

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

GEOMETRIAVAIHTOEHDOT JA TOLERANSSIVAATIMUKSET
ALUMIINISEOKSESTA PURSOTETULLE PIKALIITOSPROFIILILLE

GEOMETRY OPTIONS AND TOLERANCE REQUIREMENTS FOR EXTRUDED
FAST COUPLING JOINT MADE OF ALUMINUM ALLOY

Lappeenrannassa 3.12.2019

Joona Kurvi

Tarkastaja Professori Harri Eskelinen

Ohjaaja Professori Harri Eskelinen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Joona Kurvi

Geometriavaihtoehdot ja toleranssivaatimukset alumiiniseoksesta pursotetulle pikaliitosprofiilille

Kandidaatintyö

2019

38 sivua, 17 kuvaa, 3 taulukko ja 1 liite

Tarkastaja: Professori Harri Eskelinen

Ohjaaja: Professori Harri Eskelinen

Hakusanat: Geometriavaihtoehdot, toleranssivaatimukset, pursotus, alumiiniseokset, pikaliitos

Tässä opinnäytetyössä esitellään alumiiniseosten käyttöä pursotuksessa. Koneenosia ja rakenteita suunniteltaessa nykypäivänä tarvitaan entistä enemmän vertaistietoa, josta on kätevä soveltaa tietoa omiin käyttötarkoituksiin. Työn tavoitteena on siis luoda vertailutietoa ja hyödynnettävää materiaalia profiilien suunnitteluun. Hyödynnettävyys ja uutuusarvo taataan käyttämällä tuoreita konferenssijulkaisuja ja standardeja tiedonkeruuseen.

Työssä suoritetaan kirjallisuuskatsaus, jossa esitellään metalleille tyypillisiä pursotustekniikoita. Pursotustekniikoiden esittelyssä kerrotaan yksityiskohtaisesti pursotuksessa käytettäviä työkaluja ja aihion matka pursotussysteemin läpi.

Standardien ja konferenssijulkaisujen avulla paneudutaan pursotettaviin alumiiniseoksiin ja esitellään seosaineen vaikutukset pursotettavuuteen ja halutun tuotteen ominaisuuksiin. Pursotettavasta alumiiniseoksesta, profiilista ja käyttötarkoituksesta riippuen tarjolla on useita eri jälkikäsittelytapoja, joista yleisimmät esitellään työssä.

Työn tuloksena saadaan esimerkkimalli toleroidusta kappaleesta. Toleranssit saadaan standardeista alumiinin pursotukseen liittyen ja sovelletaan valitulle geometrialle.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Joona Kurvi

Geometry options and tolerance requirements for extruded fast coupling joint made of aluminum alloy

Bachelor's thesis

2019

38 pages, 17 figures, 3 tables and 1 appendice

Examiner: Professor Harri Eskelinen

Supervisor: Professor Harri Eskelinen

Keywords: Geometry options, tolerance requirements, extrusion, aluminum alloys, fast coupling

Aim of this thesis is to introduce the possibilities of using aluminum in extrusion purposes. When designing machine parts and different kind of structures you need more and more of data to compare on which you can compare your studies on. The objective of this work is to produce data to compare on and material to use for extrusion profile design. To guarantee the benefits and up-to-date information, fresh conference papers and standards are used for the work.

Literature review is done to present the usual extrusion technics used in metal extrusion. Used tools and aluminum billet's way through the extrusion system to finish product are explained in detail.

Extrudable aluminum alloys and the effect of the used alloy material on extrudability and material properties are focused by using standards and conference papers. Depending on extruded aluminum alloy, extrusion profile and the use there are multiple ways to pretreat the extruded product. The most usual ways for pretreatment are described in this study.

The goal of the work is to produce an example of tolerated piece. Tolerances are found using standards based on extrusion of the aluminum and they are applied to chosen geometry.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	PURSOTUS VALMISTUSMENETELMÄNÄ	7
	2.1 Suora pursotus.....	11
	2.2 Epäsuora pursotus	12
	2.3 Hydrostaattinen pursotus	14
	2.4 Kuuma- ja kylmäpursotus	17
3	PURSOTETTAVAT ALUMIINISEOKSET	21
	3.1 Seosaineen vaikutus ja pursotettavuus.....	21
	3.2 Pursotettujen kappaleiden jälkikäsittely	22
4	PIKALIITOKSIIN LIITOSGEOMETRIAT	25
5	PURSOTETUN GEOMETRIAN TOLERANSSIVAATIMUKSET	28
	5.1 Standardigeometrioiden mitta- ja geometriset toleranssit	28
	5.2 Valmistusmenetelmään liittyvät toleranssit	30
	5.3 Tutkittaviin liitosgeometrioihin sisältyvien toleranssien yhteisvaikutus.....	31
6	SAADUT TULOKSET	32
7	POHDINTA	35
	7.1 Tutkimuksen luotettavuus.....	35
	7.2 Avaintulokset.....	35
	7.3 Tulosten yleistettävyys ja hyödynnettävyys	35
	7.4 Jatkotutkimusaiheet	35
8	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	

LIITE I: Kiertymätoleranssi ja suorakulmaisuustoleranssi

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Nykyaikainen koneensuunnittelu tarvitsee vertailutietoa, jossa on käytettävissä samaan aikaan vertailutietoa rakenneosan tai koneenosan geometriasta, materiaaliominaisuuksista ja valmistusmenetelmistä. Koneenosia ja rakenteita suunniteltaessa entistä enemmän korostuu liitosten toteuttamisen nopeus ja toisaalta liitosten tarkkuus. Eräs keino hyödyntää mahdollisimman monipuolisesti alumiiniseosten eriomaisia materiaaliominaisuuksia on käyttää pursotettuja profiileita. Tämän vuoksi standardisoituja alumiiniprofiileja on tarjolla suunnittelijalle satoja erilaisia.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset

Tutkimuksen tavoite on vertailla mahdollisten alumiiniseosten, niille sopivien pursotustekniikoiden ja erilaisten pikaliitosten geometrioiden yhdistelmiä ja tuottaa tulostaulukoesimerkki saavutettavasta liitosgeometriasta toleransseineen.

Tutkimustulos esitetään yhdelle pikaliitosprofiilille, jonka avulla annetuilla standarditaulukoilla voidaan tutkimusta soveltaa muillekin pikaliitosvaihtoehdoille.

1.3 Tutkimusongelma- ja kysymykset

Mahdollisia liitosgeometrioiden, alumiiniseosten ja pursotustekniikoiden kombinaatioita on tarjolla satoja erilaisia, joista suunnittelijan tulisi kyetä nopeasti valitsemaan riittävän tarkkuuden varmistava liitosvaihtoehto. Lisäksi pursotettavia geometrioita voidaan suunnitella ja toteuttaa tapauskohtaisesti, jolloin vertailu on vieläkin haastavampaa.

Millainen liitostarkkuus saavutetaan vertailtavilla alumiiniseosten, pursotustekniikoiden ja liitosgeometrioiden avulla?

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tiedonhaku toteutetaan hyödyntämällä sekä standardeja että kaupallisia aineistoja. Pursotustekniikoiden vertailussa hyödynnetään myös tieteellisiä konferenssijulkaisuja.

Liitoksen tarkkuuteen vaikuttavia mittatoleransseja ja geometrisia toleransseja syntyy monista eri tekijöistä, joiden yhteisvaikutus on selvitettävä profiilia suunniteltaessa.

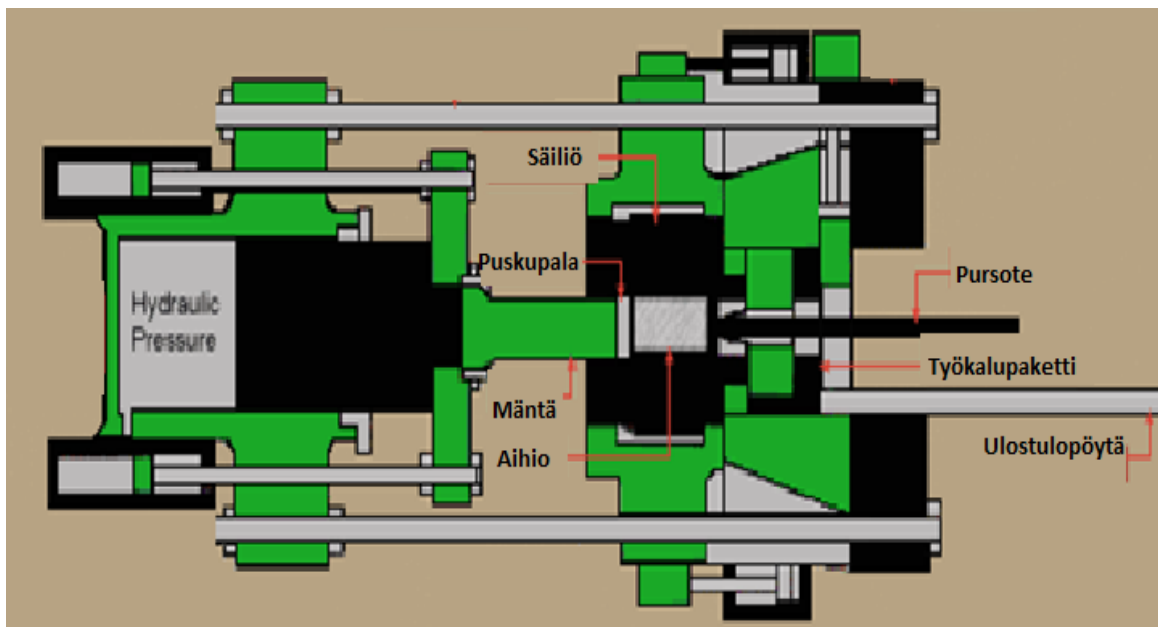
2 PURSOTUS VALMISTUSMENETELMÄNÄ

Pursotus on nopeasti yleistynyt valmistustapa viime vuosikymmenten aikana. Tämä monesti hammastahnatuubin puristamiseen vertailtavissa oleva prosessi on toteutettavissa monilla metalleilla, mutta alumiinin hyvällä tavalla poikkeavat ominaisuudet, kuten rakenteellinen lujuus ja helppo muokattavuus tekevät siitä suosituksen valinnan moniin käyttötarkoituksiin. Alumiinipursotukset kattavat 50 % metallista pursotettujen tuotteiden koko markkinaosuudesta. Alumiinilla on pitkä lista ominaispiirteitä, minkä takia sen käyttö teollisuudessa on hyödyllistä pursotetuissa tuotteissa. (Spectra Aluminum Products, 2019)

Alumiini on muovautuvaa materiaalia ja sen ominaisuudet sallivat useita eri mahdollisuuksia muotoilulle ja kustannustehokkaalle tuotannolle samalla lainkaan lopputuotteen lujuudesta ja kestävydestä tinkimättä. Puhdasta alumiinia käytetään jossain määrin pursotustuotteissa, mutta useimmiten sitä nähdään sekoitettuna muihin metalleihin seoksena, jotta saadaan juuri halutut rakenneominaisuudet. Koska alumiiniseoksia on monipuolisia, on se pohja alumiinilla pursotettujen tuotteiden suosiolle. (Spectra Aluminum Products, 2019)

Alumiinin työstettävyyden ja suuren lujuuden lisäksi on siitä myös muita hyötyjä monissa teollisuudenaloissa. Suuri sähkön- ja lämmönjohtavuus avaa ovia moniin alumiinin pursotustuotteille. Tehokas lämmönjohtavuus tekee alumiinista suosituksen esimerkiksi lauhdeputkissa, jäähdyttimissä ja ilmastointilaitteissa autoteollisuudessa. Se edistää myös alumiinipursotteiden käyttöä lämmitys- ja jäähdytyslaitteissa, keskusyksiköissä, elektroniikassa ja audio- ja videosysteemeissä. Alumiinin pienen paino-lujuus-suhteen vuoksi alumiinipursotteiden käyttö on ideaalia lentokoneiden, autojen, veneiden ja rekkojen valmistuksessa. Niissä pursotteita hyödynnetään paneeleissa, sylinterinpäissä, sylinterilohkoissa, vaihteistossa ja rungossa. Tämän ominaisuuden vuoksi alumiini on optimaalinen ratkaisu myös avaruusteollisuudessa. Alumiini on korroosionkestävää, joten sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaivosteollisuudessa ja armeijan varustuksissa. (Spectra Aluminum Products, 2019)

Pursotus on metallinmuovausprosessi, jossa aihio, eli alumiinitukki, josta tuote työstetään, pakotetaan muotin läpi muodostaen poikkileikkausprofiililtaan muuttumatonta tuotetta. Alumiinin pursotusprosessi alkaa aihion lämmityksellä kohdelämpötilaan noin 420-500 celsiusasteeseen. Aihion saavuttaessa halutun lämpötilan se voidellaan, jotta vältetään materiaalin tarttumiselta survovaan työkaluun, mäntäin. Mäntä on teräksinen sauva, joka on kiinnitetty pääsylinteriin ja männän päähän teräksinen puskupala, jonka tehtävänä on puskea alumiiniaihiota työkalupaketin läpi. Puskupala kulkeutuu tiiviisti työpesään ja pitää alumiiniaihion siellä estäen samalla sen takaisinpursotuksen. Mäntä antaa painetta aihiolle, kunnes se poistuu pesästä. Pursotuslinja on kuvattu kuvassa 1 alla. (Bonnel Aluminum, 2019)



Kuva 1. Alumiinin pursotuslinja (Mukaillen Bonell Aluminum, 2019)

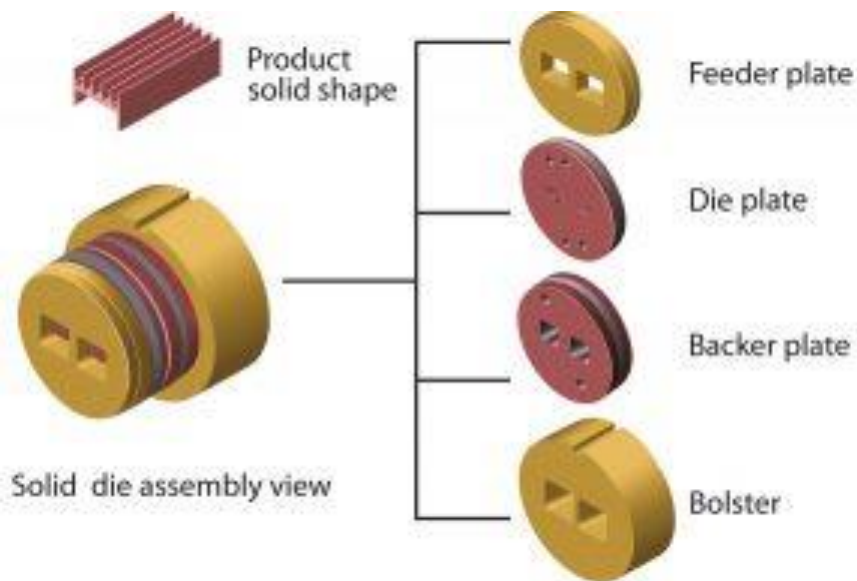
Työkalupaketin ympärillä virtaa nestemäistä typpeä sen jäähdyttämiseksi kasvattaen työkalun käyttöikä. Nestemäinen typpi aiheuttaa myös inertin ympäristön, joka estää hapettumista pursotetussa tuotteessa. Joskus myös typpikaasua käytetään nestemäisen typen tilalla, mutta se ei jäähdytä työkalupakettia, vaan sen tarkoituksena on lähinnä vaan luoda inertti ympäristö. (Bonnel Aluminum, 2019)

Kun aihiolle annetaan painetta, pehmeä mutta kiinteä metalli alkaa puristua. Kun pursotus poistuu muotin läpi, siitä mitataan poistumislämpötila. Poistumislämpötila mitataan, jotta voidaan ylläpitää suurinta mahdollista pursotusnopeutta. Tavoite poistumislämpötila alumiinien pursotuksessa riippuu käytetystä alumiiniseoksesta. Esimerkiksi 6063, 6463, 6063A ja 6101 seoksille minimi tavoitelämpötila on noin 500 celsiusastetta ja seoksille 6005A ja 6061 vähintään 510 celsiusastetta. Pursotettu profiili poistuu työkalusta ulostulopöydälle, jonka tehtävänä on tukea ja ohjata tuotetta vetosysteemin avulla pursotuksen aikana. Vetosysteemin vetäessä tuotetta ulostulopöydällä sitä jäähdyttää tuulettimet koko pöydän pituudella. Myös vesijäähdytys on mahdollinen. (Bonnell Aluminum, 2019)

Pursotetusta profiilista koko mitta ei ole kuitenkaan hyödynnettävissä. Perään jäävä osa sisältää oksideja aihion pinnasta. Jämäpala leikataan pois ja hävitetään ja samalla syötetään uusi aihio, joka hitsataan kiinni edelliseen aihioin, jolloin pursotusprosessi on jatkuva. Kun pursote saavuttaa halutun pituuden, pursote katkaistaan. (Bonnell Aluminum, 2019)

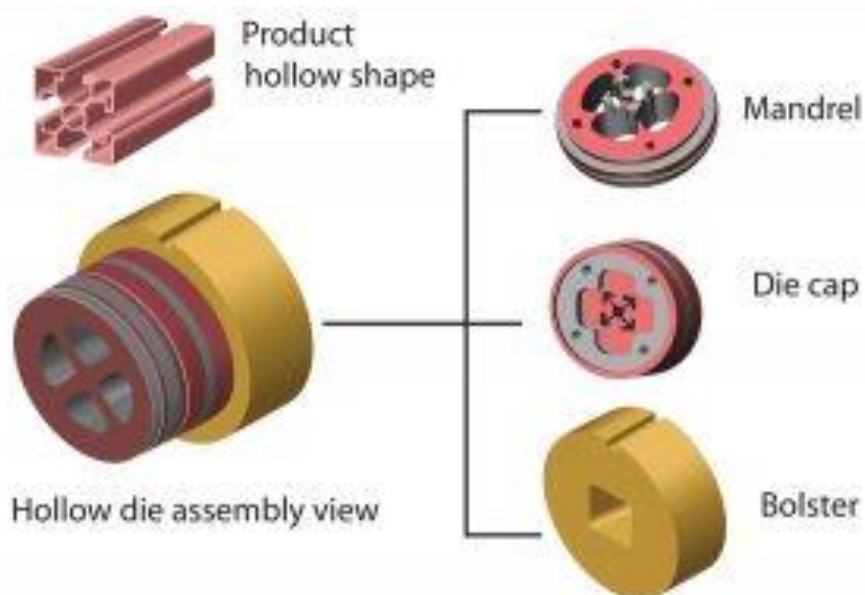
Metalli johdetaan jäähdytyspöydälle. Kun alumiini on jäähtynyt tarpeeksi, se siirretään vetokoneelle, joka suoristaa pursotteen ja poistaa mahdolliset alumiiniin muodostuneet jännitykset parantaen alumiinin kovuutta ja lujuutta. Suoristettu pursote johdetaan sahauspöydälle, jossa se sahataan tietyn mittaisiksi paloiksi. Kun osat on leikattu, ne lastataan kuljetettavaksi vanhennusalueelle. Keinovanhennus tai lämpökäsittely kovettaa metallin nopeuttamalla sen ikääntymisprosessia kontrolloidussa ympäristön lämpötilassa määritetyn ajan. (Bonnell Aluminum, 2019)

Työkalupaketin sisältö riippuu halutusta poikkileikkausprofiilista. Se koostuu useista erilaisista suulakkeista, jotka ovat periaatteessa paksuja, pyöreitä teräslevyjä, joissa on yksi tai useita reikiä tuottamaan haluttua profiilia. Suulakkeet tehdään yleisimmin H-13 työkaluteräksestä ja lämpökäsitellään kestäväksi pursotettavan alumiinin painetta ja lämpöä. Alumiinilla pursotettavia muotoja on lukemattomia, mutta käytettävät muotit voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: kiinteisiin, puolionttoihin ja onttoihin muotteihin (solid, semi-hollow ja hollow die). (Vitex Extrusion, 2019)



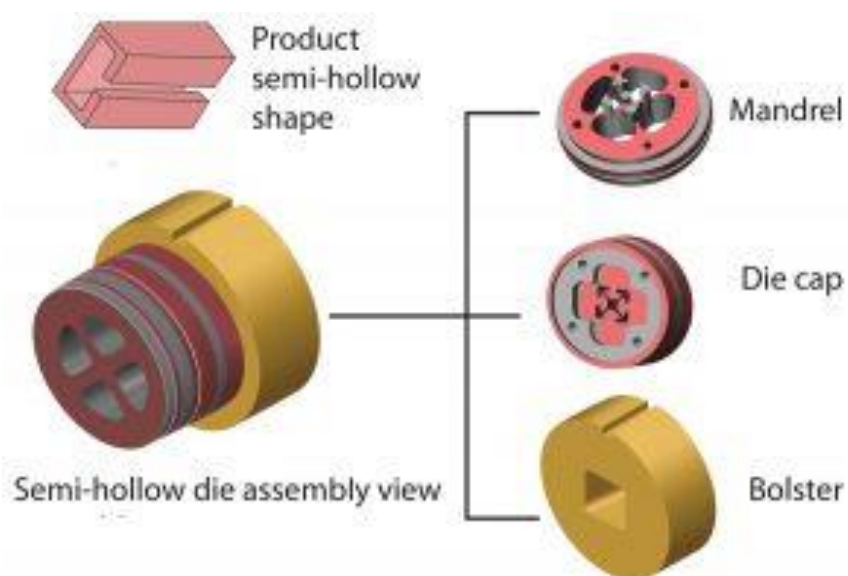
Kuva 2. Kiinteän muotin työkalupaketti (Vitex Extrusion, 2019)

Kiinteällä muotilla tuotetussa profiilissa ei ole suljettuja muotoja, kuten putkia, tukitankoja tai kulmia. Sen vuoksi kiinteä muotti on myös edullisempi valmistaa muihin muotteihin verrattuna. Kuvasta 2 nähdään mistä eri osista kiinteän muotin työkalupaketti muodostuu. Syöttölevy (feeder plate) kontrolloi metallin virtausta muotin aukosta, suulake muokkaa (die plate) profiilin muodon, aluslevy (backer plate) tukee suulaketta purkautumiselta ja häiriöiltä ja takatuki (bolster) ottaa vastaan pursotuksen kuorman. (Vitex Extrusion, 2019)



Kuva 3. Onton muotin työkalupaketti (Vitex Extrusion, 2019)

Ontto muotti (kuva 3) tuottaa profiileja, joissa on yksi tai enemmän suljettuja muotoja kuten yksinkertainen putki tai monimutkaisempi rakenne useammalla yksityiskohtaisella aukolla. Onton rakenteen tuottaminen vaatii erilaisen työkalupaketin kuin kiinteän muotin työkalu. Tuurna (mandrel) sijaitsee muotin sisällä ja siinä on kaksi tai useampi sovitereikä, muodon sisäisten ominaisuuksien luomiseen. Se ohjaa myös metallin virtausnopeutta ja saa aikaan ontton muodon profiilille. Tuurna on rakenneominaisuuksiltaan monimutkainen sisältäen monia eri komponentteja, minkä vuoksi sen materiaali ja koneistuskustannuksetkin ovat tyypillisesti korkeat. (Vitex Extrusion, 2019)



Kuva 4. Puolionton muotin työkalupaketti (Vitex Extrusion, 2019)

Puoliontto muotti pursottaa lähes onttoa osittain suljettua profiilia. Puoliontossa työkalupaketissa on sama rakenne kuin ontossakin, mutta puoliontossa rakenteessa tuurna ei sulje profiilia kokonaan. (Vitex Extrusion, 2019)

2.1 Suora pursotus

Suorassa pursotuksessa lämmitetty aihio ladataan kammioon, joka on yleensä valmistettu raskaasta teräksestä ja vuorattu lämpöä eristävällä teräsokeksella. Hydraulinen mäntä, joka

suorassa pursotuksessa on kiinteä sylinteri, työntää voimalla aihiota pakottaen sen lämpöä eristävstä työkaluteräksestä tehdyn muotin läpi. Aihio liukuu suhteessa säiliön reunaan ja mäntä liikkuu samaan suuntaan kuin pursotettava kappale tulee ulos muotista. Säiliö pysyy paikoillaan. Yleisesti ottaen männän halkaisija säiliössä on pienempi, kuin säiliön sisäläpimitta. Puskupala asetetaan aihion ja männän väliin esilämmitettynä, jotta aihion peräosa ei jäähtyisi kosketuksissa ja samalla myös suojaa mäntää kuumalta aihiolta. Puskupala voi olla myös kiinnitetty mäntäin. Puskupala on usein halkaisijaltaan pienempi kuin pursotuspesän sisähalkaisija. Syitä seinämän ja männän tai puskupalan välykselle on kaksi: kitkan minimointi ja rako sallii aihion pinnan oksidikerroksen pois raapimisen jättäen ne säiliön seinille. Aihion liikkumisen vuoksi kitka välyksessä on korkea, joten paine, jolla metalli alkaa pursottumaan työkalupaketin läpi on korkeampi. Tämän vuoksi prosessi vaatii myös enemmän voimaa. (Bhaduri A. 2018, s.601)

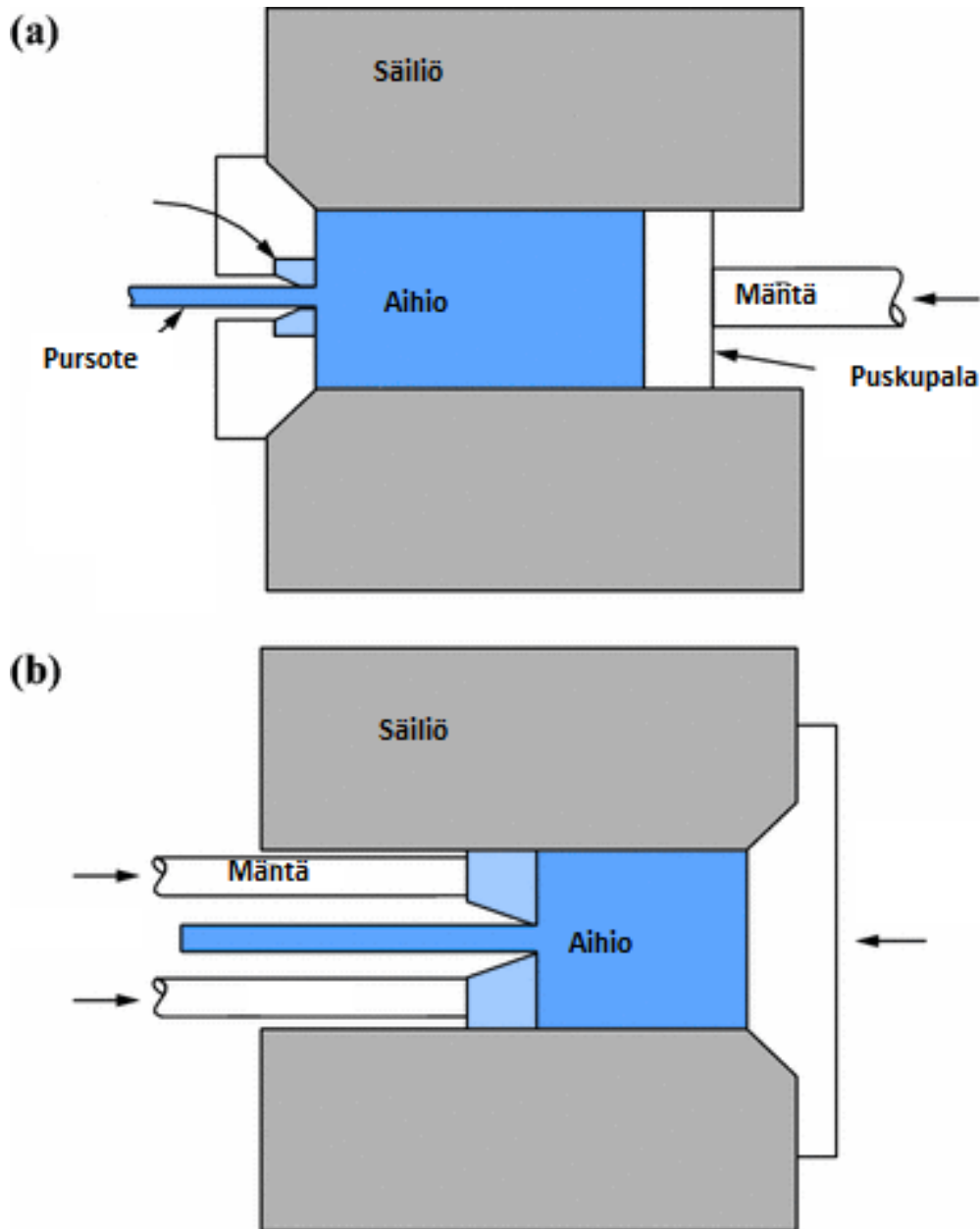
Aihion pursottuessa työkalupaketin läpi tasaisen metallivirran ylläpitämiseen tarvittavan paineen määrä laskee männän liikuessa säiliössä. Ilmiö johtuu siitä, että aihion pituus säiliössä lyhenee, joka johtaa kontaktipinnan pinta-alan kutistumiseen ja tällöin myös kitkan vastustus aihion ja säiliön seinien välillä pienenee. Suorassa pursotuksessa pursotus paine riippuu aihion pituudesta, koska aihion liike on suhteessa säiliön seiniin. Sen vuoksi kuormitus rajaa aihion pituutta. Kitkan tuottaa prosessissa lämpöä, jolloin myös aihion pinta lämpenee. Lämpö saattaa aiheuttaa aihion pinnassa virheitä ja rajaa myös pursotusprosessin nopeutta, sillä suuremmat nopeudet vain tuottavat lämpöä entistä enemmän. (Bhaduri A. 2018, s.601)

2.2 Epäsuora pursotus

Epäsuorassa pursotuksessa pursotuskammio on samankaltainen ja lämmitetty aihio ladataan säiliöön kuten suorassakin pursotuksessa. Epäsuorassa pursotuksessa työkalupaketti on asetettu puristimeen onton männän päähän. Työkalupaketti ja mäntä jäävät pursotettavan tuotteen poistumipuolelle toisin kuin suorassa pursotuksessa, jossa mäntä ja puskupala sijaitsivat vastakkaisessa suunnassa työkalupakettiin nähden. Epäsuorassa pursotuksessa vastakkaisella puolella on sulkulevy, joka sulkee kammion aihion lastauspuolen vastakkaiselta puolelta. Pursotuksen suorittamiseksi epäsuorassa pursotuksessa joko muottia painetaan kohti paikoillaan olevaa säiliötä ja aihiota mäntää liikuttamalla tai aihion

sisältämää säiliötä yhdessä liikuttamalla kohti liikkumatonta työkalupakettia kantavaa onttoa mäntää. Koska aihion ja säiliön seinämien välillä ei ole liikettä toistensa suhteen lukuun ottamatta muotin liikettä, niiden välillä ei myöskään ole kitkasta johtuvaa kuormitusta. Alempien kitkavoimien vuoksi pursotuskuorma ja voima, joita tarvitaan ovat pienemmät kuin suoralle pursotukselle. Koska säiliössä on kitkaa vain vähän, myös lämpötilat pysyvät kohtuullisina. (Bhaduri A. 2018, s.601-602)

Epäsuorassa pursotuksessa käytetään onttoa mäntää, jonka työ on pitää lähinnä työkalupakettia kasassa. Onttouden vuoksi prosessille aiheutuu käytännön rajoituksia, sillä se heikentää puristustehoa ja rajoittaa mäntäin kohdennettavissa olevia voimia. Se vuorostaan rajoittaa pursotettavan tuotteen kokoa ja valmistettavia poikkileikkausprofiileja. (Bhaduri A. 2018, s.602)



Kuva 5. Kuvaus suorasta ja epäsuorasta pursotuksesta (Mukaillen Bhaduri A. 2018 s. 601)

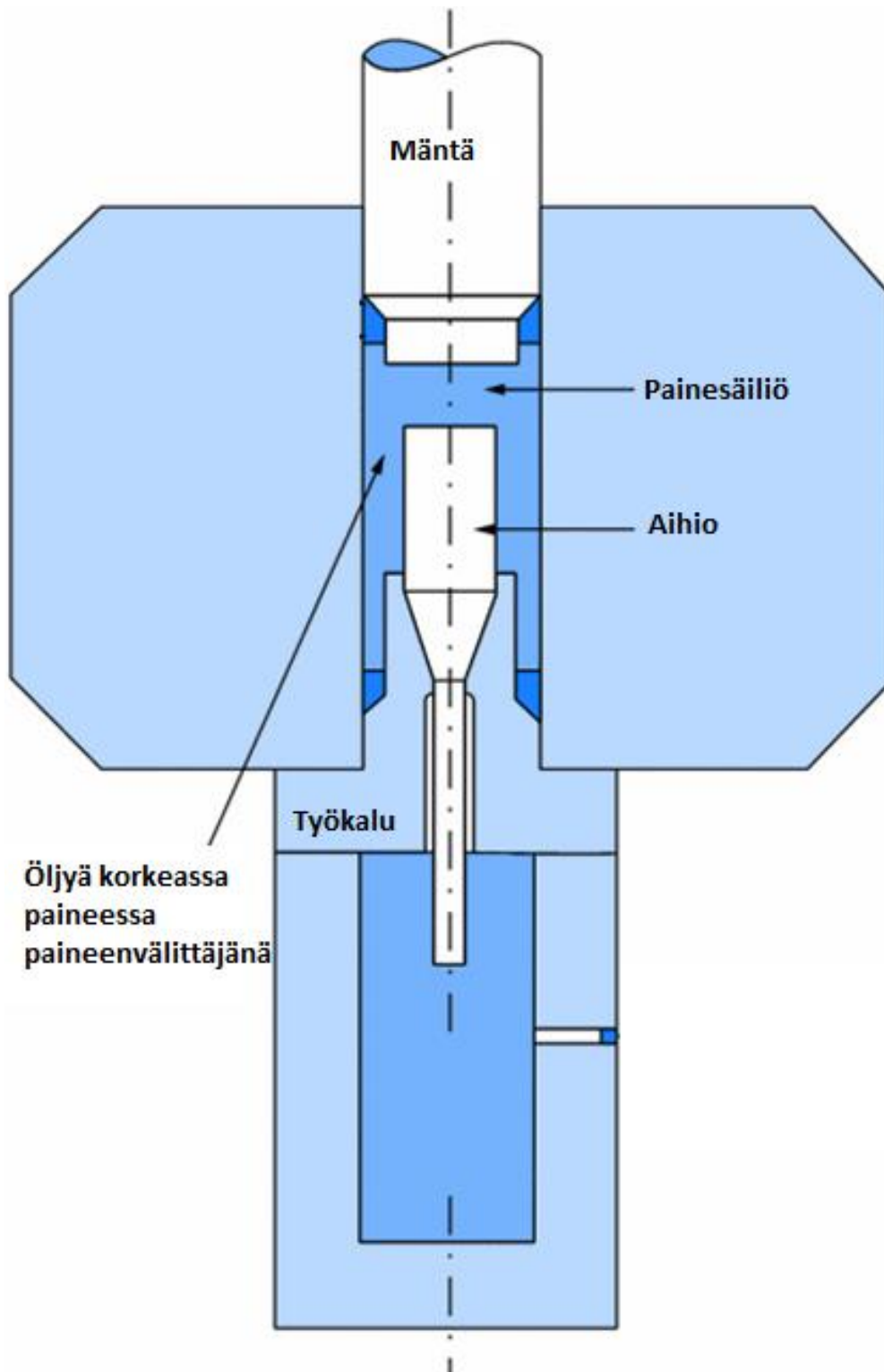
2.3 Hydrostaattinen pursotus

Hydrostaattinen pursotus kehitettiin 1950-luvulla. Prosessissa aihio pakotetaan työkalupaketin läpi, mutta toisin kuin tavanomaisessa suorassa pursotuksessa tai epäsuorassa pursotuksessa painetta antavan männän sijaan, painetta välittää neste. Hydrostaattisessa pursotuksessa kitkaa säiliön seinämien ja aihion välillä ei ole ollenkaan, sillä ne eivät ole

kontaktissa keskenään. Paineenalainen neste välitetään systeemiin ja usein toimii myös hydrodynaamisen voiteluna vähentäen huomattavasti kitkaa. Koska prosessissa ilmenee niin vähän kitkaa, muotti on kartiomainen aihion syöttöpuolelta, kulmaltaan noin 20 asteinen. Pieni kulma vähentää turhaa muodonmuutokseen tarvittavaa kuormitusta. Alhaisempi kitka ja turhan muodonmuutoksen poisto molemmat vaikuttavat prosessin pursotuspaineeseen alentavasti. (Bhaduri A. 2018, s.630)

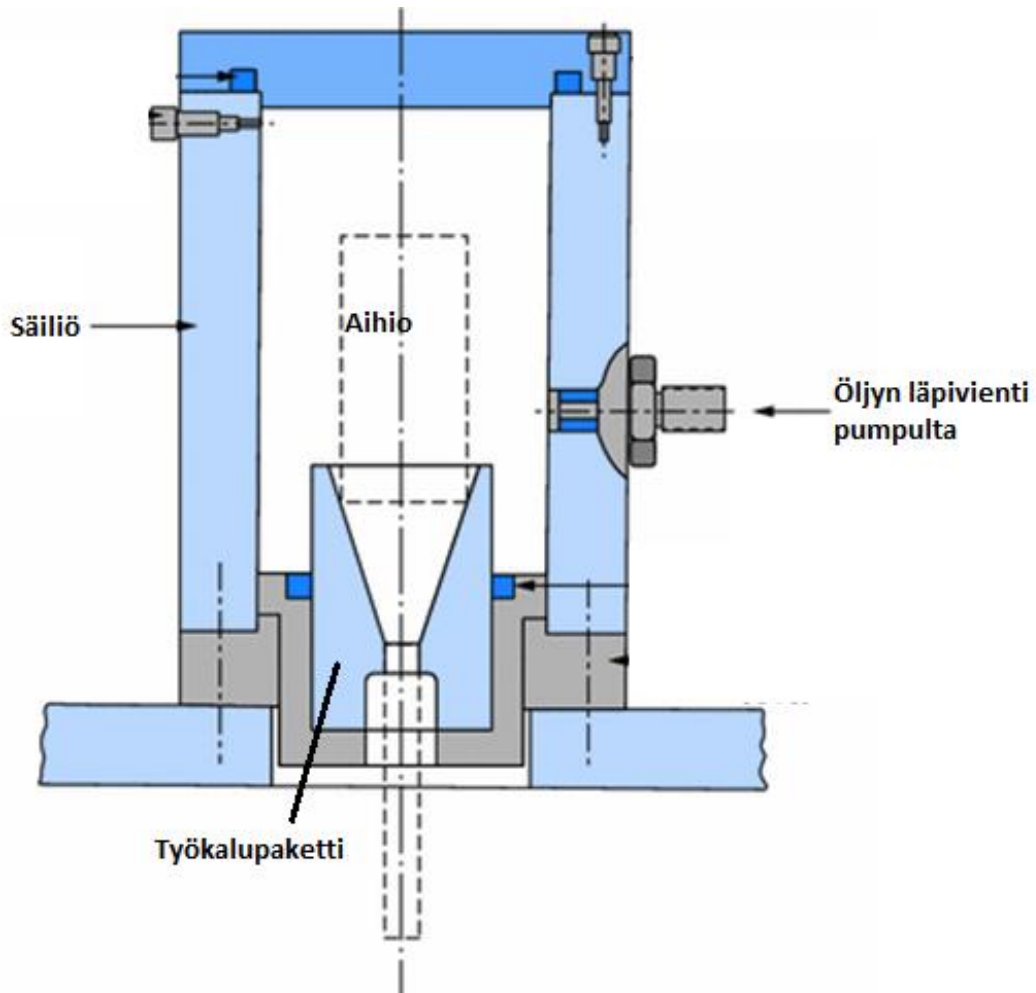
Hydrostaattisessa pursotuksessa suurilla paineilla vetöjännitykset lasketaan murtumalle kriittisen alueen alapuolelle kuitenkin metallin virtaukseen vaikuttamatta. Seurauksena vältetään materiaalin vahingoilta muodonmuutosprosessissa suurilla hydrostaattisilla paineilla. Toisaalta hydrostaattista painetta ei kuitenkaan voi nostaa kovin suuriin arvoihin, sillä prosessin nesteenä paineenvälittäjänä hydrostaattisessa pursotuksessa käytetään yleensä öljyä, joka alkaa kiinteytyä suurilla paineilla. Tärkeää on myös ottaa huomioon, että säiliö on tarpeeksi vahva kestämään suuria paineita. (Bhaduri A. 2018, s.630)

Hydrostaattisessa pursotuksessa paineenvälittämiseen voitelunesteen avulla on kahta eri tapaa. Ensimmäinen tapa muistuttaa suoran pursotuksen tyyliä. Tässä männällisessä hydrostaattisessa pursotuksessa paine välittyy aihiolle männän avulla, joka työnnetään pursotuskammioon tasaisella nopeudella saaden aikaan myös pursotukselle tasaisen nopeuden. (Bhaduri A. 2018, s.630)



Kuva 6. Männällinen hydrostaattinen pursotus (Mukaiillen Bhaduri A. 2018 s. 631)

Männättömässä hydrostaattisessa pursotuksessa paine aihiolle tulee pumpun kautta. Pumppu syöttää öljyä läpiviennin kautta säiliöön, joka ympäröi aihiota ja muotti sijaitsee kuten kuvassa. Pumppu tuottaa tasaisen paineen systeemiin. (Bhaduri A. 2018, s.631)



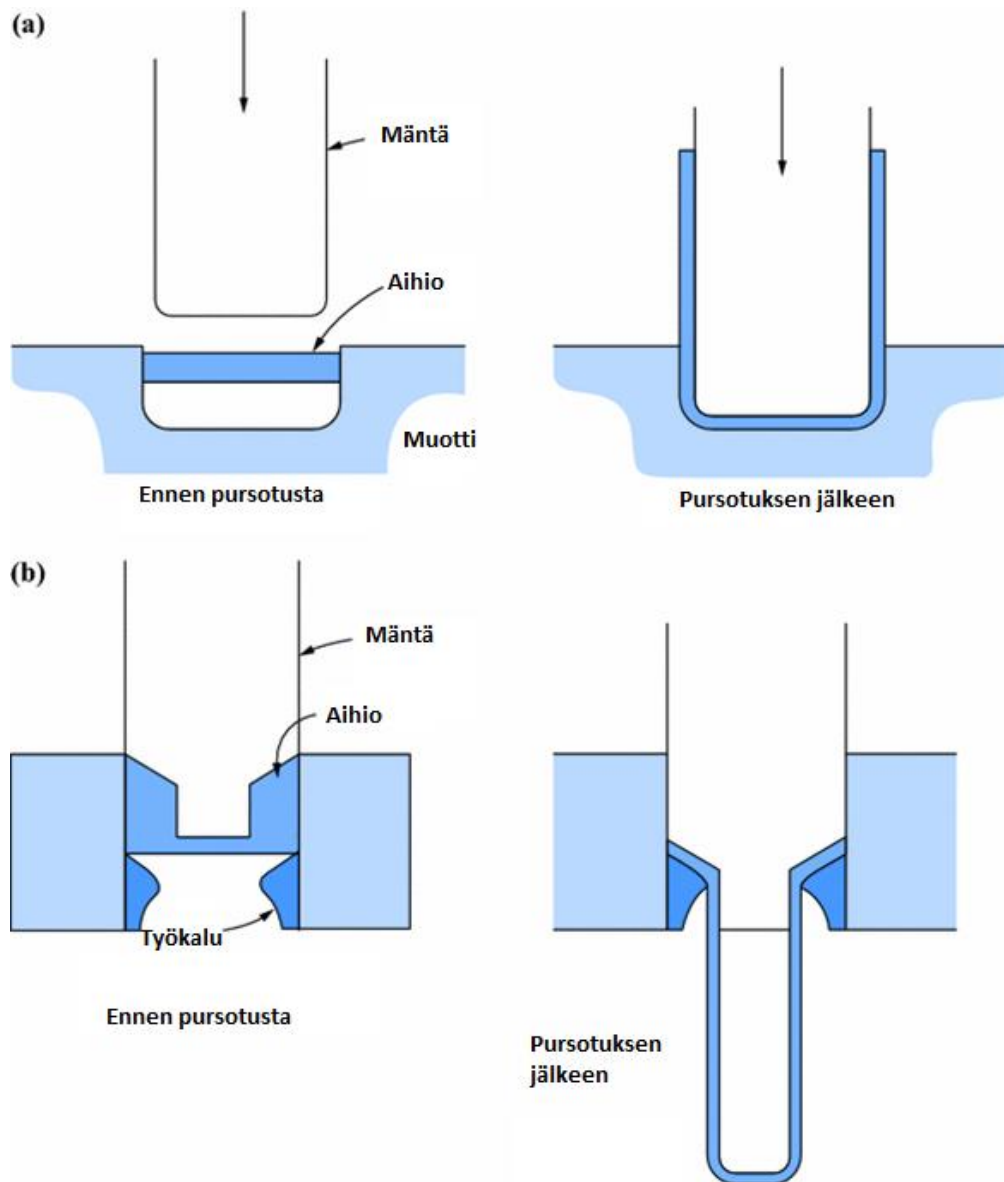
Kuva 7. Männätön hydrostaattinen pursotus (Mukaiillen Bhaduri A. 2018 s. 631)

2.4 Kuuma- ja kylmäpursotus

Kylmäpursotus on prosessi, jonka pääperiaate on sama kuin kuumapursotusprosesseissa, mutta käytetty koneisto on erilainen ja työstettävä aihio saapuu laitteeseen huoneenlämpöisenä ja työstö tapahtuu uudelleenkiteytymislämpötilan alapuolella. Työstön aikana muodonmuutosprosessin takia materiaalista vapautuu useita satoja asteita lämpöä. (Bhupatiraju 2005, s.405)

Kylmäpursotukselle on kaksi pääkeinoa. Suora kylmä suulakepuristus ja epäsuora suulakepuristus. Epäsuorassa suulakepuristuksessa, kuten kuvasta 8 alla nähdään, on muotti, jota vasten mäntä isketään, on tuotettavan kappaleen ulkohalkaisijan kokoinen ja männän halkaisija on tuotteen sisähalkaisijan kokoinen. Alumiinaihio, joka usein on voideltu, asetetaan männän ja muotin väliin, jolloin mäntä iskee kappaleen muottiin suurella voimalla. Mäntä painaa aihiota muotin pohjaan suurella paineella, jolloin metallilla ei ole muuta pakotietä kuin, pursota männän pintaa pitkin vastakkaiseen suuntaan muodostaen ohuen putken. (Bhaduri A. 2018 s. 629)

Kylmäpursotukselle toinen ominainen pääkeino on suora kylmä suulakepuristus (kuva 8). Prosessi on tekniikaltaan hyvin samanlainen, kuin epäsuora menetelmä, mutta pursottuva tuote muodostuu eri puolelle. Toivottu muoto työstettävälle aihiolle on kuppimainen. Männän pää ei suorassa suulakepursotuksessa ole tasainen, vaan sen keskellä on tuurnamainen uloke, jonka halkaisija on sama, kun muodostuvan tuotteen ulokkeen sisähalkaisija. Muotti on avonainen ja sen aukon halkaisija on sama, kuin muodostuvan tuotteen ulokkeen ulkohalkaisija. (Bhaduri A. 2018 s. 629)



Kuva 8. Kylmä suora suulakepuristus (yllä) ja kylmä epäsuora suulakepuristus (alla) (Mukaillen Bhaduri A. 2018 s. 601)

Alumiiniseokset soveltuvat hyvin kylmäpursotukselle. Pieniljuuksiset seokset kuten 1100 ja 3003 ovat helpoimpia seoksia kylmäpursottaa. Jos lopputuotteen mekaaniset ominaisuudet eivät täyty, täytyy käyttää lämpökäsiteltäviä seoksia, kuten seosta 6061. Alumiiniseoksien kylmäpursotukselle on useita hyviä syitä. Kylmäpursotuksella päästään korkeisiin tuotantomääriin, jopa 4000 valmiiseen osaan tunnissa. Jos valmistettavan osan geometria on monimutkainen tai osa on kooltaan suuri, voi pienemmilläkin valmistuslukuilla tuotanto olla kannattavaa. Tuotetut osat ovat täysin työstettyjä saavuttaen

parhaimman lujuuden ja kovuuden. Valmiit tuotteet vaativat hyvin vähän pintaviimeistelyä, toleranssit ovat hyvin pienet ja hapettumista tuotteen pinnalla ei tapahdu. (Bhupatiraju 2005, s.413-414)

Kylmäpursotus soveltuu ontoille osille, joiden toinen pää on osittain tai täysin umpinainen. Kylmäpursottamalla voidaan tuottaa yksi osa, joka korvaa useiden pienempien komponenttien muodostamia kokonaisuuksia. Menetelmää käytetään usein myös valmistamaan painetiiviitä säiliöitä, joiden eri seinämien paksuuksissa on eroa. (Bhupatiraju 2005, s.414)

3 PURSOTETTAVAT ALUMIINISEOKSET

3.1 Seosaineen vaikutus ja pursotettavuus

Seosaineen lisääminen alumiiniin muokkaa sen ominaisuuksia ja luonteenomaisia piirteitä. Seoksien vaikutus alumiinissa näkyy esimerkiksi tiheydessä, sähkön- ja lämmönjohtavuudessa, lämpölaajenemisessa, mekaanisissa ominaisuuksissa, valmiin pursotuksen kovettumisessa ja korroosionkestävyydessä. (SFS-EN 1999-1-1 + A1, s. 166)

Monet alumiiniseokset ovat hyviä pursotukseen ja monet taas vaativat erityisiä toimenpiteitä, jotka hidastavat prosessia. Seosluokan 6xxx alumiinit, erityisesti 6063 on eniten käytetty alumiiniseos pursotustarkoituksiin sen monipuolisten käyttökohteiden, loistavien materiaaliominaisuuksien ja helpon pursotettavuuden vuoksi (Aluminum Extruders Council 2018). Seosluokat ja seosaineen vaikutukset voidaan nähdä taulukosta 1 alla.

Taulukko 1. Alumiiniseokset ja niiden käytettävyys (SFS-EN 573-1 2005, s. 6 ja SFS-EN 1999-1-1 + A1, s. 166-167)

Seosluokka	Seosaine ja käytettävyys
1xxx	-99 % alumiinia -korroosionkestävä -hyvä viimeisteltävyys ja muokkautuvuus -pieni lujuus -hyvä sähkön- ja lämmönjohtavuus
2xxx	-Kupariseos -suuri lujuus -ei kovin korroosionkestävää -lämpökäsiteltävissä

Taulukko 1 jatkuu. Alumiiniseokset ja niiden käytettävyys (SFS-EN 573-1 2005, s. 6 ja SFS-EN 1999-1-1 + A1, s. 166-167)

3xxx	-Mangaaniseos -keskiluja -korroosionkestävä -vaikea koneistaa
4xxx	-Piiseos -pursotus ei mahdollista
5xxx	-Magnesiumseos -keskiluja -loistava korroosionkesto -todella hyvä hitsattavuus -ei lämpökäsiteltävä
6xxx	-Magnesiumin ja piin seos -suosituin seos pursotukseen -hyvä lujuus -hyvä pursotettavuus -hyvä korroosionkesto -hyvä koneistettavuus -hyvä hitsattavuus -hyvä muokattavuus
7xxx	-Sinkkiseos -Erinomainen lujuus -huono korroosionkesto -hyvä koneistettavuus -lämpökäsiteltävissä -ei yhtä helppo pursotettava kuin 6xxx -ei yhtä helposti saatavissa kuin 6xxx

3.2 Pursotettujen kappaleiden jälkikäsitely

Pursotettuja kappaleita jälkikäsitellään sen vuoksi, että heti, kun valmis työstetty alumiinituote alkaa reagoida ilmakehässä sen pinta alkaa hapettua. Useimmissa

käyttökohteissa alumiiniprofiilit eivät tarvitse oman ohuen ja näkymättömän oksidikerroksen lisäksi muuta suojausta. Alumiiniprofiileja voidaan kuitenkin käsitellä monella eri tavalla, jos suurempaa suojausta tai huolitellumpaa ulkonäköä vaaditaan. (Aluminum Extruders Council 2018, 4-A)

Alumiinille voidaan antaa monia erilaisia pintatekstuureja karheasta tai kuviodusta peilipintaiseen monin mekaanisin keinoin, kuten kiillottamalla, hiomalla, rumpuhionnalla tai hiekkapuhaltamalla. Näillä keinoilla voidaan lopullisen tuotteen pintaa muokata näyttävämmäksi tai parantaa pinnan laatua. Mekaanisella viimeistelyllä pinta voidaan myös esikäsitellä kosmeettisia viimeistelyjä varten. (Aluminum Extruders Council 2018, 4-1)

Esikäsitely tarkoittaa alumiinin valmistelua myöhempää pintakäsittelyä varten. Jotta profiileja voidaan maalata tai jauhemaalata, yleensä prosessi edellyttää alumiinin puhdistusta tai etsausta ja esikäsitely pinnoitteen. Puhdistus voidaan tehdä mekaanisesti esimerkiksi hiekkapuhaltamalla tai emäksisillä tai happamilla puhdistusaineilla. Puhdistettuun pintaan asetetulla esikäsitelypinnoitteella on kaksi päätehtävää: edistää maalin tarttumista ja lisätä korroosionkestoa. Pursotetuille alumiineille on kahdenlaista esikäsitelypinnoitetta: kromia sisältäviä ja kromia sisältämättömiä. (Aluminum Extruders Council 2018, 4-2)

Pursotettu kappale voidaan viimeistellä kemikaaleja käyttämällä. Etsaus on keino, jossa syövyttävää liuosta käyttämällä saadaan pursotteen pintaan hopeanvalkoinen viimeistely. Alumiiniprofiili upotetaan kuumaan liuokseen ja huuhdellaan. Käsittelyn jälkeiset pinnan epäpuhtauden poistetaan desmut-käsittelyllä, jonka jälkeen kappale vielä huuhdellaan uudestaan. (Aluminum Extruders Council 2018, 4-5)

Keltapoltto on toinen kemikaaleilla toteutettu pintakäsittelykeino. Alumiinin pinnalle saadaan peilimäinen pinta, kun sitä kastetaan kuumassa fosfori- ja typpihapon seoksessa. Usein ennen käsittelyä pinta kiillotetaan mekaanisesti, jotta pienet naarmut saadaan poistettua alumiinin pinnasta. Lähes aina keltapolton jälkeen, kappale myös anodisoidaan viimeisen huuhtelun jälkeen. Anodisointi sekä suojaa tasaista pintaa, että antaa pinnalle hienoja värejä. Keltapoltto suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon käytettävä alumiiniseos,

sillä se vaikuttaa haluttuun pinnan kiiltoon ja värien selvyyteen. Esimerkiksi alumiiniseos 6463 on erityisesti kehitetty juuri keltapoltettavaksi. (Aluminum Extruders Council 2018, 4-5)

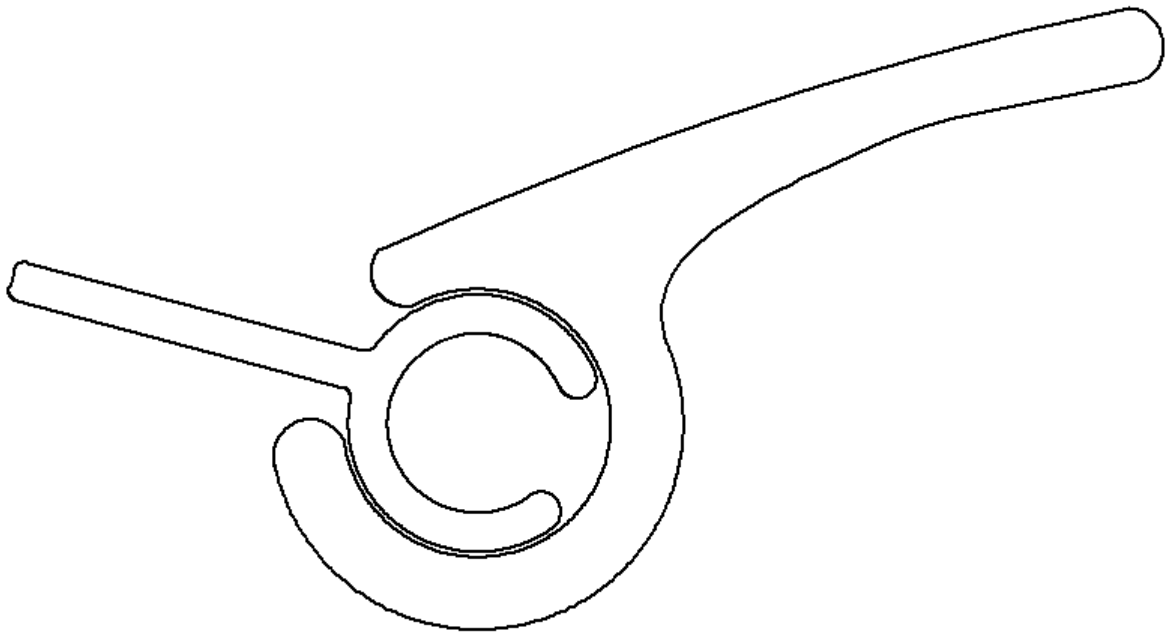
Anodisointi on sähkökemiallinen prosessi, joka muodostaa kestävä, huokoisen anodisen oksidikerroksen alumiinin pinnalle lisäten suojausta sen luonnollisen oksidikalvon lisäksi. Kaikki alumiiniseokset voidaan anodisoida, mutta anodisointikerros vaihtelee väriltään ja tiheydeltään riippuen alumiiniseoksesta. (Aluminum Extruders Council 2018, 4-7)

Alumiiniprofiileja voidaan myös pinnoittaa. Pinnoittamiselle on kaksi pääsyötä: ulkonäölliset syyt ja suojele ympäristön aiheuttamilta vahingoilta. Alumiiniprofiilille valittu viimeistelytapa riippuu käyttötarkoituksesta ja markkinoiden mieltymyksistä. Joissain tapauksissa pinnoitetta ei tarvita lainkaan, vaan mekaaninen viimeistely riittää. Alumiiniprofiilia pinnoittaessa se useimmiten täytyy puhdistaa ja esikäsitellä. (Aluminum Extruders Council 2018, 4-14)

4 PIKALIITOKSIIN LIITOSGEOMETRIAT

Pikaliitoksille on olemassa loputon määrä pikaliitosprofiileita, joissa vain mielikuvitus on rajana. Tässä työssä avataan esimerkein kolmea eri geometriaa, joilla kaikilla on eri lukittumisperiaate.

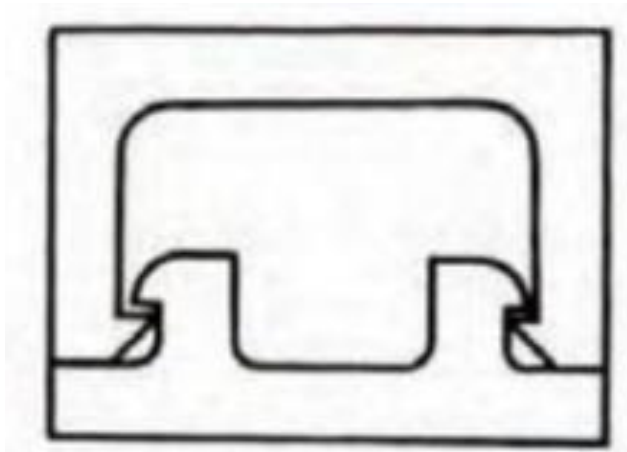
Perinteinen saranaliitos sisältää usein poikkileikkauksesta huomattavissa olevan holkin ja sitä vastaavan pallon kuten kuva 9 alla havainnollistaa. Kappaleet saadaan lukittua toisiinsa ainoastaan niiden pursotuspituuden suuntaisesti liu'uttamalla lomittain. Profiili mahdollistaa niiden saranasuuntaisen liikkumisen toisiinsa nähden. Saranaliitos on usein suhteellisen löysä, joten sitä voidaan muokata toleranssien avulla



Kuva 9. Saranaliitos esimerkki

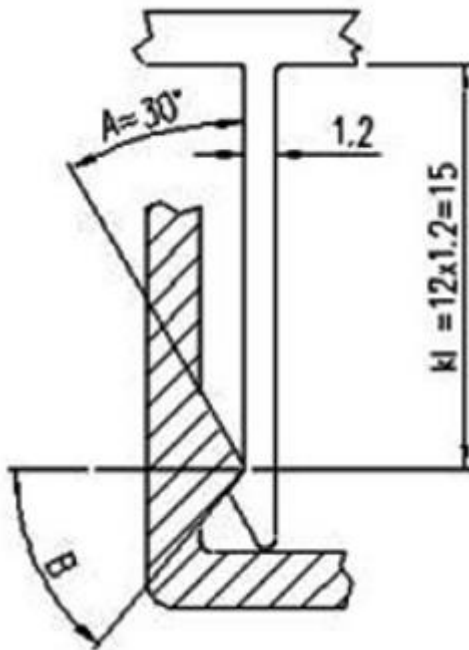
Klipsiliitokset ovat nopea tapa liittää kappaleet toisiinsa itselukittumista hyödyntäen ilman ylimääräisiä liittimiä. Klipsiliitosten teko on toinen yleinen tapa käyttää hyväksi pursotuksen mahdollistamia monimutkaisiakin geometrioita ilman materiaalihävikkiä tai mekaanista viimeistelyä.

Klipsiliitosten toiminta perustuu siihen, että paritettavia kappaleita painetaan toisiaan vasten, jolloin vastakappaleen antaessa periksi pääsee nokkamainen kappale luiskahtamaan vastakappaleessa olevaan taskuun. Kuten kuvasta 10 nähdään, taskussa on korotetut pykälät, joiden väliin kappale jää kiinni.



Kuva 10. Klipsiliitos (Mukaillen Aluminum Extrusion Manual 2018, 6-15)

Klipsiliitoksesta voi tarvittaessa tehdä pysyvän tai irrotettavan. Jos kuvia 10 ja 11 vertaa keskenään, nähdään kuvassa 11 kuvatun kulman B olevan positiivinen, kun taas kuvassa 10 kulma on nolla. Kuvan 10 liitos on pysyvä. Kuvassa 11 kulmaa B voidaan vaihdella 45 ja 60 asteen välillä, jolloin liitos on vielä irrotettavissa. Irrotettava liitos tarvitsee kuitenkin tarpeeksi pitkän varren taipumiseen. Kuvassa 11 näkyy varren mitta "kl", joka on 12-kertainen varren paksuuteen verrattuna. Tämä on hyvä nyrkkisääntö, jotta varren taipuma on optimi. (Friedhelm 2018)



Kuva 11. Klipsiliitoksen kontaktipinnan tolerointi (Mukaiillen Friedhelm, 2018)

Lomittaislukittuva saranaliitos eroaa aiemmin mainitusta (kuva 9) saranaliitoksesta kontaktikappaleiden lukittumisperiaatteen avulla. Vastakappaleet ovat suunniteltu siten, että ne lukittuvat toisiinsa limittäin. Vastakappaleista toinen on käyräpäinen ja toisessa kappaleessa on vastaavan muotoinen railo, jonka takia ne lukittuvat toisiinsa vain railoa myötäillen ja purkautuvat vain samaa reittiä. Liitos on siis lukittu pursotussuunnan vastaisesti vaakatasoon, kuten kuvasta 12 voidaan päätellä.



Kuva 12. Lomittaislukittuva saranaliitos (Mukaiillen Aluminum Extrusion Manual 2018, 6-14)

5 PURSOTETUN GEOMETRIAN TOLERANSSIVAATIMUKSET

Tässä kappaleessa tarkastellaan pursotetun kappaleen suunnittelussa huomioon otettavia geometrisia- ja mittatoleransseja. Apuna käytetään standardeja ja suomalaisia alumiinien pursotuksiin keskittyvien yritysten profiilinsuunnitteluoppaita. Toleransseja sovelletaan kuvasta 9 tehdylle mallille.

5.1 Standardigeometrioiden mitta- ja geometriset toleranssit

Pursotustoleransseja tarkastellaan alumiiniseoksesta 6063 valmistetulle saranaliitosesimerkille, josta esimerkki on kuvassa 9. Seos valikoitui tähän esimerkkiin taulukossa 1 mainittujen 6xxx-alumiiniseosten ominaisuuksien, sekä erityisesti seoksen 6063 ylivoimaisesti suosituimman käytön vuoksi vastaavissa sovelluksissa. Vaikka seos 6063 on erittäin sopiva anodisointiin, jätetään se tässä esimerkissä huomioimatta, sillä sen vaikutus on kyseiseen tarkoitukseen olematon.

Ensimmäinen mittatoleranssi suunnittelua aloittaessa saadaan halutun profiilin poikkeipinnan suurimman leveyden perusteella. Työkalu on pyöreä, joten voidaan ajatella saatua mittaa halkaisijana. Usein standardeissa ja profiilinsuunnittelun käsikirjoissa, jotka perustuvat standardeihin mittaa kutsutaan CD-mitaksi. CD-mitan avulla saadaan toleranssi profiilin seinämäpaksuuden toleranssille.

Kuvasta 13 nähdään seinämäpaksuuden toleranssit millimetreinä. Taulukossa mainitaan kolme eri kirjaintunnusta nimellisille seinämäpaksuuksille, jotka ovat määritelty standardissa SFS-EN 12020-2:2016 + AC:2017, s.5 taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Selitykset nimellisseinämäpaksuuksille (SFS-EN 12020-2:2016 + AC:2017, s.5)

A	-Seinämäpaksuudet, lukuun ottamatta onton profiilin ympäröiviä seiniä -niin sanotut päädyt esimerkiksi
B	-Profiilin onteloita ympäröivät seinät, lukuun ottamatta kahden eri ontelon välistä seinää

Taulukko 2 jatkuu. Selitykset nimellisseinäpaksuuksille (SFS-EN 12020-2:2016 + AC:2017, s.5)

C	-Onton profiilin kahden ontelon välisen seinämän paksuus
---	--

Seokset EN-AW6060/6063/6005/6101									
Nimellinen seinämäpaksuus A, B tai C	Seinämapaksuuden toleranssit, mitat mm								
	Seinämapaksuus A ympäripiirretty ympyrä			Seinämapaksuus B ympäripiirretty ympyrä			Seinämapaksuus C ympäripiirretty ympyrä		
yli-enintään	CD≤100	100≤CD ≤300	300<CD ≤500	CD≤100	100≤CD ≤300	300<CD ≤500	CD≤100	100≤CD ≤300	300<CD ≤500
-1,5	± 0,15	± 0,20	± 0,25	± 0,20	± 0,30	-	± 0,25	± 0,35	-
1,5–3	± 0,15	± 0,25	± 0,35	± 0,25	± 0,40	± 0,60	± 0,30	± 0,50	± 0,75
3–6	± 0,20	± 0,30	± 0,40	± 0,40	± 0,60	± 0,80	± 0,50	± 0,75	± 1,00
6–10	± 0,25	± 0,35	± 0,45	± 0,60	± 0,80	± 1,00	± 0,75	± 1,00	± 1,20
10–15	± 0,30	± 0,40	± 0,50	± 0,80	± 1,00	± 1,20	± 1,00	± 1,20	± 1,50
15–20	± 0,35	± 0,45	± 0,55	± 1,20	± 1,50	± 1,70	± 1,50	± 1,90	± 2,00
20–30	± 0,40	± 0,50	± 0,60	± 1,50	± 1,80	± 2,00	± 1,90	± 2,20	± 2,50
30–40	± 0,45	± 0,60	± 0,70	-	± 2,00	± 2,20	-	± 2,50	± 2,70
40–50	-	± 0,70	± 0,80	-					

Kuva 13. Seinämävahvuuden tolerointi (Purso 2014, s.22)

Valmistusteknisistä syistä pursotus ei sovellu terävien kulmien tuottamiseen, joten pursotetuille osille on annettu kulmille minimipyöristyssädevaatimus, joka riippuu kappaleen seinämävahvuudesta, kuten kuvasta 14 alla voidaan tulkita.

Minimipyöristyssäteet	
Seinämvahvuus (mm)	Terävät sisä- ja ulkopyöristykset
-3	0,5
3-6	0,6
5-10	0,8
10-18	1
18-30	1,2
30-50	1,6

Kuva 14. Minimipyöristyssäteet (Purso 2014, s.25)

Esimerkissä käytetylle saranaliitokselle, joka esiteltiin kuvassa 9 saadaan ympyrämaisyystoleranssit käyttämällä hyväksi taulukkoa 3. Ympyrämaisyystoleranssi saadaan putken ulkohalkaisijan tiedettäessä halkaisijan keskiarvosta suurimpana poikkeamana taulukon 3 avulla.

Taulukko 3, Pyöreiden putkien halkaisijatoleranssi (SFS-EN 755-7:2016, s.9) (muokattu)

Ulkohalkaisija, mm	Halkaisijan keskiarvon suurin poikkeama määritellystä halkaisijasta	Ympyrämaisyystoleranssi
8 - 18	± 0,25	0,25
18 - 30	±0,30	0,30
30 - 50	±0,35	0,35
50 - 80	±0,40	0,40
80 - 120	±0,60	0,60
120 - 200	±0,90	0,90
200 - 350	±1,4	1,4
350 - 450	±1,9	1,9

5.2 Valmistusmenetelmään liittyvät toleranssit

Valmistusmenetelmään liittyvillä toleransseilla tarkoitetaan pääasiassa pursotustyökalun aiheuttamaa toleranssia. Toleranssit voivat olla hyvin helppoja tai hyvin vaikeita saavuttaa riippuen pursotettavan profiilin monimutkaisuudesta. Yksi syy alumiiniprofiilien

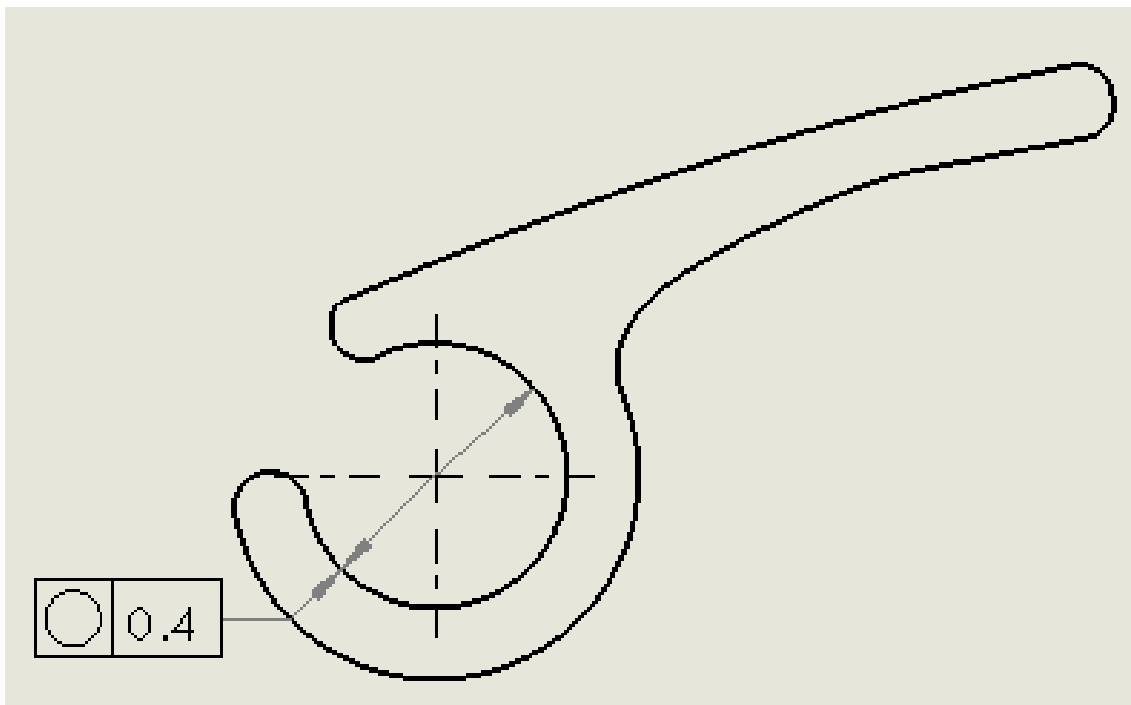
pursotuksille on nimenomaan niiden vähäisen tai olemattoman viimeistelyn tarve. Tästä syystä profiilit pyritään suunnittelemaan niin, että toleranssit ovat jopa tarkempia, kuin normaalit koneistusstandardit, jolloin säästytään viimeistelykuluilta, kun koneistusta ei tarvita (Aluminum Extrusion Manual 2018). Toleroinnissa on myös tärkeä ottaa huomioon mahdollisen jälkikäsittelyn aiheuttamat virheet, kuten maalauksen tai anodisoinnin.

5.3 Tutkittaviin liitosgeometrioihin sisältyvien toleranssien yhteisvaikutus

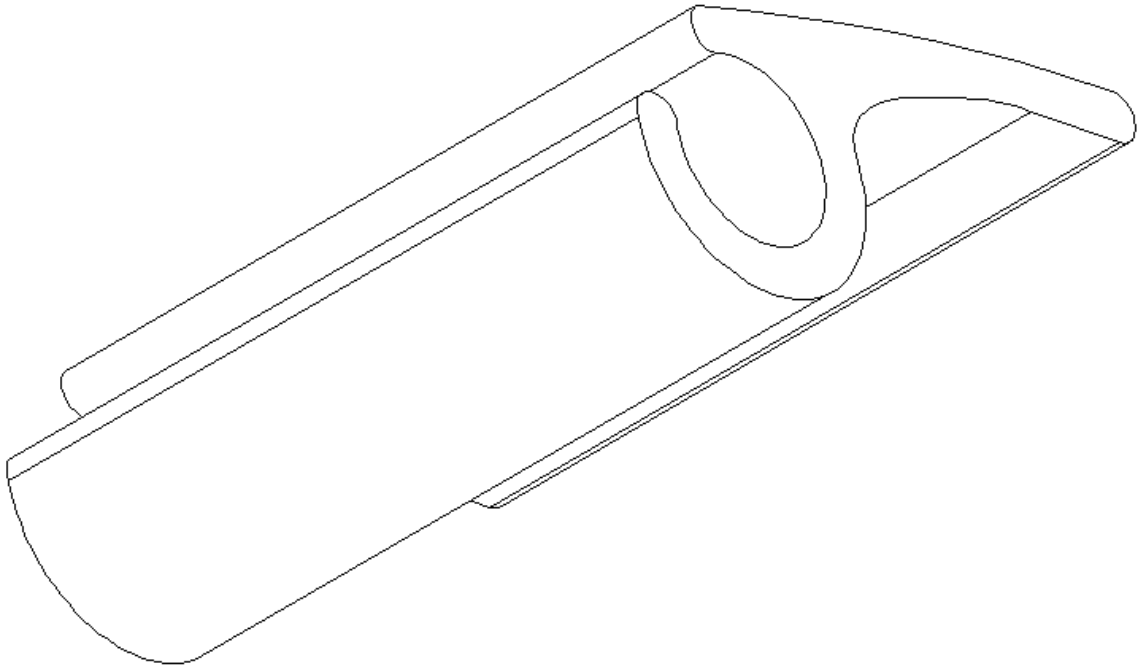
Liitosgeometrioita suunniteltaessa tulee ottaa kaikkien kappalekohtaisten toleranssien yhteisvaikutus huomioon. Kappaleen profiilin ja geometrian geometriset- ja mittatoleranssit, pursotettavan geometrian kokonaisvaikutus, materiaalin vaikutus ja pursotustyökalun mahdolliset toleranssit muodostavat yhteisvaikutuksen, joka täytyy ottaa huomioon mitoituksessa.

6 SAADUT TULOKSET

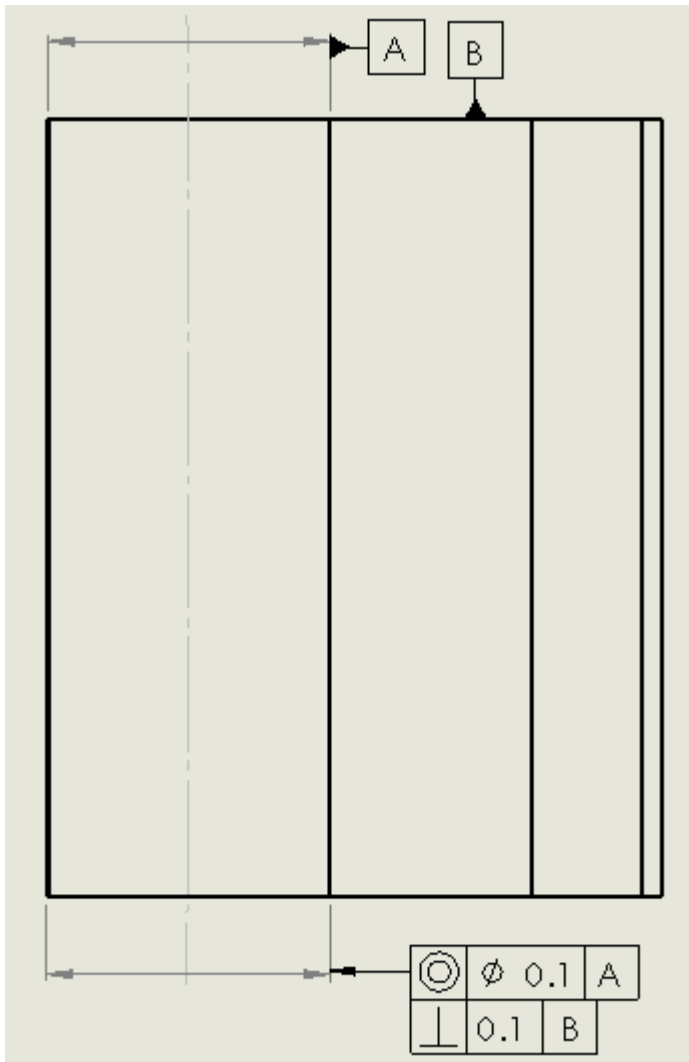
Tulokset kuvataan pursotteelle, jonka leveys on 150 mm ja saranan ulkoympyrän halkaisijalle 80 mm. Pursotuksen pituus on 300 mm. Jos kuviteltu seinämäpaksuus olisi 12 mm ympäri kappaleen saadaan taulukon 2 avulla selville, että kappaleessa on vain A-kirjaintunnuksellisia nimellismittoja ja kuvan 13 perusteella seinämäpaksuuden toleranssiksi $\pm 0,4$. Kuten aiemmin mainittu, ympyrämäisyys saadaan jakamalla taulukon 3 antama taipuma kahdella. Ulkohalkaisijan ollessa 80 mm saadaan taulukosta ympyrämäisyystoleranssiksi 0,4. Sama-akselisuudelle ei pursotukseen liittyvistä standardeista löytynyt arvoa, joten tässä oletetaan sen olevan 0,1.



Kuva 15. Tarkasteltava esimerkkikappale ympyrämäisyystoleranssilla.



Kuva 16. Yleiskuva saranan osasta.



Kuva 17. Tarkasteltavan kappaleen sama-akselisuus- ja kohtisuorustoleranssit

7 POHDINTA

Tässä luvussa paneudutaan työn pääkohtiin ja tarkastellaan tuloksien luotettavuutta, yleistettävyyttä ja hyödynnettävyyttä.

7.1 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimus perustuu standardeihin ja tieteellisiin julkaisuihin. Standardoinnin pääperiaatteena on esittää määritelmä työtavasta, jota kaikki voivat noudattaa. Työ noudattaa standardeja ja uusia konferenssijulkaisuja, joten voidaan olettaa, että tuloksien uutuusarvo on hyvä.

7.2 Avaintulokset

Taulukon 1 avulla saatiin valittua alumiinin seosaine hypoteettiseen alumiinipursotuksen käyttötarkoitukseen ja edelleen yleistettävyyks mielessä valittiin tarkempi seos sen suositun käytön vuoksi. Standardeja ja Purson profiilinsuunnittelun käsikirjaa käyttäen saatiin tuloskappaleessa esimerkki toleroidusta kappaleesta.

7.3 Tulosten yleistettävyyks ja hyödynnettävyyks

Työn tarkoituksena oli luoda malli profiilin suunnittelulle ja luoda käsitys alumiiniseosten lukemattomista mahdollisuuksista pursotusmateriaalina. Työssä on esitetty mittoja ja niihin liittyviä toleransseja perustuen standardeihin, joita jäljittelemällä voidaan työ toistaa eri geometrioille. Työn lopputuloksen avulla saadaan selville esimerkki, kuinka tuloksia voidaan soveltaa eri käyttötarkoituksiin.

7.4 Jatkotutkimusaiheet

Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla tarkempi selvitys useampien kappaleiden muodostamien systeemien erillisten toleranssien vaikutuksesta toisiinsa. Tutkimuksessa voisi paneutua myös tarkemmin pursotustavan valintaan.

8 YHTEENVETO

Tutkimus perustui siihen, että haluttiin saada vertailutietoa, jota voidaan käyttää ja hyödyntää vastaavanlaisiin rakenneosan suunnittelutarkoituksiin. Tutkimus pohjautui alumiinin erinomaisten materiaaliominaisuuksien hyödyntämiseen pursotteissa. Standardoituja alumiiniprofiileja on suunnittelijalle tarjolla useita ja pursotus valmistusmenetelmänä mahdollistaa, että mikä tahansa profiili on pursotettavissa standardien rajoissa.

Tutkimuksesta suuri osa oli kirjallisuuskatsausta, jossa tieteellisiä julkaisuja etsittiin LUT Finna palvelua apuna käyttäen. Googlen avulla löytyi alumiineihin erikoistuneiden yritysten tietoa. SFS-standardeista löytyi standardoitua tietoa valmistustapoihin, alumiinin ominaisuuksiin ja seoksiin ja toleransseihin liittyen.

Tieteellisiä julkaisuja ja erityisesti Purson profiilinsuunnittelun käsikirjaa tarkastelemalla löytyi muutama erilainen pikaliitosprofiili. Pikaliitosprofiilille haluttiin tuottaa vertailukelpoinen ja hyödynnettävissä oleva analyysi etsimällä tietoa käytettävistä materiaaleista, mittatoleransseista ja geometrisista toleransseista

Lopputuloksena saatiin standardien avulla kasaan monipuolinen määrä toleransseja, joita käytettiin valitun saranaliitoskappaleen tolerointiin. Kaikkien valmiin kappaleen valmistamiseen vaikuttavien toleranssien yhteisvaikutuksen huomioimiseen ei löytynyt yksiselitteistä ohjetta standardeista tai valmistajien sivuilta, joten lopputulema vaati pohdintaa. Lopputulos on tuotettu vain yhdelle yksinkertaiselle saranaliitos osalle, joten työtä voitaisiin vaadittaessa tutkia tarkemmin esimerkiksi osapareille tai monimutkaisemmille kappaleille, joiden toleroinnissa tulisi ottaa vielä useampi muuttuja huomioon.

LÄHTEET

Spectra Aluminum Products. 2019. The Benefits of Aluminum Extrusion in Industry. [www-sivu]. [Viitattu 20.11.2019]. Saatavissa: <https://www.spectraaluminum.com/aluminum-extrusion-in-industry.html>

Bonnel Aluminum. 2019. Aluminum Extrusion Process. [www-sivu]. [Viitattu 20.11.2019]. Saatavissa: https://www.bonnellaluminum.com/education/aluminum_extrusion_process.shtml

Vitex Extrusion. 2019. Aluminum Extrusion Manufacturing 101: Understanding Extrusion Die Types. [www-sivu]. [Viitattu 21.11.2019]. Saatavissa: <https://vitexextrusions.com/aluminum-extrusion-die-types/>

Murali Bhupatiraju, Metaldyne and Robert Greczanik. 2005. American Axle and Manufacturing, ASM Handbook, Volume 14A: Metalworking: Bulk Forming S.L. Semiatin, editor, s.405-418 DOI: 10.1361/asmhba0004005

Bhaduri A. (2018) Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. Springer Series in Materials Science, vol 264. Springer, Singapore. https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1007/978-981-10-7209-3_13 s.600-633

Friedhelm Kelleter. Hydro. Shapes. 2018. Six questions for an effective snap-fit joint. [www-sivu]. [Viitattu 3.12.2019]. Saatavissa: https://www.shapesbyhydro.com/en/design_thinking/six-questions-for-an-effective-snap-fit-joint/

Aluminum Extruders Council and The Aluminum Association Inc. 2018. Aluminum Extrusion Manual, 4.2 ed. [verkkodokumentti]. [Viitattu 25.11.2019]. Saatavissa PDF-tiedostona: <https://www.aec.org/page/aluminum-extrusion-manual>

Purso Oy. 2014. Profiilisuunnittelun käsikirja [verkkodokumentti]. Siuro: lokakuu 2014. [Viitattu 1.12.2019]. 36 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://purso.fi/files/4015/3053/5354/purso_profiilisuunn_kasikirja_web.pdf

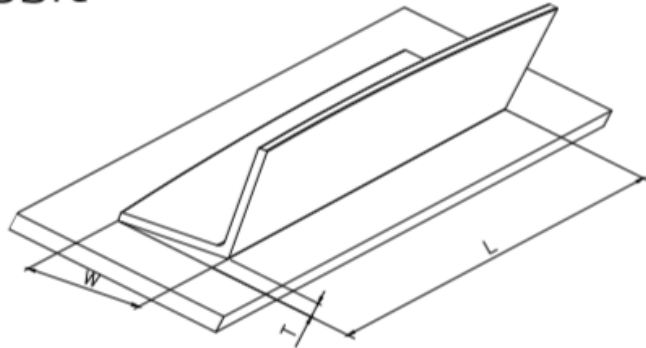
SFS-EN 1999-1-1 + A1. 2009. Eurokoodi 9. Alumiinirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Rakenteita koskevat yleiset säännöt. Suomen standardoimisliitto SFS. 239 s.

SFS-EN 12020-2:2016 + AC:2017. Alumiini ja alumiiniseokset. Seoksista EN AW-6060 ja EN AW-6063 pursotetut tarkkuusprofiilit. Osa 2: Mitta- ja muototoleranssit. Suomen standardoimisliitto SFS. 31 s.

SFS-EN 755-9. 2016. Alumiini ja alumiiniseokset. Pursotetut tangot, putket ja profiilit. Osa 7: Saumattomien putkien mitta- ja muototoleranssi. 3. painos. Suomen standardoimisliitto SFS. 32 s.

SFS-EN 573-1. 2005. Alumiini ja alumiiniseokset. Muokattujen tuotteiden kemiallinen koostumus ja tuotemuodot. Osa 1: Numeerinen nimikejärjestelmä. 2. painos. Suomen standardoimisliitto SFS. 12 s.

Muototoleranssit



Kiertymätoleranssit (mm)			
Leveys W	Kiertymätoleranssi T pituudella L		
	Mitta pituudella 1 000 mm	Koko profiilin pituudella L	
yli-enintään		Enintään 6 000	Yli 6 000
0–30	1,20	2,50	3,00
30–50	1,50	3,00	4,00
50–100	2,00	3,50	5,00
100–200	2,50	5,00	7,00
200–300	2,50	6,00	8,00



Suorakulmaisuustoleranssit (mm)	
Leveys W	Suurin sallittu poikkeama Z
yli-enintään	
–30	0,40
30–50	0,70
50–80	1,00
80–120	1,40
120–180	2,00
180–240	2,60
240–300	3,10