

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0402 Kandidaatintyö

OHUTLEVYJEN SÄRMÄYS

BENDING OF SHEET METAL

Lappeenrannassa 07.11.2017

Olli Salonen

Tarkastaja TkT Mika Lohtander

Ohjaaja TkT Mika Lohtander

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
LUT Energijärjestelmät
LUT Kone

Olli Salonen

Ohutlevyjen Särmäys

Kandidaatintyö

2017

30 sivua 20 kuvaa

Tarkastaja: TkT Mika Lohtander

Ohjaaja: TkT Mika Lohtander

Hakusanat: Ohutlevyjen särmäys, vapaataivutus, pohjaansikutaiivutus

Tiivistelmä

Ohutlevy on korkeintaan 3 mm paksu yleensä teräksestä tai alumiinista valssattu levy. Ohutlevyistä on helppo koota jäykkiä ja kevyitä rakenteita, joita käytetään teollisuudessa laajasti. Ohutlevyjen särmäyksellä tarkoitetaan sitä, kun ohutlevyä taivutetaan myötörajan yli johonkin haluttuun kulmaan. Levyä taivutettaessa tulee ottaa huomioon taivutuksen jälkeinen takaisinjousto, mikä pyrkii taivuttamaan levyä takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Takaisinjoustoja voidaan vähentää ylitaivuttamisella tai loveamisella. Usein särmäystavat ovat variaatioita joko vapaa-, tai pohjaansikutaiivutuksesta. Vapaataivutuksessa ohutlevyä taivutetaan ilmassa, kun taas pohjaansikutaiivutuksessa taivutus hoidetaan vastinkappaletta vasten painamalla. Pohjaansikutaiivutuksella saadaan tarkempia kulmia pienemmällä takaisinjoustolla, mutta se vaatii suurempia voimia ja voi aiheuttaa vaurioita ohutlevyn pinnalla.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Olli Salonen

Bending of Sheet Metal

Bachelor's Thesis

2017

30 pages, 20 figures

Examiner: TkT Mika Lohtander

Supervisor: TkT Mika Lohtander

Keywords: Bending of Sheet Metal, Air Bending, Bottom Bending

Abstract

By definition sheet metal is a maximum 3 mm thick cold rolled piece of steel or aluminum alloys. Sheet metal can easily be used to create light and stiff structures, that are widely used in various applications. Bending means that a piece of sheet metal is bent past its yield strength until it reaches a desired angle. After the bending process spring back effect causes the bent piece of sheet metal return closer to it's original shape. The effects of spring back can be reduced with overbending or coining. Bending processes are often variations of either air bending or bottom bending. With air bending the bending process happens on air whereas with bottom bending the piece of sheet metal is pressed against a stamp. Bottom bending produces more accurate bends with a smaller spring back but at the same time it requires higher forces and can damage the surface of the sheet metal piece.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
2 OHUTLEVYIT YLEISESTI	6
3 SÄRMÄYS	7
3.1 Särämäyspuristimet	8
3.2 Vapaataivutus.....	9
3.3 Pohjaaniskutaivutus	9
3.4 Elastomeeri	10
3.5 U-Taivutus	11
3.6 Loveaminen	11
3.7 Reunataivutus.....	12
3.8 Taivutuskone.....	14
3.9 Taivutusautomaatti.....	15
3.10 Rotary-taivutus.....	15
3.11 Litistäminen	16
3.12 Mankelointi	19
3.13 Vaotus & Flange Roller	20
3.14 Kutistin ja Venytin.....	21
4 ESIMERKKEJÄ MAHDOLLISISTA TAIVUTUKSISTA	23
4.1 Monikulmainen osa.....	23
4.2 Avaruudellinen taivutus.....	23
4.3 Kartio	24
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	26
6 YHTEENVETO	27
7 LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on olla selvitys ohutlevyjen särmäyksessä mahdollisesti käytettävistä särmäysprosesseista, sekä niiden sovelluksista joissakin teollisuudessa yleisesti käytettävien muotojen särmäyksessä. Työ on kirjallisuusselvitys, jossa lähteinä käytetään kirjallisuutta ja internetistä löytyvää materiaalia. Valmista työtä voidaan käyttää apuna opetuskäytössä. Kandidaatin työtä voidaan käyttää esimerkiksi pohjana ohutlevyjen särmäystä käsittelevän luennon luentokalvojen pohjana. Valmiin työn tulisi koota useampia särmäysprosesseja samoihin kansiin kuin tällä hetkellä saatavilla olevassa suomenkielisessä kirjallisuudessa.

2 OHUTLEVY YLEISESTI

Ohutlevy on yleensä määritetty joko kylmä- tai kuumavalssatuksi korkeintaan 3 mm paksuiseksi teräs- tai alumiinilevyksi. Standardi SFS-EN 10130 määrittää tarkemmin kylmävalssatut teräkset paksuudeltaan välille 0,35 – 3 mm. Paksuuden määritelmää johtuu kylmävalssausprosessin rajoituksista. Ohutlevyistä on mahdollista valmistaa jäykkiä ja kestäviä, mutta samalla myös kevyitä rakenteita. Ohutlevyjä käytetään teollisuudessa laajasti. Esimerkiksi autoteollisuus on yksi suuri ohutlevytuotteiden hyödyntäjä. (Matilainen et al. 2010, s. 3 & 7)

3 SÄRMÄYS

Yleisesti ohutlevyjen yhteydessä särmäyksellä tarkoitetaan sitä, että ohutlevy muovautuu plastisesti, kun sitä on taivutettu myötörajan yli haluttuun kulmaan. Särmäys on yleinen ohutlevyprosessi. (Matilainen et al. 2010, s. 239)

Ohutlevyä taivutettaessa koko taivutuksen poikkileikkaus ei pääse taipumaan plastisesti. Reunoiltaan plastisesti taipuneen levyn keskelle jää aina elastisesti taipunut alue joka pyrkii palautumaan alkuperäiseen muotoonsa ja näin ollen suoristamaan levyä. Tätä ilmiötä kutsutaan takaisinjoustoksi. Takaisinjouston suuruutta on erittäin vaikea arvioida, sillä takaisinjoustoon vaikuttavat taivutusprosessi ja siinä käytettävät parametrit sekä taivutettavan ohutlevyn geometria ja materiaalilliset ominaisuudet. Takaisinjouston vaikutusta voidaan pienentää taivutettavaa osaa lämmittämällä, yli halutun kulman taivuttamalla sekä luvussa 3.5 käsiteltävällä loveamisella. (Matilainen et al. 2010, s. 245 - 246)

Useimmiten ohutlevyjä taivutettaessa käytetään kylmätaivutusta, jolloin ohutlevyyn ei tuoda taivutuksen aikana ulkopuolista lämpöä. Tässä työssä käsitellään kylmätaivutettavia prosesseja. Tässä työssä käsitellään ohutlevyjen taivuttamista, mutta on kuitenkin huomattavaa, että suurin osa prosesseista soveltuu myös yleistä kolmen millimetrin määritelmää paksummille teräs- ja alumiinilevyille. (Matilainen et al. 2010, s. 3)

3.1 Särmäyspuristimet

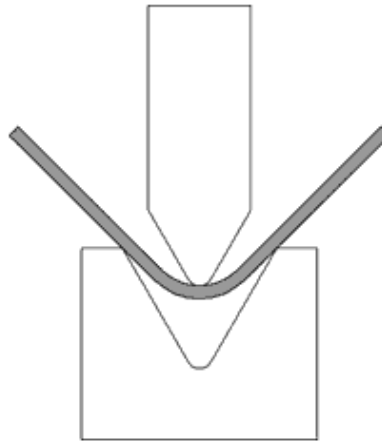
Särmäyspuristin on yleisin ohutlevyjen taivutuksessa käytetty kone. Särmäyspuristin koostuu kahdesta leuasta joista ylempään asennetaan painin ja alempaan vastin. Särmäyspuristimella voidaan esimerkiksi suorittaa tavanomaisen vapaa- ja pohjaaniskutaiivutuksen lisäksi esimerkiksi kappaleessa 3.10 esitetyn rotary-taiivutuksen mukaisesti. Särmäyspuristimet tuottavat puristusvoiman joko pneumaattisesti, hydraulisesti tai mekaanisesti. Pneumaattiset koneet soveltuvat vain pienempiä puristusvoimia vaativiin sovelluksiin ja niiden käyttö on harvinaista. Hydraulisesti toimivilla koneilla saadaan aikaan suurin puristusvoima. Kuvassa 1 on esitetty hydraulitoiminen särmäyspuristin. (Matilainen et al. 2010, s. 240) (SheetMetal.me 2015g)



Kuva 1. Hydraulitoiminen särmäyspuristin (Haco.com 2017).

3.2 Vapaataivutus

Vapaataivutuksessa kahden vastimen välissä keskeltä ilmassa olevaa ohutlevyihiota painetaan v-muotoisella painimella vastimien väliin. Aihio on koko prosessin ajan vain vastimien päällä. Prosessi on esitetty kuvassa 2. Haluttu kulma riippuu painimen iskunpituudesta. Samoilla työkaluilla iskunpituutta säätämällä voidaan saavuttaa lähes kaikkia mahdollisia kulmia. Ylätyökalun koko rajoittaa kaikkein jyrkimpien kulmien valmistamista. (Matilainen et al. 2010, s. 241; Mäki-Mantila 2001, s. 6)

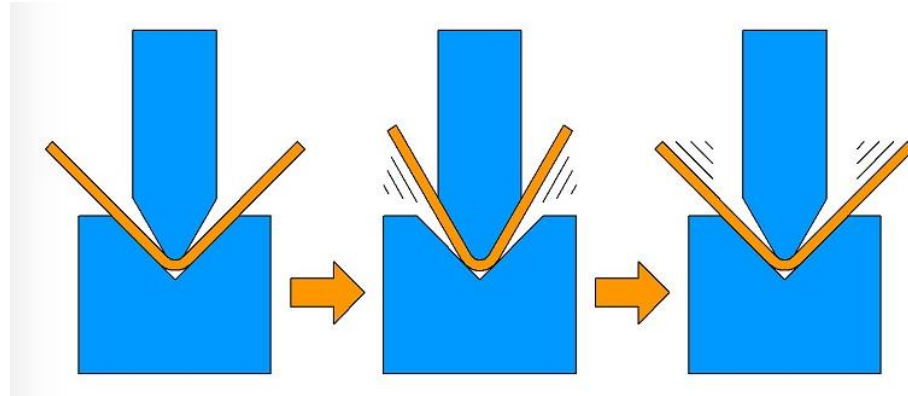


Kuva 2. Vapaataivutus (SheetMetal.me 2015e).

3.3 Pohjaaniskutaivutus

Pohjaaniskutaivutuksessa ohutlevyihio lepää vastintyökalun päällä. Painin painaa aihion täysin alatyökäluä vasten. Prosessi on esitetty kuvassa 3. Tarvittava voima on 3-5 kertaa niin kova kuin vapaataivutuksessa. Oikein toteutettuna pohjaaniskutaivutuksella saavutetaan vapaataivutusta tarkempia ja jäykempiä kulmia sekä minimoidaan takaisinjoustoä. Pohjaaniskutaivutuksessa jokainen kulma vaatii oman työkaluparinsa, joten se sopii paremmin suurille tuotantoerille. Koska pohjaaniskutaivutuksessa ohutlevyihio painetaan alatyökäluun kiinni, on mahdollista, että levyn pinnoitteet vaurioituvat. Vaurioiden vähentämiseksi ja välttämiseksi särmäyksen yhteydessä voidaan alatyökäluun päällä käyttää suojakangasta joka estää suoran kontaktin työkalun ja levyn välillä.

Ympyrän muotoisella painimella ja sitä vastaavalla alatyökalulla voidaan saavuttaa pyöreitä taivutuksia. Ohutlevyihioita työiskujen välissä siirtämällä ja kahta puoliympyrän muotoista koveraa erikoistyökalua käyttämällä voidaan saavuttaa täysin pyöreitä profileja. (Matilainen et al. 2010, s. 241; Mäki-Mantila 2001, s. 7)

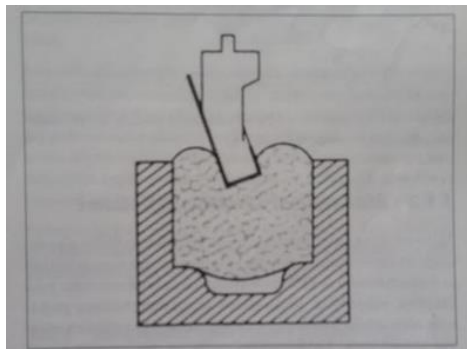


Kuva 3. Pohjaaniskutaivutus (SheetMetal.me 2015f).

3.4 Elastomeeri

Taivutus voidaan hoitaa myös käyttämällä elastomeeriä vastintyökalun tilalla. Saavutettava muoto riippuu painimen geometriasta. Prosessi on esitetty kuvassa 4. Elastomeerin käyttäminen mahdollistaa monimutkaisemmat muodot. Esimerkiksi vierekkäisten eri suuruisten kulmien taivuttaminen on mahdollista yhdellä työiskulla. Oikein valittu elastomeeri suojaa ohutlevyn pintaa verrattuna pohjaaniskutaivutukseen.

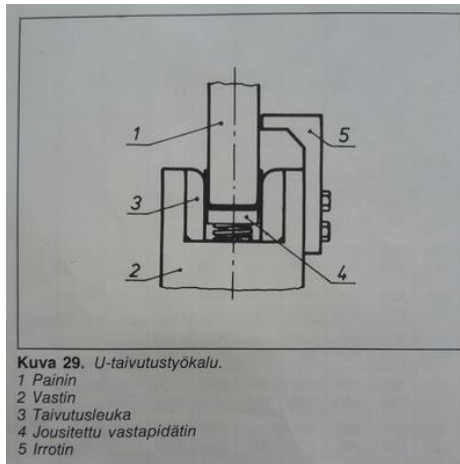
(Matilainen et al. 2010, s. 242; Mäki-Mantila 2001, s. 7)



Kuva 4. Elastomeeri (Mäki-Mantila 2001, s. 7).

3.5 U-taivutus

U-taivutuksessa ohutlevyaihio lepää vapaataivutuksen tapaan kahden vastimen päällä. Erona vapaataivutuksessa käytettäviin työkaluihin painimen pohja on tasainen ja käytössä on myös kolmas vastin. Kolmas vastin asetetaan muiden vastimien väliin. Sen korkeus suhteessa toisiin vastimiin yhdessä muiden vastimien välimatkan kanssa määrää saavutettavan kulman. Painin painaa ohutlevyaihion kiinni kolmanteen vastimeen jolloin aihio taipuu haluttuun kulmaan. Prosessi on esitetty kuvassa 5. Prosessilla saadaan yhdellä työiskulla kaksi vierekkäistä samansuuruisia kulmaa. Prosessissa käytetään tavanomaista särmäyspuristinta. (Karppinen 1986, s. 28)

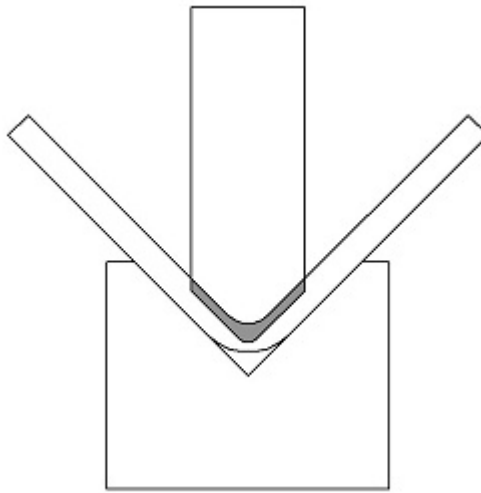


Kuva 5. U-taivutus . (Karppinen 1986, s. 28).

3.6 Loveaminen

Loveamisessa pohjaaniskusärmäyksen kaltaisesti painin painaa ohutlevyaihion alatyökaluun kiinni. Tässä prosessissa kuitenkin työstettävän kulman kohdalle aihion ja alatyökalun väliin jää avointa tilaa, jolloin painin voi painua yli taivutuksen neutraaliakselin. Prosessi on esitetty kuvassa 6. Prosessi ei sopivalla painimen valinnalla aseta rajoituksia taivutuksen sisäsäteelle. Säde määräytyy painimen geometrian mukaan. Loveaminen on erittäin tarkka taivutusprosessi, sillä taivutuksen lopullinen muoto eliminoi takaisinjoustopuhtauksen vaikutuksen. Prosessi on helposti toistettavissa, jolloin useiden osien väliset vaihtelut ovat hyvin pieniä. (Boval Engineering PTY Limited 2017; SheetMetal.me 2015a)

Loveaminen prosessina vaatii 5-8 kertaa kovempia voimia kuin pohjaaniskusärmäyksessä. Kasvaneet voimat asettavat kovempia vaatimuksia työkalujen kestolle ja vaativat suurempia voimia särmäyspuristimelta. Prosessi voi asettaa rajoituksia alatyökalun geometrialle. Kohonneet vaatimukset luovat lisäkustannuksia valmistuksessa. Loveamisessa käytettävää särmäyspuristinta voidaan voimia säättämällä käyttää myös vapaatavituksessa ja pohjaaniskusärmäyksessä. (Boval Engineering PTY Limited 2017; SheetMetal.me 2015a)



Kuva 6. Loveaminen (SheetMetal.me 2015a).

3.7 Reunataivutus

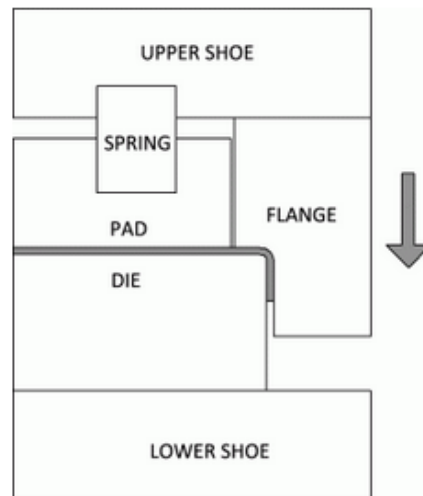
Reunataivutuksessa ohutlevyaihio on tuettu alatyökalun ja pidättimen väliin siten, että sen taivutettava kohta on alatyökalun reunalla, jolloin loppu levy roikkuu ilmassa. Painin liikkuu ohutlevyaihion normaaliakselin suuntaisesti alaspäin taivuttaen ohutlevyn haluttuun kulmaan. Prosessi on esitetty kuvassa 7. Aihio ei saisi päästä liikkumaan alatyökalun ja painimen välissä. Aihion liikkeessä kulman mittatarkkuus voi kärsiä. (SheetMetal.me 2015b; Hyunok 2014)

Taivutuksen kulma ja säde riippuvat alatyökalun ja painimen muodoista. Prosessissa voidaan käyttää taivutuksen muodon antavaa alatyökalua ja suorareunaista paininta tai toistensa muotoja vastaavaa alatyökalu painin paria. Jälkimmäinen vaihtoehto minimoi aihion liikkeen pidättimen ja alatyökalun välissä ja näin ollen tuottaa tarkempia kulmia. Prosessista ja työkalujen

geometriasta johtuen terävät alle 90 asteen kulmat eivät ole mahdollisia. Suurisäteisten kulmien taivuttaminen on reunataivutuksella helppoa. (SheetMetal.me 2015b; Hyunok, K. 2014)

Takaisinjouston minimointi reunataivutuksessa on hankalaa, sillä joustoa ei voida kompensoida halutun kulman yli taivuttamalla. Takaisinjousto voidaan pienentää, taivutuksen yhteydessä loveamalla. Loveamiseen on kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa puristetaan kulman yläreunaa, niin että se painuu hieman kasaan. Tämä vaihtoehto jättää näkyvän jäljen metalliin, joka voi haitata sovelluksissa joissa kappaleen ulkonäkö on tärkeässä osassa. Myös kappaleen kestävyys voi heiketä. Toisessa ja enemmän suositellussa vaihtoehdossa alatyökalun ja painimen geometriaa muokataan siten, että niiden väliin jää yläpuolelle noin 20 asteen kulma ja alapuolelle noin 5 asteen kulma. Metallin painuu kulman kohdalta hieman kasaan, ja tuottaa vähemmän ulkonäkövaurioita. Voiman jakautuessa tasaisemmin kulman ympärille, metallin kestävyys ei muutu. (SheetMetal.me 2015b)

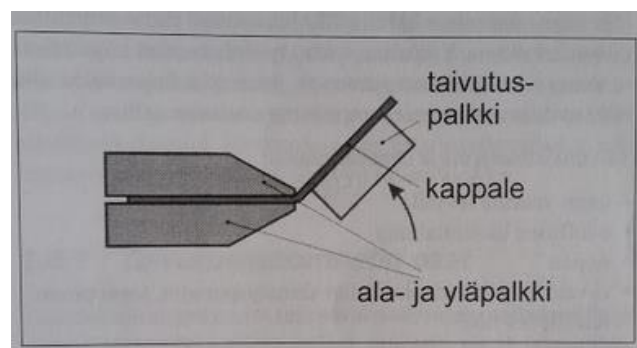
Reunataivutus on erittäin helppo prosessi käyttää. Työntekijän ei useimmissa koneissa tarvitse tehdä muuta kuin asettaa ohutlevyaihio haluttuun kohtaan, jolloin kone hoitaa loput. Useita kulmia taivutettaessa aihiota voi joutua siirtämään tai kääntämään. Prosessi voidaan kuitenkin suunnitella niin, että yleensä suuren aihion vaikea käsittely voidaan minimoida työkaluja vaihtamalla. Koneesta ja työkaluista riippuen sekä ylös- että alaspäin suuntautuvat taivutuksen ovat mahdollisia. Oikeilla työkaluilla kulmia voidaan taivuttaa kahdelle, kolmelle tai neljälle sivulle samanaikaisesti. Reunataivutus on kallis prosessi. Sen käyttö kannattaa, kun käytettävyyden ja tuottavuuden parantuminen koetaan ylimääräisen investoinnin arvoiseksi. (SheetMetal.me 2015b)



Kuva 7. Reunataivutus (SheetMetal.me 2015b).

3.8 Taivutuskone

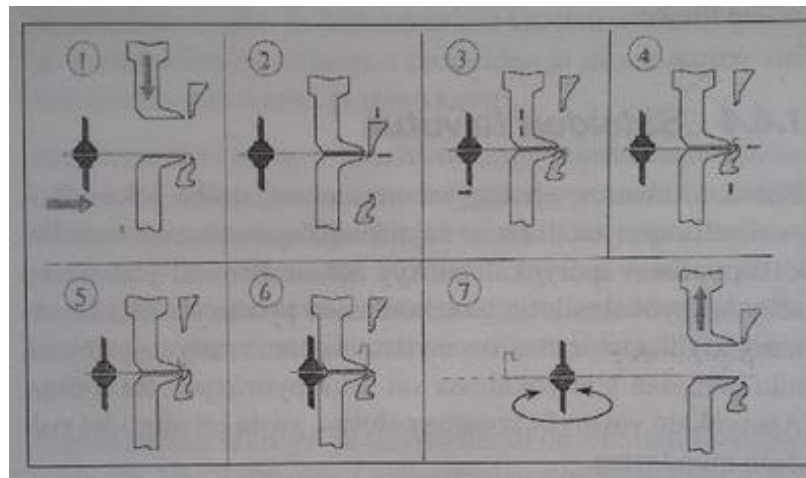
Taivutuskoneella tavutettaessa ohutlevyaihio on paikallaan kahden yhteen puristetun palkin välissä. Erillinen taivutuspalkki taittaa ohutlevyn haluttuun kulmaan. Prosessi on esitetty kuvassa 8. Levyn taivutussäde riippuu käytetyistä puristuspalkeista. Teräväkulmaista yläpalkkia käytettäessä taivutus on vapaataivutusta. Taivutuskoneita on taivutusvoimasta riippuen pienimmästä suurimpaan käsi-, sähkö- ja hydraulitoimisia. (Matilainen et al. 2010, s. 239) (Mäki-Mantila 2001, s. 15)



Kuva 8. Taivutuskone (Matilainen et al. 2010, s. 239).

3.9 Taivutusautomaatti

Taivutusautomaatilla taivutettaessa ohutlevyaihion liikuttaminen, sekä itse taivutus on hoidettu automaattisesti. Ohutlevyaihio liikutetaan kahden pitoleuan väliin, jonka jälkeen painin hoitaa levyn taivutuksen. Painimia on taivutuskoneissa kaksi. Toinen levyn alapuolella ja toinen yläpuolella, jolloin taivutukset molempiin suuntiin ovat mahdollisia. Ensimmäisen taivutuksen jälkeen levyä joko liikutetaan uudelleen ja siihen taivutetaan uusi kulma, tai se vedetään ulos taivutuskoneesta. Kappaletta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että valmis tuote mahtuu ulos koneesta, kun pidätinleuat on nostettu mahdollisimman ylös. Prosessi on esitetty kuvassa 9. Taivutusautomaatti soveltuu erinomaisesti monikulmaisten osien tuotantoon. (Mäki-Mantila 2001, s. 17)



Kuva 9. Taivutusautomaatin toimintaperiaate (Mäki-Mantila 2001).

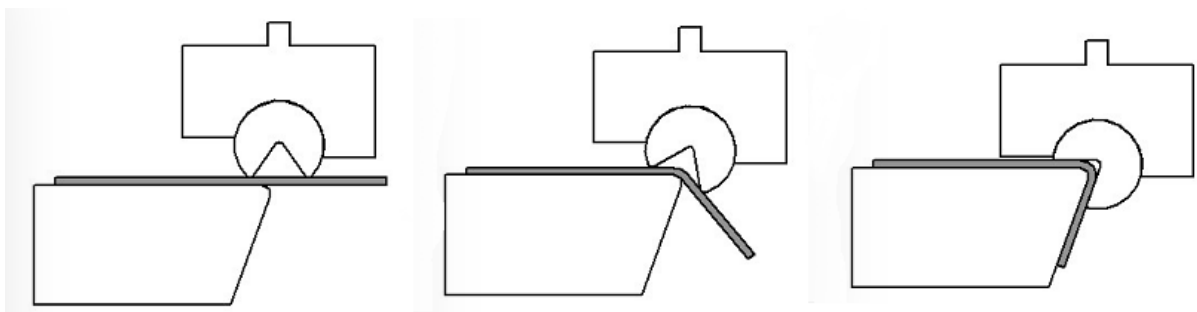
3.10 Rotary-taivutus

Rotary-taivutusprosessissa taivutus hoidetaan ympyränmuotoisen lovetun muotin avulla. Muotti on asetettu avoimeen sylinteriin siten että sen rotaatiota ei ole estetty. Ohutlevyaihio lepää alatyökalun päällä siten, että taivutettava kohta on alatyökalun reunalla. Muotti painaa ohutlevyaihiota alatyökalua vasten. Muottia painetaan alaspäin, jolloin se pyörähtää, painaen samalla ohutlevyaihion alatyökalun ympärille. Aihio ei pääse liikkumaan prosessin aikana, mikä auttaa valmiin taivutuksen tarkkuudessa. Taivutuksen kulma määräytyy alatyökalun ja muotin geometrian perusteella. Prosessi on esitetty kuvassa 10. Kaiken suuruiset kulmat ovat

mahdollisia tällä prosessilla. Ylitaivutuksella on helppo pienentää takaisinjouston vaikutusta. (Osborne 2011; SheetMetal.me 2015c)

Rotary-taivutuksessa voidaan käyttää myös tavanomaista särmäyspuristinta. Rotary-taivutus vaatii vähemmän voimaa kuin pohjaaniskutaivutus, mutta tuottaa taivutettuja osia samoilla ominaisuuksilla. Prosessissa käytetyt työkalut ovat yleensä kalliimpia kuin tavanomaiset särmäyspuristimissa käytettävät työkalut. (Osborne 2011; SheetMetal.me 2015c)

Prosessi on helppokäyttöinen ja käyttäjäystävällinen. Jokainen kulma vaatii oman työkaluparinsa, joten prosessi sopii parhaiten suurissa tuotantoerissä käytettäväksi. Rotary-taivutus on oikein käytettynä nopea, mutta kallis prosessi. Prosessin hintaa tulee verrata saavutettuihin hyötyihin tehokkuudessa ja käyttäjäystävällisyydessä. (Osborne 2011; SheetMetal.me 2015c)

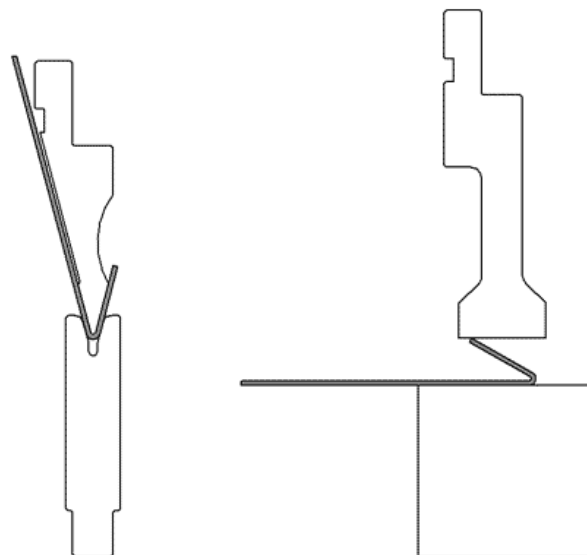


Kuva 10. Rotary Bending (SheetMetal.me 2015c).

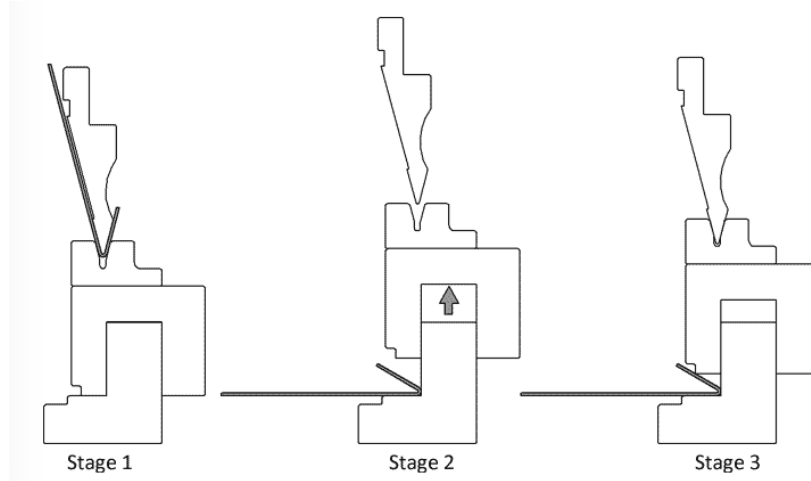
3.11 Litistäminen

Litistämisessä ohutlevy taivutetaan kaksin kerroin itsensä päälle. Prosessi on kaksivaiheinen. Ensimmäiseksi vapaataivutuksella taivutetaan noin kolmenkymmenen asteen kulma, joka sen jälkeen painetaan kasaan ohutlevyaihiota vasten. Yksinkertaisin ja halvin tapa litistää ohutlevy on käyttää särmäyspuristinta, johon voidaan asentaa tavallisten vapaataivutus ja pohjaaniskusärmäys työkaluparien lisäksi, litistämiseen tarkoitettu tasareunainen työkalupari. Ohutlevy taivutetaan kolmenkymmenen asteen kulmaan, jonka jälkeen litistys työkalut vaihdetaan särmäyspuristimeen ja kulma litistetään. Prosessi on esitetty kuvassa 11. Työkalujen

vaihtamiseen prosessin kuluessa kuluu aikaa, joten tämä tapa sopii paremmin pienille tuotantoerille. Työkalujen vaihtamiseen kuluvan ajan vaikutusta voidaan pienentää käyttämällä kahta erillistä särmäyspuristinta tai taivutamalla useiden osien kulmia ennen varsinaista litistämistä. Molemmat tavat vievät huomattavasti enemmän tilaa joko särmäyspuristimille tai aihioille varattuna tilana. Vapaataivutukseen tai pohjaaniskutaivutukseen ja litistämiseen tarkoitetut työkalut voidaan yhdistää. Esimerkiksi pistimen etupuolelle voidaan asentaa litistämiseen soveltuva painin, jolloin työkalujen vaihtamiselta vältytään. Toisessa mahdollisessa työkaluvariaatiossa litistystyökalu asennetaan pohjaaniskustaivutuksessa käytettävän vastimen alapuolelle. Litistystyökalu on asennettu jouseen, joka nostaa työkalua pistimen ollessa ylhäällä ylöspäin niin että ohutlevyaihioon taivutettu kulma mahtuu litistystyökalun väliin. Litistys hoidetaan siten, että pistin painuu alatyökalua vastaan, jolloin samalla litistin litistää ohutlevyaihion. Prosessi on esitetty kuvassa 12. Molemmissa yhdistelmätyökaluissa työiskujen pituus vaihtelee taivuttamisen ja litistämisen välillä. Särmäyspuristimesta riippuen työiskujen pituuksien säätö manuaalisesti voi olla aikaa vievää, joten tietokone ohjattujen puristimien käyttö on näissä tapauksissa suositeltavaa. litistettäessä ohutlevyaihio pyrkii liukumaan pois litistintyökaluparin välistä. Ohutlevyaihion liike pitää estää jota litistys onnistuisi. (SheetMetal.me 2015d)



Kuva 11. Litistäminen kahdella eri työkalulla (SheetMetal.me 2015d).



Kuva 12. Litistäminen (SheetMetal.me 2015d).

Litistämällä saavutetaan neljää erilaista taivutusta. Näitä ovat Pohjaaniskulitistys, avoin litistys, köysilitistys sekä pisaralitistys. Pohjaaniskulitistyksessä ohutlevyosio taivutetaan täysin itsensä päälle. Tämä muoto altistaa kulman pahiten murtumiselle. Avoimessa litistyksessä taivutuksen väliin jää ilmarako jota voidaan hyödyntää esimerkiksi useita ohutlevyosia yhdistettäessä. Pisaralitistyksessä taivutukseen jää nimensä mukaisesti pisaran muotoinen ilmarako. Köysilitistyksessä pisaralitistyksen suljettu pää litistetään, jolloin taivutuksen tiiveys paranee. Taivutuksia on esitetty kuvassa 13. (SheetMetal.me 2015d)



Kuva 13. Litistämällä saavutettuja taivutuksia (SheetMetal.me 2015d).

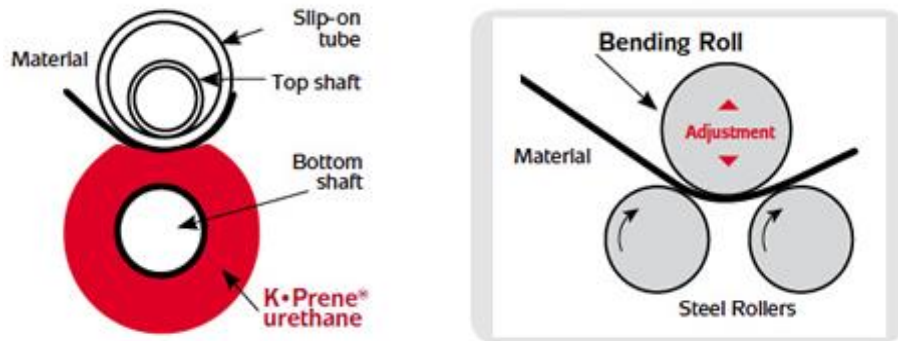
Litistämällä voidaan piilottaa ohutlevyyn leikkauksen ja vlassauksen jäljiltä jääneet terävät kulmat ja luoda turvallisempia lopputuotteita käyttäjille ilman tarvetta hiontaan tai vastaaviin pinnankäsittelyprosesseihin. (SheetMetal.me 2015d)

3.12 Mankelointi

Levyjen mankeloinnilla voidaan saavuttaa, koneesta riippuen kaiken säteisiä pyöristyksiä, mukaan lukien täysiä ympyröitä. Mankeloinnissa käytettävä laitteisto koostuu kahdesta tai useammasta rullasta, joiden välissä ohutlevyaihio liikkuu. Kaksitelaisessa versiossa on suurempi uretaanilla päällystetty rulla sekä pienempi kova ja joustamaton rulla. Pienempi rulla painetaan yläpuolelta uretaanin sisään, jolloin uretaani muotoutuu halutun säteen mukaisesti. Ylemmän rullan paikka määrittää saavutettavan säteen. Pienempiä säteitä varten ylempi rulla tulee painaa syvemmälle uretaaniin. Näin ollen pienemmät säteet vaativat suurempia voimia koneelta. Ohutlevyaihio vedetään uretaanin ja ylemmän rullan välistä, jolloin uretaani painaa ohutlevyä pienempää rullaa kohti samalla sitä taivuttaen. Prosessi on erittäin tarkka ja valmiin taivutuksen säde on aina sama riippumatta sen pituudesta. Mankeloinnissa kappaleen päistä jää aina osa taivuttamatta. Kappaleen päihin jäävät tasaiset taivuttamattomat osat voivat olla vain yksi neljäsosa ohutlevyaihion paksuudesta, jolloin niiden merkitys käyttökohteesta riippuen on todennäköisesti hyvin pieni. (Rime 2017; Acrotech Inc 2017)

Kolmi- ja useampi rullaisissa kokoonpanoissa ei uretaanilla päällystettyjä rullia ole. Saatava säde riippuu painavan rullan korkeudesta muiden rullien suhteen. Ohutlevyaihion reunoille jäävien suorien kohtien osuus on useampirullaisissa kokoonpanoissa noin 3 – 5 kertaa aineenpaksuus. Mikäli suorat kohdat ovat ongelmallisia lopullisen käyttötarkoituksen kannalta ne tulee taivuttaa muilla prosesseilla tai leikata kokonaan pois. Mikäli taivutus tapahtuu ilmassa voi haluttu säde jäädä liian pieneksi takaisinjouston takia. Näin ollen voi olla tarvittavaa ajaa levyä koneen läpi useampia kertoja ja mahdollisesti säätää prosessin parametreja kesken taivutuksen. Molemmat prosessivaihtoehdot on esitetty kuvassa 14. (Rime 2017; Acrotech Inc 2017)

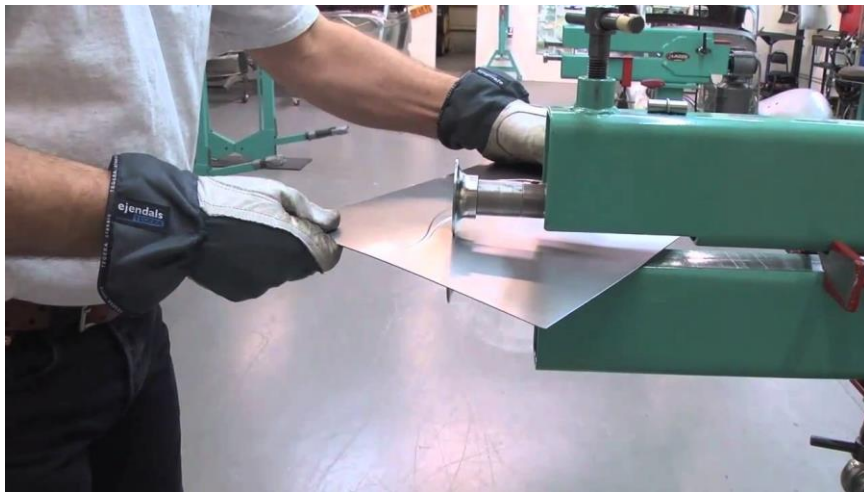
Pienin mahdollinen saavutettava säde riippuu käytettävästä materiaalista. Minimi säde saadaan, kun ohutlevyaihion paksuus kerrotaan materiaalin perusteella valittavalla kertoimella. Teräksellä tämä kerroin on 1 – 3 ja alumiinilla 0,8 -1. Pienemmät säteet altistavat ohutlevyn murtumiselle. (Rime 2017)



Kuva 14. Mankelointi (Acrotech Inc 2017).

3.13 Vaotus & Flange Roller

Vaotus on prosessi, jossa ohutlevyyn taivutetaan uria. Ohutlevyaihiota vedetään kahden vaotusrullan välistä, jolloin aihioon muotoutuu ura. Urat antavat lisää jäykkyyttä ohutlevytuotteille. Prosessi on esitetty kuvassa 15. (Mäki-Mantila 2001, s 53)



Kuva 15. Vaotus (Lazzemetalshaping 2011b).

Flange roller on käsikäyttöinen kone, jolla ohutlevyaihioon voidaan taivuttaa kulmia vetämällä sitä kahden rullamuotin välistä. Oikeilla työkaluilla suorien kulmien lisäksi myös kutistus- ja venytyskulmat ovat mahdollisia. (Lazzemetalshaping 2011a) Kuvassa 16 on esitetty Eastwoodin valmistama Falnge Roller laitteisto.



Kuva 16. Eastwood Economy Bead Roller laite (The Eastwood Company 2017).

3.14 Kutistin ja venytin

Kutistinta ja venytintä käytettäessä ohutlevyä joko puristetaan tai venytetään aksiaalisessa suunnassa. Ohutlevy asetetaan kahden identtisen työkalun väliin. Kutistamisessa käytetyt työkalut on esitetty kuvassa 17. Työkalujen leuat liikkuvat muovaten metallia. Kutistuskulmia saadaan, kun leuat liikkuvat kohti toisiaan ja puristavat metallia. Venytyskulmia saadaan, kun leuat venyttävät metallia välillään. Venytys- ja kutistuskulmat vaativat molemmat omat työkalunsa. Kutistamalla saatuja taivutuksia on esitetty kuvassa 19. (Barr 2013, s. 109)



Kuva 17. Kutistustyökalu (Heliotech 2012).

Prosessilla saadaan kaarevia taivutuksia millä tahansa halutulla säteellä. Pienimpiä säteitä taivutettaessa on kuitenkin vaarana kappaleen murtuminen. Saavutettava säde riippuu leukojen paikasta ohutlevyihion pinnalla. Prosessissa käytettävät laitteet ovat manuaalitoimisia. Leukojen liikuttaminen hoidetaan polkimen avulla. Poljinta käytettäessä käyttäjän tulisi tuntea taivutukseen tarvittava voima. Liian suuri voima aiheuttaa pintavaurioita kappaleeseen. Itse taivutuksen tulisi tapahtua mahdollisimman vähällä ulkopuolisella voimalla, mutta taivutusta voidaan ohjata käsin haluttuun suuntaan. Leukojen asettuminen oikeaan kohtaan on prosessin onnistumisen kannalta kriittistä. Mikäli leuat ovat asettuneet väärin kappaleelle taivutukseen joudutaan käyttämään liikaa voimaa. Liian suuri voimankäyttö voi aiheuttaa kappaleen taipumista väärässä koordinaatistossa. Kaikkien päällystettyjen levyjen esimerkiksi muovipinnoitteisten levyjen käyttöön prosessi ei sovellu sillä leuat rikkovat pinnoitteen. Prosessin toteuttaminen käytännössä on esitetty kuvassa 18. (Lazzemetalshaping 2010; Barr 2013, s. 109)



Kuva 18. Ohutlevylisten kutistaminen (Lazzemetalshaping 2010).

4 ESIMERKKEJÄ MAHDOLLISISTA TAIVUTUSOVELLUKSISTA

Ohutlevyillä voidaan särmäämällä saavuttaa useita erimuotoisia konstruktioita. Tässä kappaleessa on käsitelty niistä joitakin.

4.1 Monikulmainen osa

Monikulmaisia ohutlevyosia suunniteltaessa ja valmistettaessa on tärkeää ottaa huomioon taivutuksien järjestys ja mahdolliset laitteiston asettamat rajoitukset. Särmäyspuristimen käyttö monikulmaisia osia valmistettaessa on usein hankalaa. Särmäyspuristimella taivutettaessa levyn molemmat päät taivutuksen ympäriltä nousevat ylöspäin. Mikäli sivuilla on ylöspäin nousevia särmiä, on mahdollista, että ne osuvat särmäyspuristimeen taivutuksen yhteydessä. Esimerkiksi laatikkomaisten osien valmistaminen särmäyspuristimella on hankalaa. Laatikkomaisten osien taivutus onnistuu hyvin reunataivutuksella. Parhaimmillaan neljäsisivuisella reunataivutuskoneella laatikon taivuttaminen onnistuu yhdellä työkierrolla. Parhaiten monikulmaisten osien taivutukseen soveltuu taivutusautomaatti. Taivutusautomaatti asettaa hyvin vähän rajoituksia lopulliselle tuotteelle. Rajoitteet riippuvat suurimmaksi osin pidätinleukojen muodosta. Pidätinleuat ovat usein L muotoisia jolloin esimerkiksi vierekkäisten saman suuntaisten kulmien taivuttamiselle jää hyvin tilaa.

4.2 Avaruudellinen taivutus

Avaruudellisia taivutuksia ovat rakenteet joissa on yhdistetty kaarevia ja suoria taivutuksia. Tämän tyyppiset osat vaativat usein useita työvaiheita ja prosesseja. Yksinkertaisimmillaan avaruudellista taivutusta voi olla esimerkiksi kulmarauta joka on taivutettu kaarevasti pitkin pituuttaan tiettyyn säteeseen. Esimerkki avaruudellisesta taivutuksesta on esitetty kuvassa 19. Yleensä avaruudellisesti taivutettuja osia saadaan, kun suorasti särmättyä osaa lähdetään kaartamaan. Kaartaminen voidaan toteuttaa mankeloimalla, kutistina ja venytintä käyttämällä tai flange rollerilla.

Mankelointi on nopea prosessi ja se soveltuu hyvin suurille tuotantoerille. Prosessi ei vaikuta negatiivisesti valmiin osan pinnanlaatuun. Kuvan 19 kaltainen osa saadaan, kun

suorakulmaiseksi särmätyn ohutlevyosan suoraa sivua ajetaan rullien läpi kappaleessa 3.12 esitetyn prosessin mukaisesti. Mankeloinnissa jo taivutetulle sivulle tulee olla tilaa, joten kaikki mankelointiin tarkoitetut koneet eivät sovellu kyseenlaisten osien taivuttamiseen. Tässä tapauksessa yleensä taivutettava osa viedään rullien väliin koneen sivulta.

Kutistinta ja venytintä käytettäessä toimitaan kappaleessa 3.14 esitetyn toimintatavan mukaisesti. Prosessi sopii vain suurien säteiden taivuttamiseen. Pieniä säteitä taivutettaessa on vaarana osan halkeaminen (Lazzemetalshaping 2012). Prosessi vaikuttaa negatiivisesti kappaleen pinnanlaatuun. Kutistimen käyttöä kuvan 19 kaltaisten osien luontiin on esitetty kuvassa 18. Kappaleessa 3.12 esitetyllä flange ja bead rollerilla osaa taivutettaessa voidaan saavuttaa pienempiä säteitä kuin kutistamalla. Kuvassa 19 on esitetty kutistamalla taivutettuja osia.



Kuva 19. Kutistamalla taivutettuja ohutlevyosia (Heliotech 2012).

4.3 Kartio

Kartion muotoisten osien taivuttaminen onnistuu NC-ohjatulla mankelointikoneella. Mankeloinnin periaate on esitetty tarkemmin kappaleessa 3.12. Esimerkki kartion muotoisesta ohutlevyosasta on esitetty kuvassa 20. Taivutus hoidetaan joko neli- tai kolmivalssisilla mankelointikoneilla. Yleisimmin käytetty kaksivalssinen kokoonpano ei kartion taivutukseen sovi. Kartioon taivutus perustuu siihen, että ylävalssi on eri kulmassa sivuvalssiin nähden. Kartion valmistuksessa käytettävä ohutlevyaihio on päästään eri kokoinen, mistä johtuen myös pyöristettäessä aihion eri päitä tulee liikuttaa eri nopeudella. Lyhyemmän reunan tulee kulkea

hitaammin, jolloin sitä yleensä hidastetaan. Hidastukseen vaaditaan tietokoneohjattua NC-konetta. (Karppinen 1986, s 41)



Kuva 20. Ohutlevykartion valmistusta (Dynamic Fabrication Inc 2017).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Taivutusprosesseja löytyi tähän työhön käsiteltäväksi 14. Yleisemmin käytetyt prosessit ovat vapaa- ja pohjaaniskutaivutus. Näistä prosesseista oli eniten tietoa saatavilla. Suuri osa muista työssä käsitellyistä prosesseista olivat variaatiota edellä mainituista, ja niiden peruseriaatteita voidaan soveltaa muita prosesseja tutkittaessa. Prosesseista kutistin ja venyitin, sekä flange roller löytyi huomattavasti vähemmän tietoa ja niiden laajempi käyttö teollisuudessa ja hieman epäselväksi. Peruseriaatteet on kuitenkin esitetty tässä työssä onnistuneesti.

Työn tarkoituksena oli tehdä selvitys ohutlevyjen yhteydessä käytettävistä taivutusprosesseista. Tätä selvitystä tulisi voida käyttää opetustarkoituksessa esimerkiksi luentokalvojen pohjana. Toinen työn tavoitteista oli koota laajempi selvitys taivutusprosesseista yhteen teokseen, mitä on esimerkiksi tällä hetkellä suomenkielisessä kirjallisuudessa saatavilla. Tavoitteissa onnistuttiin ja työssä käsitellään useampia prosesseja kuin esimerkiksi tässä työssä lähteenä käytetyssä Ohutlevytuotteiden Suunnittelijan Käsikirjassa. Työn rakenne soveltuu suoraan esimerkiksi luennon suunnittelun pohjaksi.

Osassa 4 käsitellyt esimerkit eivät välttämättä ole kappaletta 4.1 lukuun ottamatta yleisimpiä ja oleellisimpia ohutlevytuotteiden konstruktioita, mutta niitä on käsitelty kirjallisuudessa melko vähän, minkä takia ne on otettu käsittelyyn. Esimerkkien käsittely onnistui hyvin ja esimerkit auttavat aiemmin käsiteltyjen prosessien ymmärtämisessä.

6 YHTEENVETO

Työn lähtökohtana oli tarve luoda opetuskäyttöön tuleva käsikirja ohutlevyjen yhteydessä käytettävistä tuotantoprosesseista. Työ rajattiin koskemaan ohutlevyjen särmäystä.

Ensimmäiseksi annettiin taustatietoja ohutlevyistä ja niiden ominaisuuksista ja käyttökohteista, sekä siitä mitä ohutlevyjen särmäyksellä tarkoitettiin. Seuraavaksi esiteltiin joukko oleellisempia ohutlevyjen särmäyksessä käytetyistä prosesseista. Lopuksi annettiin esimerkkejä, miten työssä käsiteltyjä särmäysprosesseja voidaan käyttää käytännössä.

7 LÄHTEET

Acrotech, Inc. 2017. Art of bending. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <https://www.acrotechinc.com/art-of-bending/>

AutoForm Engineering GmbH 2017. Hemming. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <http://www.autoform.com/en/glossary/hemming/>

Barr, E. 2013. Professional Sheet Metal Fabrication. Motorbooks 04/2013. 304 s.

Boval Engineering PTY Limited. 2017. CNC Metal Bending. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.05.2017]. Saatavissa: <http://www.bovalengineering.com.au/sheetmetal-services/metal-bending/>

Dynamic Fabrication Inc. 2017. Metal Plate Rolling. [verkkodokumentti]. [viitattu 11.07.2017]. Saatavissa: <http://www.dynamicfab.com/metal-plate-rolling/>

The Eastwood Company. 2017. Economy Bead Roller Kit. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.06.2017]. Saatavissa: <http://www.eastwood.com/bead-roller-kit-with-mandrels.html>

Heliotech.pl. 2012. classic machines and tools for sheet metal forming. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.06.2017]. Saatavissa: http://www.heliotech.pl/products_uk.html

Haco.com. 2017. Euromaster S. [verkkodokumentti]. [viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: http://www.heliotech.pl/products_uk.html

Hyunok, K. & Taylan, A. 2014. Bending, Flanging and Hemming. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.05.2017]. Saatavissa: <https://ewi.org/eto/wp-content/uploads/2014/10/TOPIC-8-Bending-Flanging-and-Hemming.pdf>

Karppinen, A. 1986. Ohutlevyjen taivutus. Metalliteollisuuden kustannus OY 23/1986. 47 s.

Lazzemetalshaping. 2010. Lazze Metal Shaping: How To Get The Most Out Of Your Shrinker And Stretcher. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.05.2017]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=GvaFtmAzxNk>

Lazzemetalshaping. 2011a. Metal Shaping With Lazze: Rolling a Bead With a Wire Edge. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=eOcZwr-1Y1E>

Lazzemetalshaping. 2011b. Metal Shaping With Lazze: Bead Roller Die Ideas And Uses. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=q7FjsekUKRM>

Lazzemetalshaping. 2012. Metal Shaping With Lazze: Stretching Aluminium In a Bead Roller. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.07.2017]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=77AQH0ZvoQg>

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. 6/2010. Tampere: Tammerprint Oy. Teknologiateollisuus ry. 387 s.

Mäki-Mantila, J. 2001. Ohutlevyjen taivutus ja muovaus. MET-julkaisu 11/2001. 64 s.

Osborne, R. 2011. Processing AHSS with rotary bending technology. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <http://www.thefabricator.com/article/bending/processing-ahss-with-rotary-bending-technology>

Rime. 2017. Roll Bending – inducing a curve into metal sheets. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <https://www.rime.de/en/sheet-metalworking/roll-bending/>

SheetMetal.me. 2015a. Coining Sheet Metal. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.05.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/coining/>

SheetMetal.me. 2015b. Wiping Die. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.05.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/wiping-die/>

SheetMetal.me. 2015c. Rotary Die. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/rotary-die/>

SheetMetal.me. 2015d. Sheet Metal Hems. [verkkodokumentti]. [viitattu 22.05.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/sheet-metal-hems/>

SheetMetal.me. 2015e. Air Bending. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.06.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/air-bending>

SheetMetal.me. 2015f. Bottom Bending. [verkkodokumentti]. [viitattu 29.06.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/bottom-bending/>

SheetMetal.me. 2015g. Brake Press. [verkkodokumentti]. [viitattu 04.10.2017]. Saatavissa: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/brake-press/>