 mm → 0,6 mm
- Iris Ø 300 ja 315 siirtorengas 0,7 mm → 0,6 mm

Automaattiseen syvävetolinjaan asennettava kiekonsyöttölaite mahdollistaa levytyökeskukselta normaalisti romuksi menevien kiekkojen käytön syvävedon aihioina. Levytyökeskukselta syntyvät kiekot ovat taulukossa 9. Lisäksi hydraulipuristimelta syntyy taulukon 10 mukaisia kiekkoja. Syvävedossa tarvittavat kiekot ovat taulukossa 11.

Taulukko 9. Levytyökeskukselta syntyvät hyödynnettävissä olevat kiekot ovat halkaisijaltaan, paksuudeltaan ja alkuperältään.

kiekon halkaisija [mm]	kiekon paksuus [mm]	Alkuperä
Ø 204	0,6	Iris Ø 250 mm siirtorengaan keskusta
Ø 274	0,6	Iris Ø 315 mm kannen, pohjan ja siirtorengaan keskusta
Ø 359	1,0**	Iris Ø 400 mm kannen ja pohjan keskusta
Ø 386	1,0**	Iris Ø 400 mm siirtorengaan keskusta
Ø 486***	1,0**	Iris Ø 500 mm siirtorengaan keskusta
Ø 616***	1,0**	Iris Ø 630 mm siirtorengaan keskusta
Ø 786***	1,0**	Iris Ø 800 mm siirtorengaan keskusta

** Nämä kiekot eivät sovellu koska ovat liian paksuja syvävetoaihioksi

*** Nämä kiekot ovat jo liian suuria syvävetoaihioksi ja ne kannattaakin hyödyntää muissa levytyökeskuksella valmistettavissa osissa

Taulukko 10. Hydraulipuristimelta syntyvä kiekko.

kiekon halkaisija [mm]	kiekon paksuus [mm]	Alkuperä
Ø 223	0,6	Iris Ø 250 mm kannen ja pohjan keskusta

Taulukko 11. Syvävedon aihiot kooltaan, paksuudeltaan ja käyttökohteeltaan.

aihion mitat [mm]	kiekon paksuus [mm]	Käyttökohde
Ø 190, myös 190*190	0,6	Iris Ø 100 siirtorengas
Ø 215, myös 215*215	0,6	Iris Ø 125 siirtorengas
Ø 270, myös 270*270	0,6	Iris Ø 150-160 siirtorengas
Ø 320, myös 320*320	0,6	Iris Ø 200 siirtorengas
Ø 230	0,6	Iris Ø 100 mm kansi ja pohja
Ø 260	0,6	Iris Ø 125 mm kansi ja pohja
Ø 310	0,6	Iris Ø 150 mm ja Ø 160 mm pohja
Ø 315	0,6	Iris Ø 150 mm ja Ø 160 mm kansi
Ø 370	0,6	Iris Ø 200 mm kansi ja pohja
Ø 390	0,6	Iris Ø 250 mm kansi ja pohja aihiot

Iris Ø 250 mm siirtorengaan keskusta voidaan totutusta poiketen irrottaa jo levytyökeskuksella, jolloin syntyvä kiekko voidaan hyödyntää syvävedon aihiona. Tämä säästää myös siirtorengaan muovaus- ja leikkuutyökalun leikkuusärmiä.

11.1.9 Ahiomateriaalin vertailua

Syvävetolinjalla käytettävän materiaalin kustannuksia vertailtiin. Vaihtoehtoina olivat haspelilta syötettävä raina tai lapunsyöttölaitteella syötettävät pyöreät kiekot. Syvävedettäessä pyöreitä tuotteita pyöreä lähtöaihio on paras. Pidätysvoima jakautuu siinä tasaisesti ja siten levyn venymä ja ohenema on tasaista. Haspelilta syötettävästä rainasta tulee kahdeksankulmaisia kiekkoja. Nämä eivät ole parhaita mahdollisia aihioita mutta toimivia kuitenkin.

Pyöreät kiekot valmistetaan joko omalla levytyökeskuksella tai alihankintana joko laserleikkauksena tai irrotuslinjalla. Edullisimmaksi vaihtoehdoksi muodostui rainan käyttö, koska hukkamateriaali voidaan myydä romuna ja ruostumattoman teräksen romuhinta on korkea. Alihankintana irrotuslinjalla tehtävien kiekkojen hinta kohtuullinen. Materiaalivaihtoehtojen vertailu liitteessä 4.

11.2 Case - Pinnoitetun levyn käyttö

Pinnoitetulla levyllä on potentiaalia syvävedossa venttiilin osilla ja kanavilla Activent-suutinkanavan teossa, lisäksi jotkin särmättävät ovat kiinnostavia. Tavallisesti nämä tuotteet jauhemaalataan.

Venttileissä on aina jokin osa, jossa on hitsaus. Siten jauhemaalauksen välttämätön ja läpäisy aika ei nopeudu koko tuotteen osalta. Hitsaukset on korvattava muilla liittämismenetelmillä tai hitsausprosessia on kehitettävä ennen kuin pinnoitettuun levyyn voidaan siirtyä. Syvävedossa pinnoitteella on voitelo ominaisuuksia. Kiinnostavaa on kuinka muovaukset onnistuvat ilman erillistä voiteluainetta. Jos voitelusta voidaan luopua työvaiheista pois jäävät voiteluaineen levitys, voiteluaineen poisto ja kappaleen maalaus. Jos kappaleista joudutaan poistamaan voiteluaine ei valmistusaikasaästöjä synny.

Naarmuuntumisen estämiseksi pinnoitettu levy voidaan suojata muovikalvolla. Jos näin tehdään, tulee muovin irrottamisesta erillinen ja aikaa vievä työvaihe.

Activent-suutinkanavassa pinnoitetun materiaalin käyttö toisi huomattavia parannuksia koska kanava maalataan tehtaan ulkopuolisella hankkijalla. Kuljetukset ja kanavien kolhiintumis- ja naarmuuntumisriski sekä valmistuskustannukset alenisivat. Ongelmana on ollut suuttimen muovauksen yhteydessä pinnoitteen irtoaminen. Työkalun kiillottamista, pinnoittamista, eri työkalumateriaalia ja erityyppisiä pinnoitettuja aihiomateriaaleja voi kokeilla.

11.3 Case – Voiteluainetekniikka ja voiteluaineeton syväveto

Voiteluaineen tehtävänä on pienentää kitkaa ja siten parantaa materiaalin virtausta ja muovattavuutta. Muita keinoja kitkan pienentämiseksi ovat liukkaat pinnoitteet ja sileä työkalun pinnanlaatu.

Koska voitelu näytti olevan erityisen tärkeä tekijä syvävedon onnistumisessa ja koska voiteluaineille asetetaan tiukat vaatimukset tuotanto- ja ympäristötekijöiden kannalta, päätettiin voiteluaineita tutkia tarkemmin. Voiteluaineet esikarsittiin maahantuojien ja valmistajien valikoimasta laatimalla vaatimuslista tarvittavista ominaisuuksista:

- alhainen kitkakerroin
- paineenkestävyys
- ympäristöystävällisyys
- ei muodosta kasvualustaa pieneliöille
- ei tahmaa työkaluja
- kappaleita ei tarvitse pestä
- levitettävyyttä telalla ja sumuttamalla
- hajuttomuus

- ei lisää alttiutta pölyn tarttumiselle kappaleen pinnalle
- lämpötilan kesto 100 C°

voiteluaineista suunniteltiin testattavaksi seuraavat ominaisuudet:

- kitkakerroin
- voiteluainejäämät muovatussa tuotteessa
- tahmaaminen
- haju
- toimiiko mikrobien kasvualustana

Kitkakertoimen testauslaitteessa tulee tapahtua levyn muovautumista niin, että voiteluaineiden toiminta tulee testattua oikeantyyppisissä muovauspaineen- ja lämpötilan alaisissa olosuhteissa. Voiteluainejäämiä, tahmaamista, hajua ja kasvualustana toimimista testataan yhdessä Kuopion yliopiston kanssa.

11.4 Case - Puristusliittäminen

Puristusliittämistä käytetään Järnan kanavatehtaalla Ruotsissa syvävedetyn kauluksen liittämässä T-haaraan. Menetelmä sopisi myöskin moniin muihin kanavanosiin sekä laatikkomaisiin tuotteisiin. Käyttöönottoa hidastaa se, että pistehitsauskonekanta on hyvä ja pistehitsauskoneen käyttöikä on pitkä.

Iris mittaus- ja säätölaitteen säle kiinnitetään puristusliittämällä koissa Ø 100-200 mm. Koissa Ø 80 mm ja Ø 250-800 mm käytössä on edelleen niittaus. Syynä niittauksen käyttöön on se, että niittauskonekanta on olemassa ja se että tuotteen säleenirrotuksen ja pohjanmuovauksen työkaluihin tulisi tehdä muutoksia siirryttäessä puristusliittämiseen. Koot Ø 100-200 mm, joilla puristusliittäminen tehdään ovat suurempivoluumisia, joten niiden puristusliittäminen tarvittavine muovaustyökalumuutoksineen on katsottu kannattavaksi.

Jos ruostumaton teräs tulee Iristen materiaaliksi, on säleen liittämisen filosofia harkittava kokonaan uudelleen. Niittauskoneissa ei voima riitä ruostumattoman materiaalin niittaamiseen. Niittaus on menetelmänä kallis. Investointi sekä ruostumattoman Iriksen, että tavallisen Iriksen kokojen 80 ja 250-800 säleiden liittämiseen tulee miettiä kokonaisuutena. Samalla laitteella tulisi olla mahdollista liittää sekä nyt niitattavat koot sekä ruostumattomat tuotteet. Tämä mahdollistaisi ruostumattomien tuotteiden valmistuksen ja alentaisi nykyisten tuotteiden valmistuskustannuksia.

Puristusliittämisen liitospisteen varmuus tulee harkita ja testata suuremmissa tuotteissa. Näissä säleisiin ja niiden liitospisteisiin kohdistuu huomattavasti suurempia voimia kuin pienemmissä tuotteissa. Liitospisteiden lujuutta on mahdollista suurentaa suurentamalla liitospisteiden halkaisijaa. Puristusliittämisen ja niittaamisen kustannuksia on vertailtu liitteessä 5.

11.5 Case - Kaarijuotto

Kaarijuottoa kokeiltiin Kemppi Pro-hitsauslaitteistolla, jossa on synerginen pulssitus ja herkästi ohjaukseen reagoiva virtalähde taajuudeltaan 20 kHz. Testit suoritettiin käsinjuottamalla. Lisäainelankana käytettiin CuSi 3 lankaa, jolle virtalähteessä oli valmiina ohjelma. Koekappaleina oli alumiinisinkittyä, kuumasinkittyä sekä ruostumatonta teräsohutlevyä.

Kokeiden tuloksena todettiin, että juotos saatiin varsin helposti onnistumaan, kaari syntyi herkästi ja paloi vakaasti roiskeetta. Lyhyen harjoittelun jälkeen juottaminen onnistui käsivaralta. Kuljetusnopeuden todettiin olevan suuremman kuin nykyisellä menetelmällä. Parametrien säädöllä saatiin liitokseen riittävä tunkeuma ja siten myös lujuusominaisuudet riittävälle tasolle.

Juotettavana oli ruostumatonta terästä ja alumiini- ja kuumasinkittyä terästä. Kaikkien materiaalien juotto saatiin onnistumaan. Sinkityillä levyillä palko muodostui pienemmäksi ja huurujen ja roiskeiden syntyminen oli vähäisempää kuin nykyisellä hitsausmenetelmällä. Kuumasinkityn materiaalin huurut olivat kuitenkin edelleen huomattavasti runsaammat kuin alumiinisinkityn. Ruostumattoman teräksen juotossa ei näkyviä huuruja syntynyt, mutta niitä ei synny ruostumattoman teräksen hitsauksessakaan. Alumiinisinkitylle koekappaleelle tehtiin maalattavuuskoe pulverimaalaamossa. Maalinpinta oli normaali ja maali oli tarttunut lujasti, eli maalaaminen onnistui ongelmitta.

Materiaaleille tehtiin myös korroosiokokeet. Korroosiokokeet osoittivat sinkityn materiaalin käyttäytyvän samoin niin hitsattuna kuin juotettunakin. Ilman maalausta alumiinipronssilisäaine hapettuu voimakkaasti. Happokäsittelyn jälkeen ruostumattoman teräksen ulkonäkö ei ollut tyydyttävä koska juote näkyi kuparin värisenä. Näinollen menetelmä ei tule kyseeseen ruostumattoman teräksen liittämässä.

Etuina todettiin olevan suuri juottonopeus, roiskeettomuus ja juoton helppo aloitus. Liitteessä 6 olevassa taulukossa on vertailtu kaarijuoton kannattavuutta nykyiseen hitsausmenetelmään.

Nykyisen robottiaseman kiinnittimiä esitettiin kehitettäväksi juuritukien osalta. Kuparinen vesijäähdytetty juurituki estää läpipalamista ja pienentää siten jälkityön, kuten hionnan, määrää kehyksen laippojen osalta.

Jo iäkkään robotin paikoitustarkkuus, liikenopeedet ja ohjaimen soveltuvuus tulee tarkistaa ennen kaarijuottoon siirtymistä. Siirryttäessä käsinjuottoon verrattuna suurempiin kuljetusnopeuksiin saattaa vaikeuksia tulla myös juottoparametrien, suojavaasun ja lisäainelangan haussa.

11.6 Case - Levytyökeskus

On vertailtu laseryhdistelmälevytyökeskuksen ja perinteisen levytyökeskuksen ominaisuuksia Toijalan tehtaan tuotannon kannalta. Laserilla leikkaaminen ei tuo ajansäästöä, koska on olemassa hyvät työkalut kaarevien osien lävistämiseen. Kaaret eivät ole muuttuväteisiä, joten niiden työstö onnistuu mekaanisesti leikkaavilla kaarityökaluilla. Nykyiset levytyökeskukset ovat melkoisesti nopeampia lävistämällä leikattaessa kuin vanha käytössä oleva Finn-Power TP 3025, joten uusia koneita vertailtaessa lävistämällä työstö sujuu vielä nopeammin. Tämän päivän koneiden maksimi iskuluku on 900 1/min kun se TP 3025:llä on 600 1/min.

Laserilla leikattaessa leikkauspinnan laadun paraneminen ja materiaalihukan pieneminen tulee ottaa huomioon levytyökeskusinvestointia suunniteltaessa. Laserleikatun reunan muutosvyöhykkeen karmeneminen ja sen vaikutus aihoiden syvävetoon tulee tutkia. Laserlaitteistojen mahdollinen halpeneminen tulee asettamaan myös yhdistelmälevytyökeskuksen toisenlaiseen kilpailuasemaan.

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ruostumattomasta teräksestä valmistettavat tuotteet

Aikaisemmin ruostumattomasta teräksestä valmistettavien tuotteiden valmistamista on pidetty mahdottomana samoilla työkaluilla kuin sinkityillä tuotteilla tehdään. Asian parissa tehty tutkimustyö osoitti tämän kuitenkin mahdolliseksi.

Ruostumattoman teräksen erilaiset materiaaliominaisuudet hiiliteräkseen verrattuna aiheuttavat kuitenkin sen, että tiettyjä asioita on otettava huomioon ruostumattomasta teräksestä tuotteita valmistettaessa. Takaisinjousto on suurempaa ruostumattomalla teräksellä. Kun valmistetaan tuotteita samoilla työkaluilla, niin sekä hiiliteräksestä kuin ruostumattomasta teräksestä valmistettavien kappaleiden mitat on tarkastettava.

Työkalujen leikkaavat särmät joutuvat erityisen koville ja niiden kunnosta on huolehdittava. Huono leikkuujälki johtaa usein murtumaan syvävedossa. Syvävedossa ruostumattoman teräksen voimantarve on suurempi, mutta suuri murtovenymä antaa hyvät syväveto-ominaisuudet.

Voitelu ruostumattoman teräksen syvävedossa on oltava huomattavasti paremmalla tasolla kuin hiiliteräksellä. Tämä johtuu suuremmista muovausvoimista ja materiaalin taipumuksesta kylmähitsautua työkaluun. Työkalun pinnoittamisella tai aihiomateriaalin muovikalvopinnoituksella voidaan muovausprosessin voitelua tehostaa.

Vetovälitys voi käytännön tilanteessa olla sama ruostumattomalla ja hiiliteräksellä. Kappaleet eivät rypyty liiaksi, eivätkä myöskään tartu työkaluihin, kunhan muovausparametrit on säädetty oikein.

Aihiomateriaalimuodoista edullisimmaksi tulee raina edellyttäen, että jätemateriaalin talteenotto järjestetään. Itseleikatut pyöreät kiekot ovat kallein vaihtoehto. Pyöreistä kiekkoista irrotuslinjalla alihankintana tehty tarjous olisi myös mielenkiintoinen, jos rainamateriaali ei toimisi ja syväveto onnistuisi ainoastaan erikseen leikatuista pyöreistä aihioista. Pyöreillä aihioilla myös muovauksen voitelu olisi mietittävä uudelleen.

Voitelu levynmuovauksessa

Voiteluaineiden ominaisuudet varsinkin ruostumattoman teräksen muovauksessa osoittautuivat tärkeiksi. Hyvinvoitelevan, ilmanvaihto-osiin puhtautensa puolesta sopivan ja ympäristöystävällisen voiteluaineen löytämiseksi on tehty työtä. Työ jatkuu EU-yhteisprojektin merkeissä.

Maalattun tai pinnoitetun levyn käyttö

Maalattun tai pinnoitetun levyn käytöllä oikeissa tuotteissa ja oikeilla valmistusmenetelmillä on mahdollista saavuttaa suuria kustannussäästöjä. Maalattu tai pinnoitettu levy sopii huonosti syvävedettäville tuotteille kuten venttiileille ja on myös ulkonäöllisesti huonompi kuin jälkimaalattu. Joissakin tuotteissa kuten suutinkanavassa, jonka jälkimaalaus on hankalaa, on maalattu tai pinnoitettu levy hyvä vaihtoehto.

Puristusliittäminen

Puristusliittämisen käyttöönotto vaikuttaa perustellulta myös isompien Iris-säätölaitteiden säleiden kiinnityksessä, varsinkin kun ruostumattomasta teräksestä valmistettavat tuotteet otetaan mukaan ohjelmaan. Puristusliittämisen laajempaa käyttöönottoa tulee harkita aina uusia tuotteita suunnitellessa tai vanhoja muutettaessa. Pistehitsauskoneita uusittaessa tulisi miettiä niiden korvaamismahdollisuutta puristusliittämistekniikalla.

Kaarijuotto

Kaarijuotto havaittiin mielenkiintoiseksi menetelmäksi. Se tuo nopeutta sinkityn ohutlevyn liittämiseen. Uudet hitsausvirtalähteet tukevat sellaisenaan kaarijuottoa.

Sinkityn teräslevyn juotossa hitsauspalot ovat pienempiä ja hitsausnopeus on suurempi. Roiskeita syntyy vähemmän ja sinkki edesauttaa sulan juoksemista.

Robotisoidussa juotossa ongelmaksi saattaa muodostua robotin liike- ja paikoitustarkkuudet sekä robotin liikenopeuksien hitaus. Nämä onkin tutkittava ennen kaarijuottoon siirtymistä. Lisäksi kaarijuotto vaatii uuden hitsausvirtalähteen. Turun puhallintehtaan kokemuksia siipipyörän kaarijuottoon siirtymisessä voidaan käyttää.

13 YHTEENVETO

"If you need a machine and don't buy it, then you will ultimately find you have paid for it but don't have it"- *Henry Ford*.

Henry Ford osasi jo teollistumisen alkuaikoina miettiä laiteinvestointien takaisinmaksuajan periaatteita, mitkä tänä päivänä investointeja tehtäessä ovat ratkaisevia. Investoinnin tuottavuus ja takaisinmaksuaika ovat varsin konkreettisia perusteita investoinnin toteuttamiselle. Joskus investointeja tehdään myös strategisista perusteista, jolloin takaisinmaksuajasta ja tuottavuudesta ei ole selviä näyttöjä, mutta uskotaan vahvasti investoinnin tuottavan suurta hyötyä ja kasvua yritykselle sisäänajovaiheen jälkeen. Tällaiset strategiset investoinnit voivat isoissa organisaatioissa olla vaikeasti perusteltavissa ja niinpä Henry Fordin konkretia on lähempänä käytäntöä.

Tässä työssä on käyty läpi monia ohutlevyn valmistusmenetelmiä. Jotkut niistä ovat tuntuneet järkevilta ja divisioona Lapinleimun tuotantoon soveltuvilta, mahdollisesti ratkaisuilta eteen tuleviin tuotantoteknisiin ongelmiin.

Tätä työtä lähdettiin tekemään tavallaan väärinpäin, eli selvittämään ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmissä tapahtunutta kehitystä ilman mitään valmistusteknistä ongelmaa. Oikea lähestymistapa tuotantoteknisiin investointeihin on se, että ensin on ongelma ja siihen lähdetään miettimään ratkaisua. Ongelma voi olla valmistuskapasiteetin puute, tuotteiden heikko laatu, kohtuuttoman kalliit valmistuskustannukset, liian pitkä läpimenoaika tai vastaava. Tämä ongelma tiedostetaan ja siihen lähdetään hakemaan apua uusista tai vanhoista valmistusmenetelmistä. Tässä vaiheessa tämä diplomityö saattaa olla avuksi tuotantotekniikkaan tutustuttaessa ja eri tuotantomenetelmiä oman tuotannon kannalta arvioitaessa.

Uudet tuotantotekniikat sisältävät tuotantoteknisten ongelmien ratkaisujen lisäksi myös mahdollisuuden; aikaisemmin kalliisti tai hankalasti valmistettava tuote saattaa muuttua kannattavaksi, kun siihen löydetään oikeat tuotantotekniikat. Tällöin uuden valmistustekniikan löytäminen saattaa synnyttää uuden tuotteen tai tuotteita.

Diplomityö aikaansai muutamia valmistuksen kehittämisajatuksia, joita vietiin teoriaosaa hieman pidemmälle. Näistä tärkein oli ruostumattoman teräksen syväveto. Tuoteperheen täydentäminen ruostumattomien tuotteiden osalta saattaa avata uusia markkinoita. Materiaaliominaisuuksien erilaisuudesta johtuen ruostumattomasta teräksestä valmistettujen tuotteiden valmistuksen aloittaminen vaatii työtä ja myös jonkin verran investointeja. Tulee miettiä, kuinka pitkälle tässä halutaan mennä ja mitkä ovat potentiaaliset tuotteet ja markkinat. Päänavaus ruostumattomasta teräksestä valmistettaville tuotteille on kuitenkin tehty.

Mielenkiintoisia tuotantomenetelmiä divisioonan tuotantoa ajatellen olivat myös hydromekaaninen syväveto vaikeissa muovauksissa, kaarijuotto, taivuttaminen taivutuskoneella, eri leikkausmenetelmät, tulevaisuudessa hankintahinnan laskiessa varsinkin laser, mutta tällä hetkellä plasman hyvä soveltuvuus, puristusliittäminen laatikkomaisissa tuotteissa ja kanavanoissa, sekä isommissa Iris mittaus- ja säätölaitteissa. Muovauksen voiteluainetekniikassa siirtyminen ympäristöystävällisiin voiteluaineisiin ja niiden käytön minimoiminen tuotteiden laadun ja puhtauden parantamiseksi.

Lähdeluettelo:

- /1/. Nuutinen, J. & al. Ohutlevyjen liittäminen. Tekninen tiedotus 7/99. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki, 1999. 107s. ISBN 951-817-705-8
- /2/. Haikola, T. DIARC-timanttipinnoite levytyökaluissa. Ohutlevy 2/1998. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1998. ss. 40-41. ISSN 1239-4122.
- /3/. Lapinleimu, M. Keittiöstä konserniin, Lapinleimu 1935-1995. TSOY. 1995. 103s. ISBN 952-90-6358-X.
- /4/. Penttilä, R. Sähköimpulssimuovaus. VTT tiedotteita 1808. VTT. 1997. 34s. ISBN 951-38-5083-8.
- /5/. Aaltonen, K. Andersson, P. Kauppinen, V. Levytyö- ja työvälinetekniikat. WSOY. 1997. 264s. ISBN 951-0-21438-8.
- /6/. Kotamies, J. & Nieminen, I. Abrasiivinen vesisuihkuleikkaus. Tekninen tiedotus 7/91. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1991. 28s.
- /7/. Lenze, F-J. & Neubert, J. Ohutlevy 2/1997. Putkien ja levyjen muovaus nestepaineella. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1997. ss. 30-35. ISSN 1239-4122.
- /8/. Savinainen, T. Magneetti-impulssitekniikan uudet mahdollisuudet ohutlevytuotteiden valmistuksessa. Ohutlevy 2/1998 Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1998. ss. 30-31. ISSN 1239-4122.

- /9/. Savinainen, T. Vierintämuovaustekniikan tuotteistus on vauhdissa. Ohutlevy 1/1995. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1995. ss. 33. ISSN 1239-4122.
- /10/. Saksassa tutkitaan uusia levynmuovausmenetelmiä. Ohutlevy 1/1995. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1995. ss. 34. ISSN 1239-4122.
- /11/. Korhonen, A. Hienoleikkaus – hyvää pinnanlaatua ilman jälkityöstöä. Ohutlevy 1/1996. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1996. ss. 33-34. ISSN 1239-4122.
- /12/. Leino, K. Kaarijuotto – vaihtoehto sinkittyjen ohutlevyjen hitsaukselle. Ohutlevy 1/1995. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1995. ss. 38-40. ISSN 1239-4122.
- /13/. Jyrkäs, K. & al. Muovipinnoitetut ohutlevyt ja niiden käyttö. Tekninen tiedotus 2/1998. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1998. 71s. ISBN 951-817-682-5.
- /14/. Saviranta, E. Voivatko työkalujen kovapinnoitukset korvata voitelun. Ohutlevy 2/1995. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1995. ss. 27-30. ISSN 1239-4122.
- /15/. Haikola, T. DIARC-timanttipinnoite lisää tuottavuutta ja vähentää kustannuksia. Ohutlevy 1/1997. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1997. ss. 35-37. ISSN 1239-4122.
- /16/. Tuominen, K. 1993. Tekninen tiedotus 10/93. Benchmarking prosessiopas – opi ja kehitä kilpailijoita nopeammin. Helsinki. Metalliteollisuuden kustannus. 114 s. ISBN 951-817-575-6.

- /17/. Holopainen, K. Ohutlevytöiden tuotannonohjauksen kehittäminen. Tekninen tiedotus 11/1984. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki. 1984. ISBN 951-817-207-21.
- /18/. Toivanen, T. Vetotyökalujen lämpötilan vaikutus ruostumattoman teräksen syvävedettävyyteen. Diplomityö. TKK. 1999. 61 s.
- /19/. HyDefinition Plasma Designed for Automated Robotic or Precision X-Y Applications [valmistajan esite]. 1998, Hypertherm Inc
[viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
<http://www.hypertherm.com/hd3070.htm>
- /20/. The Fine-Blanking Technology. The Manufacturing Engineering Department of the Hong Kong Polytechnic University (PolyU)
[viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
http://www.mf.polyu.edu.hk/fine_blank/information.html
- /21/. Tube Hydroforming. Fraunhofer. 1999.
[viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
<http://www.frc-mi.fraunhofer.com/forming/products/productsiwu3.htm>
- /22/. Forming Technology - Technical Fields. Fraunhofer. 1999.
[viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
<http://www.frc-mi.fraunhofer.com/forming/products.htm>
- /23/. Salvagnini L1 [tuote-esite]. Salvagnini. 1998.
[viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
<http://www.salvagnini.it/IndexProducts.htm?227370605>

- /24/. The CNC Waterjet Cutting System BYJET. Hankwang.
[viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
<http://www.hankwang.co.kr/BYJET.htm>
- /25/. Folding System TURBOend. RAS. [tuote-esite].
viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
<http://www.ras-online.de/English/Documents/Startframes/Products.htm>
- /26/. Nagakawa, T. Kehittyvät auton korin osien muovaustekniikat.
Ohutlevy 1/1994. Metalliteollisuuden kustannus Oy. Helsinki.
1994. ss. 8-14. ISSN 1239-4122.
- /27/. Illustrated Guide to Metal Spinning. ASM.
viitattu 6.10.1999] Saatavissa:
<http://www.amsind.com/hand.htm>
- /28/. VHB-teipit. 3M tuote-esite. 3M Bonding Systems Division.
1998.
- /29/. RIVSET® self-piercing -fastening of sheet metal and
sections. [tuote-esite]. Böllhof. 1999.
[viitattu 7.10.1999] Saatavissa:
<http://www.boellhoff.de/E/uptodate/>
- /30/. Self-Piercing Riveting Information [tuote-esite]. Henrob.
[viitattu 7.10.1999] Saatavissa:
<http://members.aol.com/henrobbb/index.html>
- /31/. Ultrasonic Assembly. [tuote-esite]. Rinco. 1999.
viitattu 7.10.1999] Saatavissa:
<http://www.rincoultrasonics.com/english/homepage.htm>

- /32/. SPI-Sheetmetal for Mechanical Desktop 4.0 [tuote-esite].
SPI GmbH. 1999.
[viitattu 7.10.1999] Saatavissa:
<http://www.spi.de/sheetmet/sm1.htm>
- /33/. Why use ultrasonic welding and how does it work.
[viitattu 7.10.1999] Saatavissa:
<http://www.tomantool.com/ultra.html>
- /34/. Resources on Electromagnetic and High Velocity Forming.
[viitattu 7.10.1999] Saatavissa:
<http://mse.eng.ohio-state.edu/~daehn/hyperplasticity.html>
- /35/. Nurmi, L. Ohutlevyn syväveto - Työkalut ja puristimet.
Tekninen tiedotus 7/81. Helsinki. 1981. 70 s. ISBN 951-817-081-9
- /36/. Kleemola, H. et. al. Ohutlevyn syväveto - Materiaalit.
Tekninen tiedotus 7/80. Helsinki. 1980. 70 s. ISBN 951-817-057-6
- /37/. AbrasiveJet and WaterJet Machining: Introduction
[viitattu 15.10.1999] Saatavissa:
http://wj.net/waterjet/about_abrasivejets.html
- /38/. Scholz, M. Forming technology – Process control in deep Drawing. Berliinin Teknillinen Korkeakoulu.
[viitattu 26.10.1999] Saatavissa:
http://www.iwf.tu-berlin.de/wzm/engl/Forschung/Umformtechnik/umf_tiefziehe_n_e.html

- /39/. Cheng, J. & Le, B.
CyberSheet Metal Forming, DEEP DRAWING
University of California at Berkeley
[viitattu 26.10.1999] Saatavissa:
<http://madmax.me.berkeley.edu/~mas/sheetmetal/draw.html>
- /40/. Ultrasonic welding. Stapla Ultrasonics Corporation.
[viitattu 27.10.1999] Saatavissa:
<http://staplaultrasonics.com/c2-ultra/ultra.htm>
- /41/. Eskola, P. & al. Voitelu levynmuovauksessa. Tekninen tiedotus 24/81. Helsinki. 1981. 40 s. ISBN 951-817-108-4
- /42/. Plum, Michael M. Maxwell-Magneform, President.
kirjeenvaihto Plum – Mäki-Mantila 27.9.1999-1.11.1999
- /43/. Vohnout, V. Daehn, G. High-velocity metal forming of aluminum. The Fabricator 9/1998. The Groydon Group. ISSN 0888-0301.
- /44/. Tarkiainen, R. Outokumpu Polarit Oy. Kirjeenvaihto Tarkiainen – Mäki-Mantila 10.11.1999 – 17.12.1999
- /45/. Manninen, T & Vahter, J. Levynmuovauksen simulointi. Esitelmä levytekniikan teemapäivä, 14.10.1999, Hämeenlinna
- /46/. Varis, J. Ohutlevyjen puristusliittäminen. Tekninen tiedotus 2/97. Helsinki. 1997. 55 s. ISBN 951-817-665-5
- /47/. Varis, J. & Penttilä, R. & Kujanpää, V. Flexible Automation of Clinching and Ahhesive Bonding of Sheet Metal Parts. VTT Research Notes 1657. VTT. Espoo. 1995. ISBN 951-38-4812-4.

- /48/. Trumpf GmbH & Co. Valmistajan käyttöohjekirja laserleikkaus-koneelle. Data Collection TCL 3030.1998. Edition 8/98. 55 s.
- /49/. Tailored blanks. Esi Group.
[viitattu 23.11.1999] Saatavissa:
<http://www.esi.fr/products/stamp97/processes/index.html>
- /50/. Stamping simulations. Esi Group.
[viitattu 23.11.1999] Saatavissa:
<http://www.esi.com.au/PAM/stamp.html>
- /51/. Automotive Tailored Blanks. Corus.
[viitattu 23.11.1999] Saatavissa:
<http://www.hoogovens.nl/automotive/pag41.html>
- /52/. Audi AG:n kustannusvertailu puristusliittämisestä, onttoniittuksesta ja pistehitsauksesta
- /53/. Attexor SPOT CLINCH® P35S series. Tuote-esite.
[viitattu 8.12.1999] Saatavissa:
<http://www.attexor.com/>
- /54/. Eckold clinching. Tuote-esite.
[viitattu 8.12.1999] Saatavissa:
<http://www.eckold.de/englisch/frames1.htm>
- /55/. Stansloc FAS-NER. Uusi järjestelmä ohutlevyjen pikaliittämiseen. Valmistajan tuote-esite. Oy Colly Company Ab. Helsinki. 3s.

- /56/. AP&T. Mekanisk Hydroforming. Valmistajan esite.
- /57/. Kujanpää, V. & Salminen, A. Suuritehoisen Nd:YAG-laserin käyttö konepajateollisuudessa. Tekninen tiedotus 5/98. Metalliteollisuuden keskusliitto. Helsinki. 1998. 53 s. ISBN 951-817-686-8
- /58/. Salminen, A. & Kujanpää, V. CO2- laserin käyttö konepajateollisuudessa. Tekninen tiedotus 7/97. Metalliteollisuuden keskusliitto. Helsinki. 1997. 66 s. ISBN 951-817-673-6
- /59/. Amada. Astro 100 Automated Bending Robot Tuote-esite. [viitattu 14.12.1999] Saatavissa: <http://www.amada.com/products/astro.htm>
- /60/. Rinta-Knuuttila, A. Lillbackan konepaja Oy. Kirjeenvaihto Rinta-Knuuttila – Mäki-Mantila 15.12.1999 – 29.3.2000
- /61/. Egeberg, H. 3M. Kirjeenvaihto Egeberg – Mäki-Mantila 15.12.1999 – 7.1.1999.
- /62/. Tarkiainen, R. Ruostumattoman teräksen syvävedettävyyden parantaminen työkaluja lämmittämällä. Esitelmä 14.10.1999. Levytekniikan teemapäivä. Hämeenlinna.
- /63/. Carlson, T. Diplomityö. Konetekniikan osasto. Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu. 2000. Lappeenranta.
- /64/. Majuri, J. Salvagnini p4 taivutusautomaatti. Kirjeenvaihto Majuri – Mäki-Mantila 21.11.1999 – 23.3.2000
- /65/. Rosette liittämismenetelmä. Tuote-esite. [viitattu 6.2.2000] Saatavissa: <http://www.roettesystems.com/>