

Jukka Puoskari

## **LIITOSMENETELMIEN VERTAILU KOTELORAKENTEISISSA LAITTEISSA**

# **LIITOSMENETELMIEN VERTAILU KOTELORAKENTEISISSA LAITTEISSA**

Jukka Puoskari

Opinnäytetyö

Syksy 2012

Kone- ja tuotantotekniikka

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

## ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Limingassa vuonna 2012. Opinnäytetyön valvojana toimi lehtori Esa Törmälä Oulun seudun ammattikorkeakoulusta. Haluan kiittää Esaa opinnäytetyöni valvomisesta ja hyvistä keskusteluista.

Limingassa 18.10.2012

Jukka Puoskari

## TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone ja tuotantotekniikka, tuotanto ja metallitekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Jukka Puoskari

Opinnäytetyön nimi: Liitosmenetelmien vertailu kotelorakenteisissa laitteissa

Työn ohjaaja: Esa Törmälä

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: syksy 2012

Sivumäärä: 39 + 0 liitettä

---

Tämän opinnäytetyön tavoite oli kartoittaa mahdolliset liitosmenetelmät kennomaisen kotelon ja kannen yhteen liittämiseksi. Nykyisin käytössä olevan ruuviliitoksen rinnalle tai vaihtoehdoksi haluttiin aiempaa helpompi ja halvempi liitosmenetelmä, joka mahdollistaa tuotteen tilavuuden ja painon optimoinnin. Tavoite oli, että liitos on tehty ilman lisäaineita ja perusaineen muokkaantumista, ja lisäksi liitosmenetelmän laaduntuottokyky on erinomaista sekä korroosion ja vanhenemisen (virumisen) riski olisi mahdollisimman pieni.

Työssä kartoitettiin mahdolliset liitosmenetelmät alumiinisen kennorakenteisen kotelon ja kannen liittämiseksi telekommunikaatioalan tarpeisiin. Työ tehtiin kirjallisuustutkimuksena ja kokemusperäisenä arviona. Työssä tuotiin esille hitsaus, juotto, liimaus ja mekaaniset liitosmenetelmät. Kartoitusvaiheessa etsittiin kirjallisuudesta ja Internetistä tietoa alumiinin hitsauksesta ja aineliitostekniikasta, liitosmuodoista, hitsausmenetelmien mahdollisuuksista ja rajoitteista.

Työssä ehdotetaan, että aikaisemmin pääsääntöisesti käytössä olleen ruuviliitoksen tilalla voitaisiin käyttää vaihtoehtoisia liitosmenetelmiä tai niiden yhdistelmiä. Sulahitsaus- ja kovajuotosmenetelmät koettiin epäsoveliaina haittaominaisuuksiensa vuoksi liitoksien tuottamiseksi. Työssä tuotiin esille varteenotettavia menetelmiä, joista mahdollisia toteuttamiskelpoisia liitosmenetelmiä löytyi puristushitsauksesta, pehmeäjuotosta, liimauksesta ja niittauksesta. Liitoksien lukumäärä ja valmistusprosessi sekä sähköiset, luotettavuus-, ympäristö- ja mekaaniset vaatimukset otettaessa huomioon jo laitetta suunniteltaessa voidaan saavuttaa kokonaiskustannuksiltaan ehkä nykyiseen tilanteeseen verrattuna kilpailukykyisempi tuote.

---

Asiasanat: liitosmenetelmä, kotelo, telekommunikaatio

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical and Production engineering, Production and Metal Technology

---

Author: Jukka Puoskari

Title of thesis: The Comparison of Jointing Methods in Devices with a Housing Structure

Supervisor: Esa Törmälä

Term and year of completion: Autumn 2012

Number of pages: 39 + 0 attachment

---

The objective of this Bachelor's thesis was to identify possible joining methods to join honeycomb housing and a lid together. Nowadays, a screw joint is used, but the aim is to find an easier and cheaper joining method, which enables the volume and weight optimization of the product. The joint should also be made without any additives and changes in basic materials. And in addition to that the production quality of the joint method should be excellent and the risk of corrosion and aging (creep) should be as small as possible.

This study charted the possible methods of jointing on aluminium honeycomb structure housing and a lid together for the needs of the telecommunications industry. The work was based both on literature and on empirical estimate. The work highlighted the welding, soldering, gluing and mechanical joining methods. The charting phase, include searching in the Internet information on aluminium welding, material joining technology, joint forms and the possibilities and limitations of welding.

The study suggests that the screw joint, which was mainly used earlier, could be replaced by alternative joint methods or their combinations. Fusion welding and brazing methods were considered unsuitable, because of their disadvantages. The work identified some worthy methods such as compression welding, soft soldering, gluing and riveting. When the number of joints and the manufacturing process, as well as electrical, reliability, environmental and mechanical requirements are taken into account in the design of the device, it is possible to achieve a more cost-effective and competitive product than the one used at the moment.

---

Keywords: joining method, honeycomb housing, telecommunication

## SISÄLLYS

ALKULAUSE	3
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 KOTELOT JA YMPÄRISTÖ	10
2.2. Painevalettu kotelo	11
2.3. Alumiiniprofilit ja kylmäpursotetut kotelot	11
3 LIITTÄMISMENETELMÄT	13
3.1 Hitsaus	13
3.1.1 TIG-hitsaus	16
3.1.2 MIG/MAG-hitsaus	16
3.1.3 Plasmahitsaus	17
3.1.4 Kitkahitsaus pyörivällä työkalulla	18
3.1.5 Ultraäänihitsaus	21
3.1.6 Diffuusiohitsaus	22
3.1.7 Laserhitsaus	23
3.1.8 Induktiohitsaus	23
3.1.9 Vastushitsaus	23
3.1.10 Alumiinin ja alumiiniseosten hitsaus ja korrosio	25
3.2 Juotto	25
3.2.1 Pehmeäjuotto	26
3.2.2 Kovajuotto	27
3.2.3 Railoitu	27
3.3 Liimaliitos	28
3.3.1 Liimauksen edellytykset	28
3.3.2 Liimatyyppin valinta	29
3.4 Ruuviliitos	29
3.5 Niittiliitos	30
3.5.1 Pop-niitti	30
3.5.2 Niittaus ilman niittiä	30

3.5.3 Self-niitti	31
3.6 Kitkaliitokset	31
3.7 SNAP-liitokset	32
4 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET	34
5 YHTEENVETO	37
LÄHDELUETTELO	38

# 1 JOHDANTO

Työssä tutkitaan mahdollisia liitostapoja liittämällä kennomainen kotelorakenne ja kansilevy muutoin kuin ruuviliitoksena. Kennorakenteiset kotelot voivat olla alumiiniprofilia tai painevalettuja kappaleita, jotka voivat olla erikokoisia ja monimuotoisia ja joiden seinäpaksuudet voivat vaihdella 1 mm ja 10 mm välillä. Liitoksessa pyritään kappaleiden välillä hyvään metalli-metallikontaktiin, joka on varsinkin elektroniikkateollisuudessa tärkeä sähkömagneettisten kenttien suojaamiseksi. Tiiviillä liitoksella estetään sähkökentän vuoto ulospäin laitteesta ja toisaalta taas estetään, ettei laitteeseen pääse haitallista signaalia.

Nykyisin yleisesti käytetään ruuviliitosta, koska se on helpoin tapa tehdä luotettava liitos. Laitteissa voi olla kymmeniä ruuveja kymmenen neliösenttimetrin alueella. Ruuviliitos mahdollistaa, että vika tilanteessa voidaan avata laite uudelleen, korjata ja saattaa taas toimintaan. Ruuvien määrä, ruuvien kireys ja materiaalin pehmeys tuovat kansilevyyn jännitteitä. Jännitteitä voidaan pienentää etsimällä oikea ruuvien kiristysjärjestys.

Kennorakenteiseen koteloon ruuvikiinnitys vaatii ruuvien kohdalle paksumman seinämän kuin muutoin, jotta tarvittava lujuus saavutetaan ensinnäkin muotin kestävyysnäkökulmasta ja toiseksi ruuvien aiheuttaman voiman eliminoimiseksi liitoksessa. Käytettäessä painevalettua menetelmää seinämäpaksuudet ovat n. 3 - 4 mm ja ruuvien kohdalta 7 - 8 mm. Tila ja paino ovat usein kriittisiä parametreja suunniteltaessa yksikköä. Kannen ulkopuolelle tulevat ruuvien kannat vievät tilavuutta kokonaistilavuudesta.

Painevalettuna kotelon laaduntuottokyky on kohtuullisen hyvä, kun pinnat ovat virheettömät. Yleensä valetuista rungosta koneistetaan kansipinta suoraksi ja tasomaiseksi, jotta kansilevy saadaan mahdollisimman tiiviiksi. Jos liitos on puutteellinen, esimerkiksi isolaatio- tai keskeismodulaatiovaatimukset ei täyty. Kotelo ja kansi voi olla pinnoittamattomia tai pinnoitettuna. Pinnoitteena käytetään kerroksittain kuparia (Cu) ja hopeaa (Ag) tai pelkästään kuparia (Cu). Aluspinnoitteena voidaan käyttää myös nikkeliä. Painevalumateriaali sisältää paljon epäpuhtauksia ja huokosia, jolloin tarve pinnoittaa on suuri. Myös painevalettuihin kappaleeseen tehdyt koneistukset tuovat pintakuoren alta esiin huokosia. Tulevaisuudessa suuntaus on entistä



keveimpiin ja halvempiin ratkaisuihin niin raaka-aineen kuin menetelmien valinnassa. Tässä työssä keskitytään etsimään uusia menetelmiä rungon ja kannen liittämiseksi.

Opinnäytetyössä selvitetään eri liitostapojen, esim. hitsaus-, puristusliitos-, juotosmenetelmien, soveltuvuutta kennorakenteisen kotelon ja kannen liittämiseksi. Työssä perehdytään sellaiseen liitosmenetelmään, joka antaa mahdollisuuden niin tilavuuden kuin painonkin optimointiin ilman lisäaineita. Lisäksi tavoite on, että perusaineen muokkaantuminen on pientä, liitosmenetelmän laaduntuottokyky on erinomaista sekä korroosion ja vanhenemisen (virumisen) riski on mahdollisimman pientä.

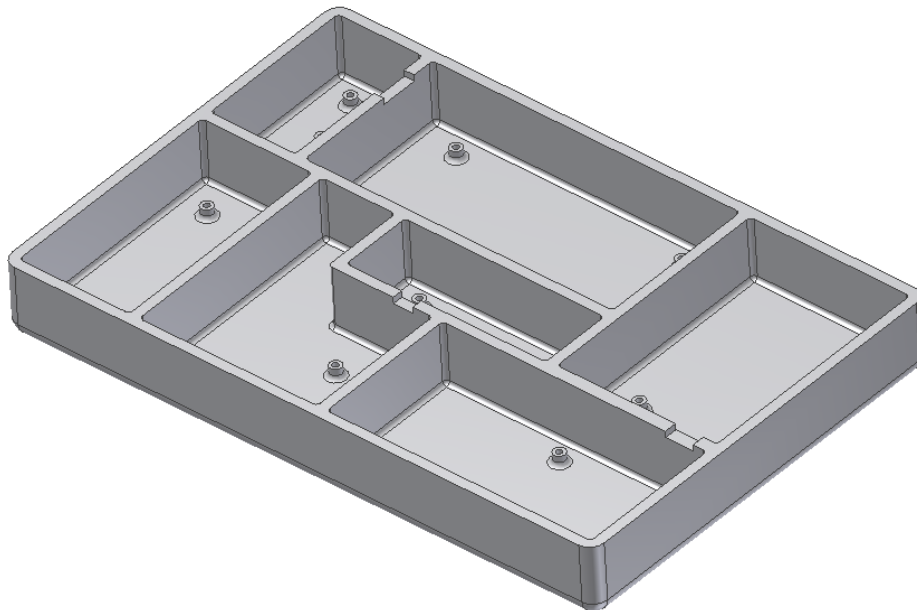
Kartoitusvaiheessa etsitään kirjallisuudesta tietoa alumiinin hitsauksesta ja aineliitostekniikasta, liitosmuodoista, hitsausmenetelmien mahdollisuuksista ja rajoitteista. Jatkokehitysvaiheessa pohditaan erilaisten menetelmien soveltuvuutta elektroniikkalaitteiden mekaanisten komponenttien yhteenliittämiseksi ja niiden vaikutuksia valmistusprosessiin ja kustannuksiin.

Liitoksen laadulliset ja mekaaniset kriteerit ovat seuraavat:

1. Kotelon sisälle ei saa jäädä irtonaisia tai mahdollisesti lohkoutuvia kuona- tai lisäainepartikkeleita.
2. Hitsauksessa käytettävä lisäaine ei saa edistää korroosiota.
3. Muodonmuutos pitää olla hyvin vähäinen liitosta tehtäessä. Kappaleisiin ei saa jäädä jännityksiä, jotka voivat myöhemmin vapautua (viruminen).
4. Liitosmenetelmää voidaan soveltaa painevalu-, profiili- tai kylmäpuristettuja osia käyttäen.

## 2 KOTELOT JA YMPÄRISTÖ

Kotelolla voi olla monenlaisia tehtäviä sähkömagneettisen kentän estämisen lisäksi, se luo koko yksikölle mekaanisen rungon ja jäykkyyden, suojan korroosiota vastaan ja ulkonäön. Lisäksi sen kuuluu olla kiinnitysalustana kaikille moduuleille yksikön sisällä, olla lämmönsiirtäjänä ja johtajana, jne. Materiaalina käytetään yleisesti alumiinia tai sen seoksia. Ne kestävät korroosio-olosuhteissa hyvin, johtavat hyvin lämpöä ja sähköä. Alumiini on myös helposti kierrätettävää. Koteloa voidaan valmistaa esimerkiksi alumiinista painevalamalla, alumiiniprofiilina ja kylmäpursottomalla. Alumiinia voidaan työstää kaikilla tunnetuilla lastuamismenetelmillä. Hyvän pinnanlaadun saavuttaminen edellyttää suuria lastuamisnopeuksia, ja vaikka tarvittava ominaislastuamisvoima onkin vain neljäsosa teräksen vaatimasta voimasta, käytetyt lastuamistehot ovat suurempia kuin teräksellä. (1. s. 5.) Kuvassa 1 esitetty yksinkertainen kuva kotelosta, josta puuttuu kannen kiinnitykseen tarvittavat reiät kierteineen.



*KUVA 1. Yleiskuva kotelosta*

## 2.2. Painevalettu kotelo

Valtaosa alumiinivaluista tehdään painevaluna auto- ja telekommunikaatioalan tarpeisiin. Puhdas alumiini on jossakin määrin vaikea valaa voimakkaan hapettumistaipumuksen ja muodostuvan oksidikerroksen ominaisuuksien vuoksi. Alumiiniseosten lujuutta voidaan nostaa seostuksella. Tärkeimmät seosaineet ovat pii, kupari, magnesium ja sinkki, joiden lisäksi voidaan käyttää myös mangaania (Mn), rautaa (Fe), nikkeliä (Ni), titaania (Ti) tai berylliumia (Be). Käytettävät alumiiniseokset ovat sitkeitä, kohtuullisen lujia ja kevyitä. (1, s. 3.)

Painevaletun menetelmän laaduntuottokyky koteloidissa on kohtuullisen hyvä, jos pinnat ovat virheettömät. Yleensä valetusta rungosta koneistetaan liitospinta suoraksi ja tasomaiseksi, jotta kansilevy saadaan mahdollisimman tiiviiksi. Jos tämä liitos on puutteellinen, esimerkiksi isolaatio- tai keskeismodulaatiovaatimukset eivät täyty. Joissakin tapauksissa kotelon seinämää käytetään ulkojohtimena, jolloin sen tasaisuus, puhtaus ja pinnoitteet ovat sähkönjohtavuuden kannalta merkittäviä asioita.

Rungon ja kannen pinnoitteena voidaan käyttää kerroksittain kuparia (Cu) ja hopeaa (Ag) tai pelkästään kuparia (Cu). Sähköiseen suorituskyykyyn tarvittava pinnanvahvuus määräytyy signaalin uppoumalla, eli silloin kun signaali kulkee sähköä johtavassa pinnoitteessa, saavutetaan hyvän suorituskyykyyn taso. Painevalu on edelleen varteen otettava menetelmä, kun kappaleet ovat monimutkaisia ja suuria, koteloon integroitava elektroniikka vaatii omat muodot ja kiinnitysmahdollisuudet tai valmistettavan tuotteen volyyymi on suuri.

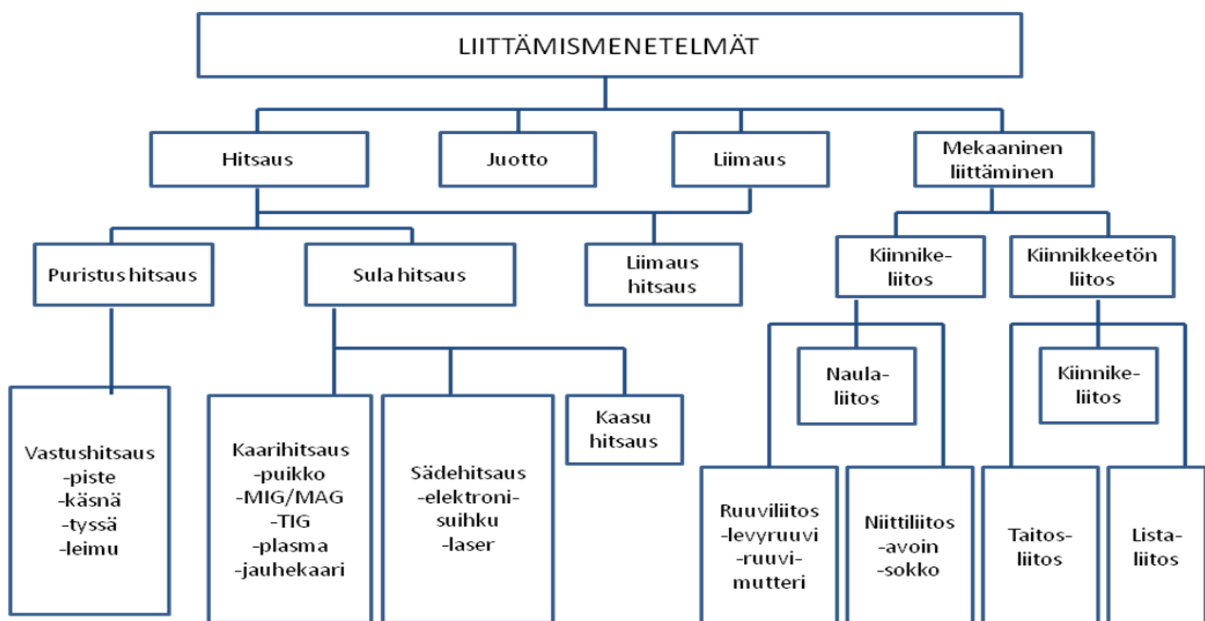
## 2.3. Alumiiniprofiilit ja kylmäpursotetut kotelot

Telekommunikaatioalalla suuntaus on nykyisin entistä keveimpiin ja halvempiin ratkaisuihin niin raaka-aineen kuin menetelmien osalta. Telekommunikaatioalalla tarvittavaa ontelorakenteista kotelomuotoa voidaan valmistaa myös alumiinista suulakepuristamalla (alumiiniprofiilit) ja kylmäpursottamalla. Näillä valmistusmenetelmillä seinämien pinta on huomattavasti sileämpi kuin painevalumenetelmällä. Näissä menetelmissä käytetään raaka-aineena likimain puhdasta alumiinia (Al 99 %), jolloin sähköjohtavuus parempi verrattuna valumateriaaliin ja puhtaan alumiinin päälle muodostuva oksidikalvo suojaa korroosiolta. Seinämäpaksuudet ovat molemmilla

menetelmillä pienempiä kuin painevaletulla menetelmällä tuotetulla kotelolla. Esimerkiksi kylmäpursotetuissa koteloidissa päästää noin 1 mm seinämäpaksuuteen.

### 3 LIITTÄMISMENETELMÄT

Liitosmenetelmien päämenetelmät ovat hitsaus, juotto, liimaus ja mekaaninen liittäminen. Liitosmenetelmät voidaan ryhmitellä kuvan 2 mukaisesti.



KUVA 2. Liittämismenetelmien ryhmittely (2, s. 15)

#### 3.1 Hitsaus

Hitsaus on alumiinin yleisin liittämissen menetelmä. Alumiinia voidaan hitsata useimmilla tunnetuilla hitsausprosesseilla. Kaasukaarihitsausprosessien (MIG- ja TIG-hitsaus) kehittäminen 1940-luvulla lisäsi huomattavasti alumiinin käyttöä eri teollisuuden aloilla. Hitsausprosessien kehittyminen jatkuu edelleen ja uusia prosesseja tulee myös alumiinin hitsaukseen. Alumiinin erityispiirteitä ovat keveys, matala sulamispiste, hyvä sähkön- ja lämmönjohtavuus sekä suuri lämpölaajeneminen, jotka vaikuttavat omalla tavallaan hitsaukseen. Lisäksi alumiinin hapettumistaipumus on suuri ja vedyn liukoisuus sulaan alumiiniin erittäin suuri. Näiden

alumiinille tyypillisten ominaisuuksien tunteminen on edellytys onnistuneelle hitsaukselle. (3, s. 56 - 79.)

Puhdas alumiini ja alumiiniseokset eroavat toisistaan joissakin ominaisuuksissa mm. siten, että alumiiniseosten lämmönjohtavuus ja sähkönjohtavuus ovat noin puolet puhtaan alumiinin arvoista. Puhtaalla alumiinilla on täsmällinen sulamispiste (Al 99.98: 660 °C), jossa se sulaa ja jäähmettyy. Alumiiniseoksilla on ns. puuroalue (jäähmettymisalue), jolloin seosten jäähmettyminen tapahtuu laajemmalla lämpötila-alueella, esim. ALMg5: 625 - 590 °C. Pieni tiheys (ominaispaino) eli keveys ei suoranaisesti vaikuta hitsaukseen, mutta se helpottaa materiaalien ja kappaleiden käsittelyä. Alumiinin keveys edistää oksidisulkeumien jäämistä hitsiin, koska alumiinioksidi on huomattavasti raskaampaa kuin alumiini. Esimerkiksi alumiinin ominaispaino on (Al) 2,7 kg/dm<sup>3</sup> ja alumiinioksidin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) on 3,7 kg/dm<sup>3</sup>. Alumiinin sulamislämpötila on matala, mikä vaikuttaa pienentävästi hitsauksessa tarvittavaan lämpömäärään. Lämpötilan johtoluku eli diffuusiokerroin (lämmönjohtavuus / tiheys \* ominaislämpökapasiteetti) kuvaa lämpökentän leviämistä (m<sup>2</sup>/s) materiaalissa. (3, s. 56 - 79.)

Yhteenvedona voidaan todeta, että hitsauksessa tarvittavaan lämpömäärään vaikuttavat pääasiassa sulamispiste, ominaislämpö, sulamislämpö ja lämmönjohtavuus. Ominaislämmöllä (J/kg°C) tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan nostamaan metallin lämpötilaa yhdellä asteella. Sulamislämmöllä (J/g) tarkoitetaan sitä lämpömäärää, joka tarvitaan sulamislämpötilassa saamaan aikaan metallin sulaminen ilman lämpötilan nousua. (3, s. 56 - 79.)

Alumiini hapettuu ilman vaikutuksesta herkästi, minkä tuloksena alumiinin pinnalle muodostuu hyvin ohut oksidikalvo (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), jolla on moninainen vaikutus hitsaukseen:

- Oksidikalvo on kova ja sitkeä.
- Oksidi on painavampaa kuin alumiini, mistä syystä oksidikalvon palaset vajoavat helposti hitsisulassa alaspäin ja aiheuttavat hitsausvirheitä, oksidisulkeutumia ja liitosvirheitä.
- Oksidin sulamispiste on huomattavan korkea (Al: 660 °C ja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2050 °C), minkä takia se ei sula hitsauksessa.
- Oksidikalvo on hygroskooppinen eli sitoo itseensä helposti kosteutta, josta vapautuu vetyä hitsauksessa.
- Oksidikalvo hydratoituu (vedyttyy) helposti, mikä on myös vedyn lähde hitsauksessa.

- Oksidikalvo on sähköinen eriste, mikä voi haitata hitsausta. (3, s. 56 - 79.)

Vaikka oksidikalvo on erittäin ohut, se on riittävä suojaamaan muuten niin aktiivista alumiinia korroosiolta monissa eri olosuhteissa. Oksidikalvo on läpinäkyvä ja paksuus on tyypillisesti muutama nanometri, 2–5 nm. (3, s. 56 - 79.)

Kun määritetään hitsattavuutta, on otettava huomioon tuotteen kokonaisuus. Tämä käsittää rakenteelliset vaatimukset, perusaineen ominaisuudet, valmistuksen asettamat vaatimukset ja rajoitukset. Jos hitsausmenetelmä voidaan valita vapaasti, saadaan parempi hitsattavuus. Standardi DIN 8528 jakaa hitsattavuuden kolmeen osaan eli perusaineen, rakenteelliseen ja valmistekniseen hitsattavuuteen. Kuvassa 3 on esitetty näiden käsitteiden riippuvuus toisistaan. (4, s. 37.)



KUVA 3. Hitsattavuuskäsite (4. s. 34)

### 3.1.1 TIG-hitsaus

Lyhenne TIG tulee englanninkielisistä sanoista Tungsten Inert Gas (volframi, inertti, kaasu). Valokaari palaa sulamattoman volframielektronin ja työkappaleen välissä inertin suojakaasun ympäröimänä. Suojakaasu suojaa hitsisulan kuumaa elektrodin kärkeä hapettumiselta. TIG-hitsausta voidaan tehdä käyttäen lisäainetta tai myös ilman lisäainetta. Lisäaine syötetään joko käsin tai langansyöttölaiteella. (3, s. 101 - 103.)

TIG- hitsauksen etuja ovat mm.

- hyvä sulan ja tunkeuman hallinta
- hitsaus mahdollista ilman lisäainetta
- hyvin pienet hitsausvirrat mahdollisia
- ohuiden ainepaksuuksien hitsaus mahdollista
- hyvä valokaaren pintapuhdistuskyky
- kuonaton ja juoksutteeton hitsausprosessi
- hyvähitsin ulkonäkö ja muoto
- hyvä hitsin tiiveys
- ei roiskeita
- kätevyys.

Haittoja ovat mm.

- hitsaus eli pieni tuottavuus suuret railojen täyttämässä
- suhteellisen pieni lämmöntuonti ja siitä johtuvat muodonmuutokset. (3, s. 101 - 103.)

### 3.1.2 MIG/MAG-hitsaus

Lyhenne MIG tulee englanninkielistä sanoista Metal Inert Gas (metalli, inertti, kaasu). Valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välissä. Suojakaasu voi olla MIG/MAG-hitsauksessa inertti (reagoimaton) tai aktiivinen. Kun suojakaasu on inertti, prosessia kutsutaan MIG-hitsaukseksi ja kun se on aktiivinen, prosessia kutsutaan MAG-hitsaukseksi. Alumiinin kuten muidenkin ei-rautametallien hitsaus on MIG-hitsausta, koska käytettävä suojakaasu on inerttiä suojakaasua, argonia tai argonin ja heliumin seoskaasua. (3, s. 119 - 123.)



MIG-hitsauksen etuja ovat mm.

- tehokas ja tuottava helppo mekanisoida
- kuonaton ja juoksutteeton hitsausprosessi
- hyvä valokaaren pintapuhdistuskyky
- hitsaus kaikissa asennoissa mahdollinen.

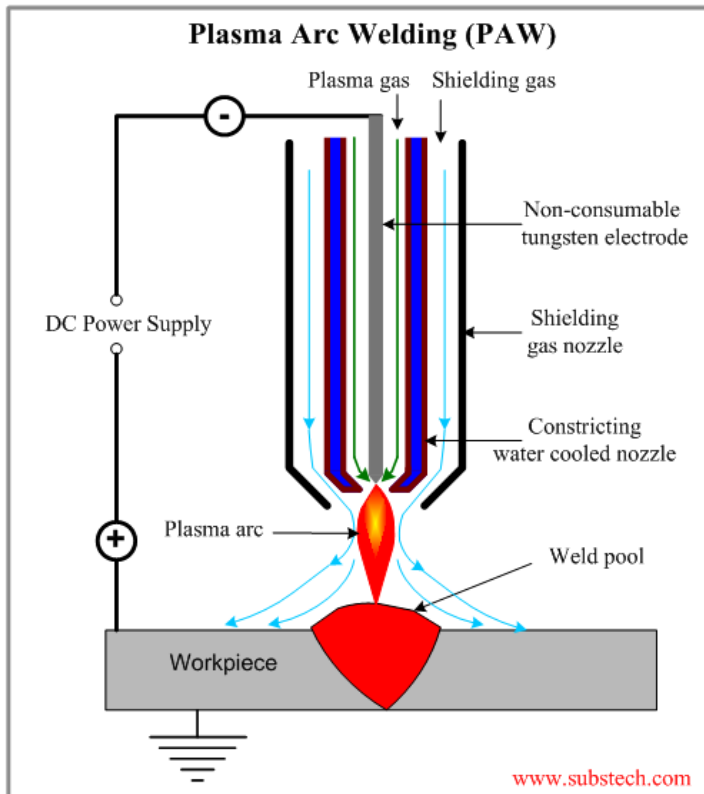
Haittoja ovat mm.

- arkuus huokosille
- luoksepäästävyys hitsauskohteeseen voi olla rajoitettu
- rajoitettu soveltuvuus ohuille aineille. (3, s.119 - 123.)

### **3.1.3 Plasmahitsaus**

Plasmahitsaus on kaarihitsausta, jossa pääasiallisena lämmönlähteenä on kaaren muodostama plasma. Plasmahitsaus kuuluu kaasukaari menetelmiin, kuten TIG- ja MIG/MAG-hitsausmenetelmät. Plasman käyttö niin hitsauksessa kuin termisessä hitsauksessakin on yleistynyt lähinnä menetelmän tehokkuuden ja nopeuden ansiosta.

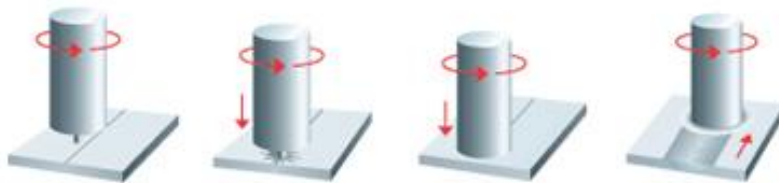
Liitoshitsauksessa erotetaan kaksi menetelmää, jotka ovat lävistävä ja sulattava plasmahitsaus. Lävistävä plasmahitsauksessa, ns. keyhole-hitsaus (avaimenreikähitsaus), jossa plasmaliekki puhaltaa reiän hitsausrailoon ja reiän sulanut takareuna muodostaa hitsisauman. Menetelmää käytetään lähinnä automaattihitsauksessa. Sulattava plasmahitsauksessa, ns. melt-in-hitsaus, jossa railopinnat sulatetaan yhteen ilman läpi menevää reikää. Hitsaus muistuttaa TIG-hitsausta. Plasmahitsaus soveltuu kaikkien muiden hitsattavien materiaalien kuin alumiinin ja magnesiumin käsittelyyn. Yleisemmin menetelmää käytetään ruostumattomien terästen hitsaukseen. (5, s.268.) Kuvassa 4 kuvattu plasmahitsauslaite ja -menetelmä.



KUVA 4. Plasmahitsausmenetelmä (6)

### 3.1.4 Kitkahitsaus pyörivällä työkalulla

Prosessia kutsutaan usein myös FS-hitsaukseksi tai FSW-hitsaukseksi englanninkielisen nimen Friction Stir Welding mukaan. FC-hitsauksessa lieriömäinen ja olakkeellinen työkalu, jossa on muotoiltu kärkiosa (tappi) pyörii ja tunkeutuu hitaasti ilman ilmarakoa olevien kappaleiden saumaan. Kappaleiden on oltava tiukasti kiinnitettyinä alustaansa ja puristettuna toisiaan vasten, koska railo ei saa aueta hitsauksen aikana. Työkalun kulkiessa railossa eteenpäin pehmentynyt metalli siirtyy ("virtaa") työkalun etupuolelta työkalun sivuitse sen taakse, jonne syntyy kiinteäntilan yhteenliittyminen metallin jäähtyessä. Työkalu kulkee eteenpäin hieman taaksepäin kallellaan ns. työntävässä asennossa, ja työkalun olkapää painaa pehmeätä metallia alaspäin. Kappaleet eivät kuumene niin korkealle, että ne alkaisivat sulaa, vaan hitsissä jäädään hyvin alle sulamispisteen (kuva 6). Lämpötila on korkeimmillaan 450 - 500 °C. Tästä syystä FS-hitsaus on kiinteän tilan hitsausprosessi. Pienten kappaleiden FS-hitsauslaitteistot muistuttavat melko paljon jyrsinkoneita. (3, s.163 - 167.)



KUVA 5. Kitkahitsausmenetelmä (7)

Oleellisia eroja ja etuja kaarihitsaukseen verrattuna ovat seuraavat:



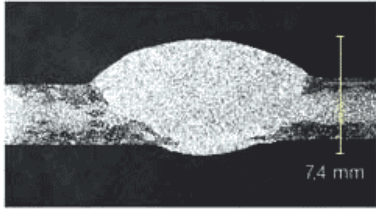
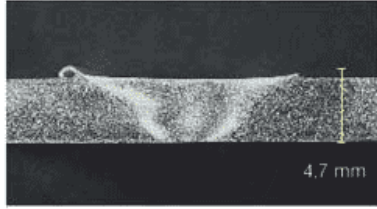
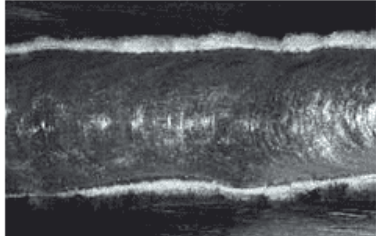
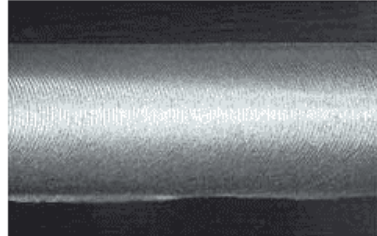
- ei tapahdu sulamista, ei seosaineiden palohäviöitä, ei huokosia, ei kuumahalkeilua
- ei tarvita lisäaineita ja suojakaasua
- pintojen esivalmistelu vähäistä, esim. ei tarvita oksidikalvon poistamista
- ei railon viistämistä
- läpihitsautuvuus yhdellä palolla noin 50 mm
- hitsausasento ei vaikuta hitsaustapahtumaan
- pieni energian kulutus
- äärimmäisen vähän hitsausvirheitä
- erinomainen hitsin tiiveys
- hitsinpinta sileä ja perusaineen tasossa ilman jälkikäsittelyä
- hitsausliitoksen hyvät mekaaniset ominaisuudet ja väsymyskestävyys
- ei synny hitsaussavuja ja säteilyä

- vaikeasti sulahitsattavien eripariilitosten hitsaus mahdollista
- erittäin pienet muodon muutokset
- hitsatun tuotteen suuri tuotteen mittatarkkuus. (3, s.163 - 167.)

FS-hitsauksen haittoja ja rajoituksia ovat seuraavat:

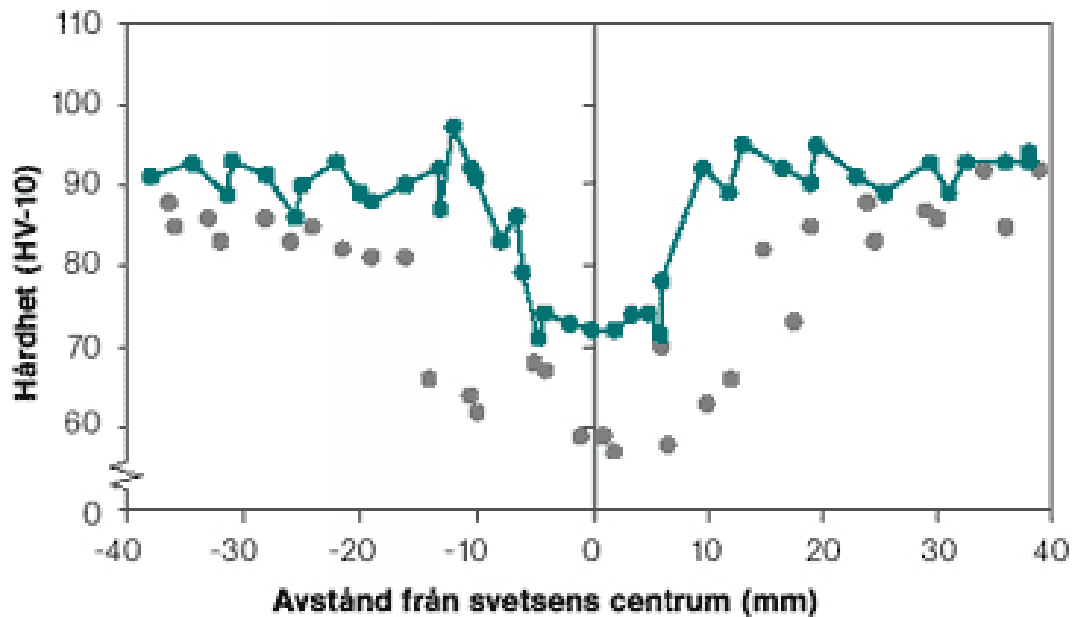
- ohuilla aineenpaksuuksilla hitaampi kuin kaarihitsaus
- kappaleiden kiinnitys pitää olla erittäin tukeva ja pitävä
- erittäin suuret investoinninkustannukset
- hitsauksen lopetuskohtaan jää lopetusreikä
- levyjen oltava saman paksuisia, vaikka tietty toleranssi sallitaan
- hitsaus aina mekanisoitua. (3, s.163 - 167.)

Kitkahitsausprosessin tuloksena on, että sauma on homogeeninen ja aukoton ilman sulkeumia. Kitkahitsausprosessissa on muuttujia vähän verrattuna monimutkaiseen sulahitsaukseen, kuten MIG-hitsaus. Kuvassa 6 on esitetty MIG-hitsauksen ja kitkahitsauksen saumojen rakenteet.

	MIG-hitsaus	Kitkahitsaus (FSW)
Hie pala		
Poikkileikkaus hitsisaumasta		
Hitsisauma päältä katsottuna		

KUVA 6. MIG -ja kitkahitsaussaumojen rakenteet (7, s. 26)

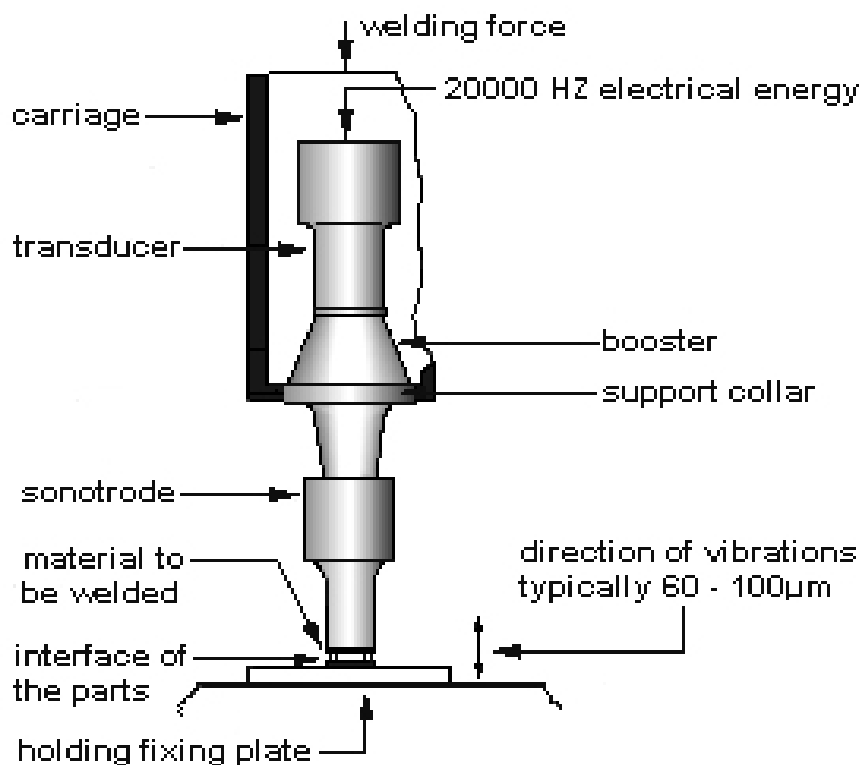
Hitsaussauman kovuus sidoksessa molemmissa tapauksissa lämpösiintymä alueella kovuus pienenee, mutta MIG-hitsauksessa tämä ilmiö on voimakkaampaa. Tämä johtuu siitä, että MIG-hitsauksessa työlämpötila on huomattavasti korkeampi ja hitsausprosessissa käytetään lisäainetta.. Kuvassa 7 on kuvattu mittaustulokset; harmaa: MIG-hitsaus, vihreä: kitkahitsaus. (7).



KUVA 7. MIG- ja kitkahitsatun sauman kovuus, (Vickers) (7)

### 3.1.5 Ultraäänihitsaus

Ultraäänihitsaus on kitka- ja puristehitsauksen yhdistelmä. Ultraäänilaitteen suurtaajuinen värähtely, 15 - 20 kHz, muunnetaan mekaaniseksi värähtelyksi, joka johdetaan kappaleeseen. Työkappaleiden pinnat muovautuvat värähdellessään vastakkain, ja ne voidaan varsin pienellä puristusvoimalla saattaa niin tiiviiseen kosketukseen, että atomien väliset voimat liittävätkin ne yhteen. Hitsauskohdan on oltava erityisen puhdas. Kuvassa 8 on esitetty ultraäänihitsauslaite ja sen toiminta. (5, s. 270 - 271.)



An ultrasonic welding system for joining thermoplastics

KUVA 8. Ultraäänihitsauslaite ja -menetelmä (8)

Ultraäänihitsauksella voidaan liittää toisiinsa erilaisia metalleja ja metalliseoksia, esimerkiksi ruostumatonta terästä alumiiniin. Menetelmä soveltuu alle 3 mm paksujen levyjen päällekkäisliitoksien hitsaukseen. Ultraäänihitsausta käytetään myös muovien hitsauksessa. (5, s. 270 - 271.)

### 3.1.6 Diffuusiohitsaus

Monet aineet, joiden liittämien on vaikeaa tai mahdotonta tavallisilla hitsausmenetelmillä, voidaan liittää diffuusiohitsauksella. Diffuusiohitsauksessa kaksi metallipintaa saatetaan niin läheiseen kosketukseen toistensa kanssa, että atomien väliset voimat alkavat vaikuttaa pintojen välissä. Atomeja siirtyy pinnasta toiseen. Liitettävät pinnat ovat koko ajan kiinteässä tilassa, ja pintojen tulee olla ehdottoman puhtaat. Diffuusiohitsaus suoritetaan yleensä tyhjiössä tai sopivan suoja kaasun vaikuttaessa. Hitsauspaine saadaan aikaan hydraulisella puristimella. Hitsattavia kappaleiden lämmittäminen parantaa hitsautuvuutta ja lämmittäminen tapahtuu usein induktiivisesti. (5, s.271.)

### **3.1.7 Laserhitsaus**

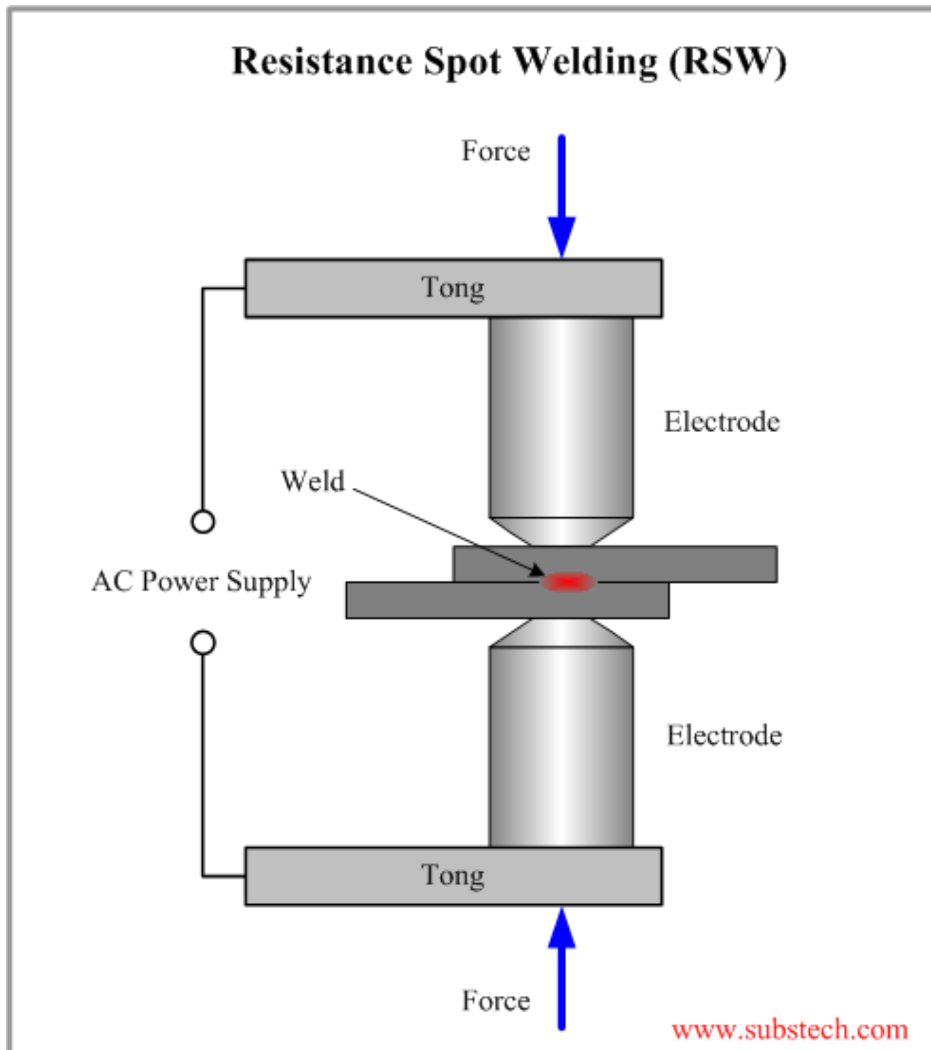
Laserhitsaus on sädehitsausmenetelmä, jossa hitsausenergia siirtämiseen käytetään lasersädettä. Menetelmä on nopea, tehokas, joustava ja helposti automatisoitavissa. Energiaa tiiviisti keskittävä laser tekee syvän ja kapean hitsin. Hitsiin tuodaan lämpöä vain pieni osa siitä, mitä esimerkiksi TIG- tai MIG-hitsauksessa. Hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset ovat siten vähäisiä. Seostamattomat, niukasti seostetut ja normaalit ruostumattomat teräkset sekä titaani soveltuu hyvin laserhitsaukseen. Alumiinin hitsaus on laserilla vaikeampaa, koska alumiini heijastaa suuren osan valoa takaisin. Muita laserilla vaikeasti hitsattavia materiaaleja on kupari, hopea ja kulta. Laserhitsauksessa sula on suojattava sopivalla suojakaasulla, useimmiten käytetään puhdasta argonia. (5, s. 272 - 273.)

### **3.1.8 Induktiohitsaus**

Menetelmää käytetään pääasiassa pituussaumojen hitsaukseen, esimerkiksi putkien pituussauman. Induktiokela saa aikaan pyörrevirtoja, jotka kuumentavat railon kyljet hitsauslämpötilaan. Hitsautuminen tapahtuu, kun putken särmät puristetaan yhteen. Magneettisydämen tehtävänä on vahvistaa magneettikenttää. Suurtaajuinen virta voidaan johtaa kulkemaan myös työkappaleen läpi, jolloin se kulkiessaan kuumentaa railon reunat. Tällöin on kysymyksessä suurtaajuusvastushitsaus. (5, s. 273 - 274.)

### **3.1.9 Vastushitsaus**

Vastushitsaus perustuu vastuslämmön ja puristuksen käyttöön osien liittämässä toisiinsa. Sähkövirta kulkee virtapiirissä vastuksena olevien liitettävien työkappaleiden kosketuskohdan läpi, jolloin vastuslämpöä kehittyy liitoskohdassa. Kun kappaleet puristetaan toisiinsa, tapahtuu pehmenneiden ja osittain sulaneiden pintojen yhteenliittyminen (kuva 9). (9.)



KUVA 9. Pistehitsausmenetelmä (10)

Yleisimmät vastushitsausmenetelmät ovat seuraavat (9):

- pistehitsaus
- käsnähitsaus
- kiekkohitsaus
- leimuhitsaus
- tyssähitsaus.



### 3.1.10 Alumiinin ja alumiiniseosten hitsaus ja korrosio

Alumiinin ja alumiiniseosten korroosiokestävyys on yleensä melko hyvä ilmastossa, makeissa vesissä, merivedessä, useimmissa maaperissä, useissa elintarvikkeissa ja kemikaaleissa. Alumiiniseoksia ei yleensä tarvitse erikseen suojata ja pinnoittaa näissä ympäristöissä. Alumiinin ja alumiiniseosten korrosio potentiaali useimmissa vesiliuoksissa on samaa luokkaa, joten seosten yhteenliittäminen ei aiheuta galvaanisen korroosion vaaraa. Poikkeuksen tästä tekee Al-Cu-seokset ja Al-Zn-Mg-seokset sekä muutamat valuseokset, joista Al-Cu-seokset ovat katodisia ja Al-Zn-Mg-seokset ovat anodisia muihin alumiiniseoksiin verrattuna. (11, s. 1 - 9.)

Alumiinin ja alumiiniseosten yleiseen korroosioikäytymiseen vaikuttavat seosten sisältämät epäpuhtaudet. Erityisesti kupari ja rauta epäpuhtautena, kupari myös seosaineena, heikentävät alumiinin korroosiokestävyyttä mm. lisäämällä pistesyöpymätaipumusta. (11, s.1 - 9.)

Useimmissa käyttöolosuhteissa saadaan hitsattujen alumiinirakenteiden korroosiokestävyys perusmateriaalia vastaavaksi, lukuun ottamatta muutamia alumiiniseoksia. Hitsattujen alumiinirakenteiden korroosiokestävyyteen vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

- hitsauslisäaineen koostumus verrattuna perusmateriaaliin
- hitsin sula-alueen ja perusmateriaalin väliset rakenteelliset erot
- seosaineiden erottuminen hitsisulan jäähtyessä
- lämpövyöhykkeellä ylivanhemiselta johtuvat erkautumisreaktiot
- hitsausvirheet kuten huokoisuus, liian pieni tunkeuma tai hiushalkeamat.

Yleisesti hitsin jälkikäsitteily tulee suorittaa huolellisesti sekä epäpuhtaudet ja hapettumat tulee poistaa hitsistä ja sen ympäristöstä. (11, s.1 - 9.)

### 3.2 Juotto

Juotto on metallikappaleiden yhteenliittämismenetelmä, jossa kappaleita eli perusaineita ei sulateta, vaan liitos saadaan aikaan sulattamalla liitokseen lisäainetta. Lisäaineen koostumus on erilainen ja sulamislämpötila matalampi kuin perusaineen. Juottaminen eroaa hitsaamisesta siinä, että hitsattaessa sekä perusaine että lisäaine ovat sulassa tilassa, mutta juottaessa

perusaine kuumennetaan vain ns. työlämpötilaan, jossa lisäaine (juote) sulaa, mutta perusaine pysyy kiinteänä. (5, s. 64 - 66.)

Liitoskohdassa juote ja perusaine seostuvat siten, että sulan juotteen molekyylit tunkeutuvat lämpöliikkeen vaikutuksesta perusaineeseen. Ilmiötä nimitetään diffuusioksi. Juotteen jäähtyessä ja jäähmettyessä syntyy liitos. Juottamalla tehdyn liitoksen lujuus riippuu perusaineesta, juotteen lujuudesta ja liitostyypistä. Juottomenetelmät jaetaan tavallisesti kolmeen ryhmään:

1. pehmeäjuotto
2. kovajuotto ja
3. railoitu (hitsausjuotto). (5, s. 64 - 66.)

Jakoperusteena on toisaalta juottamislämpötila ja toisaalta juotoksen syntymistapa. Kun jakoperusteena on lämpötila, rajana pidetään 450 °C:ta. Pehmeäjuotto suoritetaan alle 450 °C:n lämpötilassa. Kova- ja railoitu suoritetaan yli 450 °C:n lämpötilassa. (5, s. 64 - 66.)

Syntytapansa perusteella juotokset jaetaan kahteen ryhmään, kapilaarijuottoon ja railoituun. Kapilaarijuotossa sula juote tunkeutuu kapilaarivoiman vaikutuksesta työkappaleiden väliseen ahtaaseen ilmarakoon. Railoituissa lisäaine sulatetaan myötähitsausta muistuttavalla tavalla avoimeen railoon. (5, s. 64 - 66.)

### **3.2.1 Pehmeäjuotto**

Pehmeäjuotto on juottamista lisäaineilla, jotka sisältävät pääasiassa tinaa ja lyijyä ja joiden sulamislämpötila on alle 450 °C. Nykyään elektroniikka teollisuudessa on kuitenkin lyijy kielletty ROHS-direktiivillä, uusimmissa lisäaineissa lyijy on korvattu muilla aineilla. Yleisimmät juotos lämpötilat ovat välillä 170 - 300 astetta. Menetelmää käytetään liittäessä toisiinsa samasta metallista tai eri metalleista valmistettuja kappaleita silloin kun työkappaleen lämpötila ei saa nousta korkeaksi ja kun liitoksen ei tarvitse kestää kovaa rasitusta eikä korkeita lämpötiloja. (5, s. 66 - 67.)

Eri metalleista valmistettuja kappaleita liittäessä on olemassa sähkökemiallisen korroosion vaara. Se on sitä suurempi, mitä kauempana toisiaan liitettävät metallit ja juote ovat

sähkökemiallisessa jännitesarjassa. Pehmeäjuotto voidaan tehdä joko kapilaari- tai railojuottona. (5, s. 66 - 67.)

### **3.2.2 Kovajuotto**

Kovajuotto on juottamista kapilaarimenetelmällä käyttäen juotteita, joiden työmenetelmä on yli 450 °C. Juotteen sulamislämpötila on pienempi kuin liitettävien kappaleiden aineen sulamislämpötila. Menetelmä on hyvin yleinen ja käyttökelpoinen, koska kappaleita kuumennetaan vain vähän, joten muodonmuutoksien vaarakin on pieni. Lisäksi liitokset ovat melko lujia. Menetelmä on nopea ja halpa. Kovajuottamalla voidaan liittää useimpia tavallisia metalleja, kuten terästä, valurautaa, kuparia, messinkiä pronssia ja alumiinia. Myös eri metalleja voidaan liittää toisiinsa. (5, s. 69 - 70.)

Liitos kuumennetaan työlämpötilaan useimmiten normaaleilla kaasuhitsausvälineillä, siis asetyleenihappiliekillä. Suursarja tuotannossa kuumentamiseen käytetään varta vasten rakennettuja laitteistoja, joissa kuumennus tapahtuu kaasuliekillä, sähkövastuksella tai suurtaajuusvirralla. Liitoskohtaa on kuumennettava siten, että koko liitos saavuttaa työlämpötilan samanaikaisesti. Juokutteet menettävät tehonsa kuumennettaessa, joten kuumentaminen on suoritettava melko nopeasti. (5, s. 69 - 70.)

### **3.2.3 Railojuotto**

Juottaminen tehdään sulk- tai avo- tai pienarailoon myötähitsausta muistuvalla tavalla. Menetelmää nimitetään tämän takia usein hitsausjuotoksi, vaikka ei olekaan kysymys hitsaamisesta vaan juottamisesta. Perusainetta ei sulateta, ainoastaan kuumennetaan hiukan yli juotteen sulamislämpötilan. Railojuotto on vähentynyt hitsausmenetelmien kehittyessä. Se on kuitenkin varteenotettava liittämismenetelmä silloin, kun liitetään toisiinsa eri metalleja tai liitettävät kappaleet eivät siedä hitsauksen korkeaa lämpötilaa ja sen aiheuttamia aineen kiderakenteen ja muodon muutoksia. (5, s. 72 - 73.)

Railojuotto sopii erityisesti valurautaisten kappaleiden korjaamiseen joissakin tapauksissa, koska lämmöntarve on vähäisempi kuin hitsatessa. Kappaleen rikkoontumisen vaara tästä syystä on pienempi. (5, s.72 - 73.)

### **3.3 Liimaliitos**

Liimaus on ainesulkeinen liitos kuten hitsaus ja juottokin. Se soveltuu metallien lisäksi myös useimmille epämetallisille aineille. Liimausta käytetään myös yhdessä ruuviliitoksen, pistehitsauksen tai niittiliitoksen kanssa, jolloin liimaus lisää liitoksen lujuutta ja samalla estää korroosion limi- ja hakaliitosten välillä (12, s. 37). Pitkäaikaisessa käytössä on otettava huomioon liimasauman ominaisuuksien muuttuminen ajan mukana (viruminen yms.). Liimoja on olemassa sähkö- ja lämpöeristäviä ja niitä johtavia. Johtavilla liimoilla sähkönjohtavuus ei kuitenkaan ole metalli-metalliliitoksen luokkaa.

Liimaliitoksen tyypillisiä sovelluskohteita ovat seuraavat:

- jäykisteiden kiinnitys ohutlevyseinämiin
- kevytrakenteet lentotekniikassa
- ns. sandwich-rakenteet ja niiden liitokset
- puurakenteet
- puhaltimien siipipyörät
- jarrujen ja kytkimien kitkapintojen kiinnitys
- ruuvien ja muttereiden lukitus. (12, s. 37.)

#### **3.3.1 Liimauksen edellytykset**

Alumiini onkin eniten liimattu metalli. Lentokoneteollisuudessa sitä on käytetty jo 1940-luvun puolivälistä alkaen ja tänään liimausta käytetään lentokoneiden kantavissa rakenteissa. Näissä ne ovat osoittautuneet luotettavammaksi kuin vanhat niittikonstruktiot. Liiman pitokyvyn määrää molekyylien välinen vetovoima, jonka suurin ulottuma on vain 0,5 nm (= 0,0005 µm). Vähäisimmätkin pintakerrostumat, joiden paksuus ylittää tämän tai joiden lujuus ei ole riittävä, estävät liimauksen onnistumisen. Liiman pitää kastella liimattavat pinnat ja liiman pintajännityksen tulee olla alhaisempi kuin liimattavien materiaalien. Muutoin liima muodostuu pisaroiksi kappaleiden pinnalle. (7, s.17 - 18.)

### 3.3.2 Liimatyyppin valinta

Liimasaumat antavat suhteellisen tasaisen jännitysjakautuman sauman alueelle, mutta kuitenkin epätasaisuutta on ja suurimmat jännitykset keskittyvät sauman reunoille. Mitä kovempi liima valitaan, sitä suurempi jännityshuippu. Valinnalla voidaan vaikuttaa, käytetäänkö kovempia liimoja vai halutaanko lisätä lujuutta suurentamalla liimauspintoja. Liimat voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin sen mukaan, miten ne kovettuvat:

- a) kuivuvat liimat, joiden kovettuessa liuotinaineet häviävät
- b) jähmettyvät liimat, esimerkiksi sulaliimat jähmettyvät lämpötilan laskiessa
- c) kovettavat liimat, jotka kovettuvat hapen vaikutuksesta. (7, s.20.)

Liimasaumat kestävät alumiinirakenteissa niin kuin alumiinioksidikerros alumiinin pinnalla kestää. Kuivassa käyttöympäristössä voi käsittelemättömällä alumiinilla saavuttaa eriomaisen liimaustuloksen. Sen sijaan ulkokäytössä ja varsinkin merenrannikolla käyttöikä voi jäädä lyhyeen. Liimasauman kestävyys muodostuu kuormituksen, lämpötilan ja ympäristön yhteisvaikutuksesta. (7, s. 20.)

### 3.4 Ruuviliitos

Käyttötapaansa mukaan ruuvit voidaan jakaa kiinnitys ja hakaruuveihin. Ruuviliitos on irrotettava liitos, jonka suosio perustuu seuraaviin etuihin:

- helppo asentaa
- oikein käytettynä luotettava
- voidaan käyttää monenlaisissa olosuhteissa
- standardiruuvit ovat halpoja.

Pahimmat haitat ovat seuraavat:

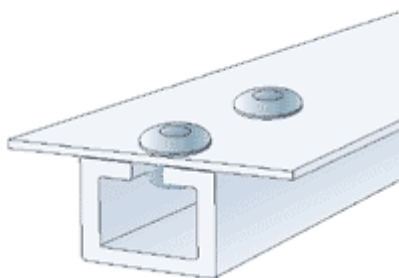
- ruuvien epäjatkuvuuskohdat aiheuttavat suuret jännityshuiput
- luotettavuus (väsymislujuus ja kiinnipysyminen) riippuvat kiritysmomentista, joka vaikeasti hallittavissa
- korrosio perusaineen ja ruuvi materiaalin välille. (12, s. 37.)

### 3.5 Niittiliitos

Niittiliitos on suhteellisen ohuiden metalli- ym. osien liittämismenetelmä. Teräsrakennetoissa sen syrjäyttää nykyään usein hitsaus ja lentokoneenrakennuksessa liimat. Niittiliitosta on kuitenkin käytetty silloin, kun sen on kestävä räsitystä ja oltava tiivis. Niittilajeja on hyvin monenlaisia. Ne eroavatkin toisistaan lähinnä raaka-aineen ja alkukannan muodon perusteella. Niitin raaka-aine voidaan valita perusaineen mukaan ja eri aineita yhdistettäessä epäjalompi metalli syöpyy kosteissa olosuhteissa. (13, s. 69 - 70.)

#### 3.5.1 Pop-niitti

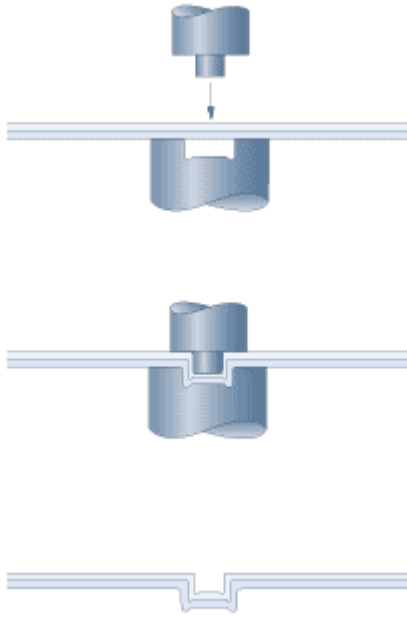
Pop-niitti on työkaluineen saatavissa helposti ja edullisesti. Se on laipallinen lieriö niitti, jonka sisällä on kara. Kara vedetään asentotyökalun avulla poikki, jolloin niitti puristaa kaksi levyä toisiinsa (kuva 10). Niitti voidaan avata poraamalla se pois. Niittien ongelmana on usein vuoto niittireikien läpi. (7, s. 16.)



KUVA 10. Pop-niitit asenneltuna (7, s.16.)

#### 3.5.2 Niittaus ilman niittiä

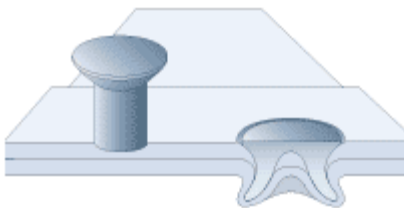
Niittaus voidaan tehdä myös ilman niittiä. Niittaus tehdään työkalulla painamalla ylävastimella alavastimeen niin liitettävät levyt muokkaantuvat kuvan 11 mukaisesti. (7, s.16.)



KUVA 11. Niittaus ilman niittä (7, s.16.)

### 3.5.3 Self-niitti

Niittaus voidaan tehdä myös yksipuolisilla niiteillä (self-niitti). Se puristetaan plastisesti päällykslevyn läpi, jolloin niitti muotonsa ohjaamana leviää läpäisemättä alemmaa levyä (kuva 12). Liitos on tiivis. (7, s.16).



KUVA12. Niittaus self-niitillä (7, s. 16)

### 3.6 Kitkaliitokset

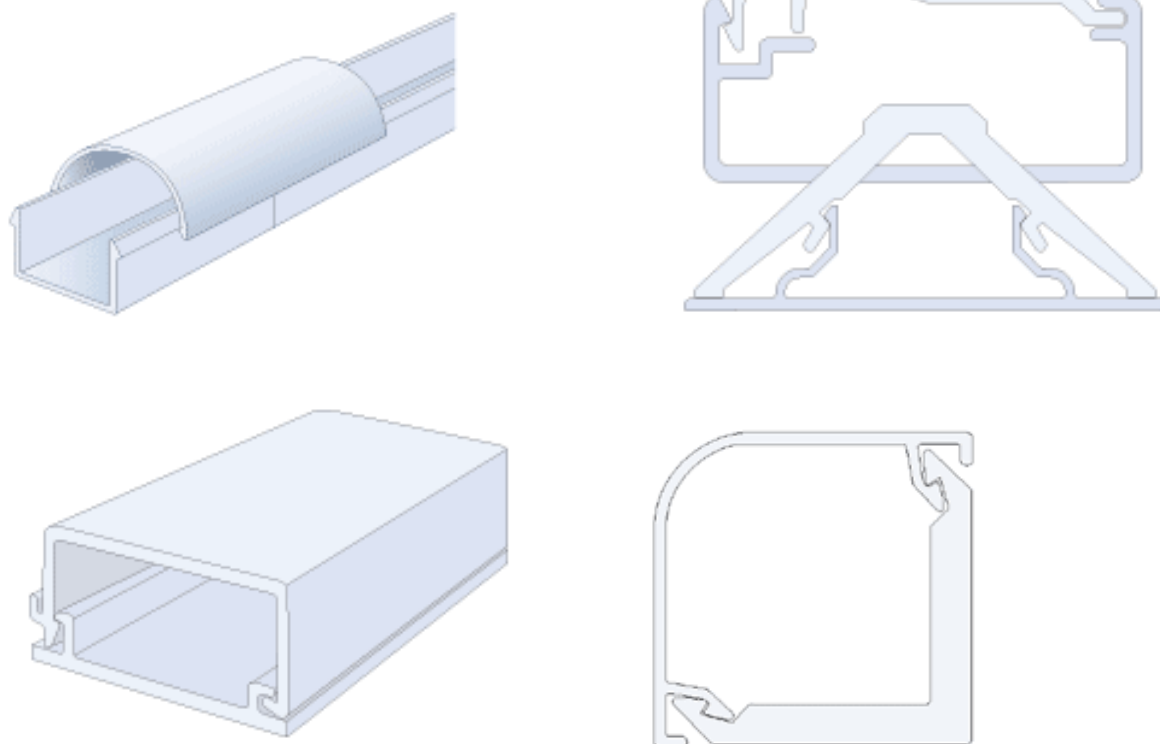
Kitkaliitokset voidaan jakaa kahteen ryhmään, puristus- ja kutistusliitoksiin. Puristusliitos on helpompi valmistaa ja yleisempi kuin kutistusliitos. Puristusliitoksessa painetaan esim. akseli paikalleen laakeriin puristimella. Puristusliitoksen pintojen on oltava sileät ( $R_a \sim 1,6 \mu\text{m}$ ), sillä

epätasaisuudet tasoittuvat asennettaessa ja purettaessa, jolloin puristusvoima ei ehkä ole enää riittävä. (13, s. 73 - 74.)

Kutistusliitoksessa uloimpaa osaa lämmitetään, jolloin osa laajenee. Vastaavasti sisempää osaa voidaan jäähdyttää, jolloin se kutistuu. Tällöin asennus voidaan tehdä ilman suurta asennusvoimaa. Osien lämpötilojen palattua normaalilämpötilaan on kutistuminen ja laajeneminen synnyttänyt kutistusliitoksen. (13, s. 73 - 74.)

### 3.7 SNAP-liitokset

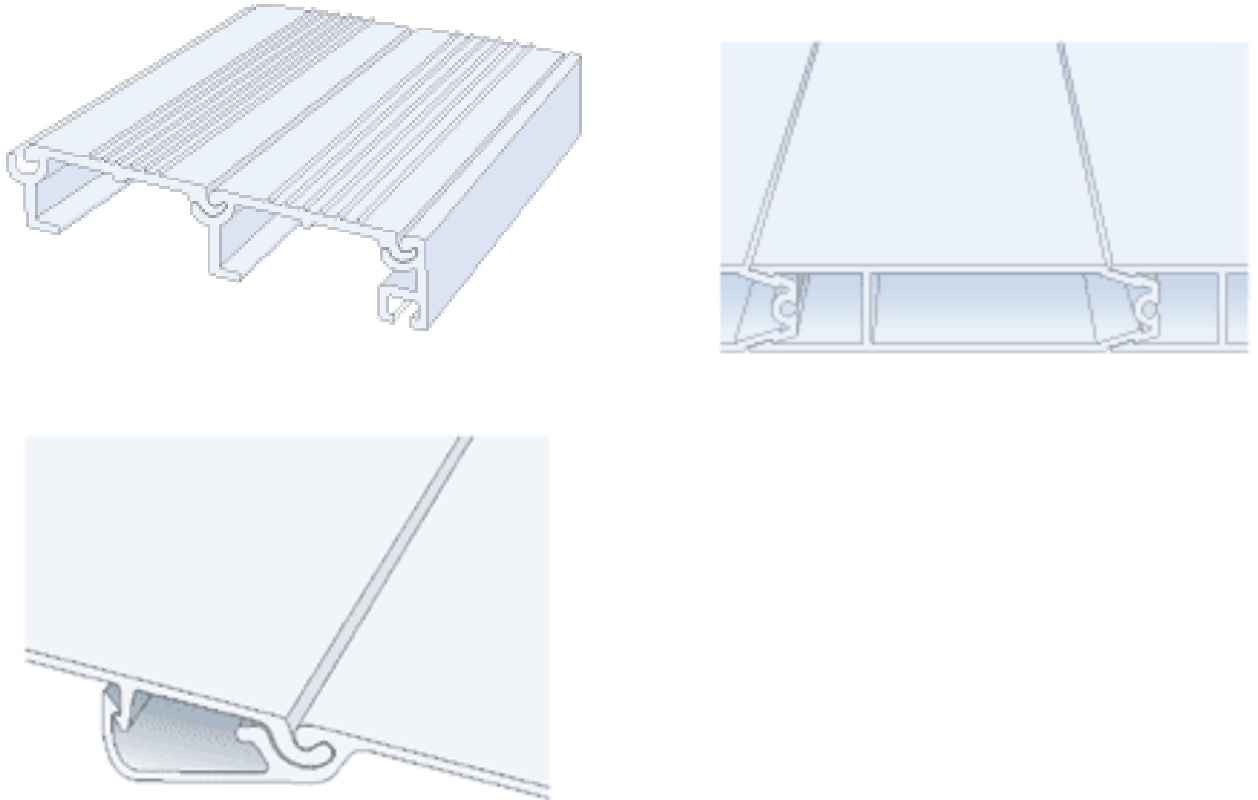
Alumiiniprofiileissa käytetään laajasti SNAP-liitoksia eri teollisuuden aloilla. SNAP-liitoksia on kahdenlaisia, kiinteitä ja nivelliitoksia. Nämä liitokset ovat kokoonpanossa hyvin nopeita verrattuna esimerkiksi ruuvi- tai hitsausliitoksiin. Alumiinin kimmoisuus soveltuu hyvin SNAP-liitoksien jousimaiseen rakenteeseen. Useimmat tällaiset liitokset ovat uudelleen avattavissa. Liitokset suunnitellaan ja ratkaistaan tapauskohtaisesti lukituksen, jousipaineen ja toleranssien kannalta (kuva 13). (7, s. 4 - 5.)



KUVA 13. Erilaisia SNAP-liitoksia (7, s. 4 - 5)



Suuremmat poikkipinta-alueet voidaan saada aikaan liittämällä useita profiileja yhteen. Tämä ratkaisu on hyvin taloudellinen ja usein valittu, koska se on helpompi työstää pienempiä profiileja erikseen kuin yksittäistä koko rakennetta (kuva 14). Liitokset voidaan lisäksi myös liimata, sulatai kitkahitsata.



KUVA 14. Liitettyjä profiilirakenteita (7, s.7)

## 4 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Kennomaisten koteloiden käyttökohteita on monenlaisia auto- ja telekommunikaatioteollisuuden aloilla. Koteloiden ympäristöolosuhteet vaihtelevat sisätiloista todella vaativiin kohteisiin, esimerkiksi tehtaiden lähistöllä oleviin asennuskohteisiin. Kotelorakennetta suunniteltaessa ja siihen liittyvällä ympäristön mekaniikalla täytyy varmistaa korroosion estäminen, kotelon valmistusprosessi, koontivalmistus ja siihen liittyvä logistiikka, laitteen kokoonpanokriteerit, tarve laitteen uudelleen avauksen mahdollisuudelle kustannukset, loppukäyttäjän vaatimukset sekä kotelon ja kannen pinnoitteet.

Kartoitettujen menetelmien perusteella voidaan kotelon liittämismenetelmistä sulkea pois sulahitsausmenetelmät, kuten TIG, MIG, plasma, laser ja kova- ja railoitu, koska suuri mahdollisuus liitoksen epätäydelliseen tuotokseen on olemassa. Mahdolliset kuona- tai lisäainejäämät liitettävien aineiden sisä- tai ulkopuolella, mahdollisten pinnoitteiden kärsiminen ja suuri lämmöntuonti voivat muokata perusaineita siten, että jännitystilojen jääminen komponentteihin on suuri. Myös diffuusiohitsauksen prosessi, suojakaasuineen, kovan paineen järjestäminen liitokseen ja liitettävien kappaleiden lämmittäminen voidaan pois sulkea vartenotettavista liitosmenetelmien mahdollisuuksista. Induktiohitsaus on tarkoitettu pitkittäisten kappaleiden, kuten putkien pituussaumojen hitsaukseen ja vastushitsaus levymäisten kappaleiden yhteenliittymiseksi.

Mahdollisia liitosmenetelmiä ovat kitkahitsaus pyörivällä työkalulla (FSW), ultraäänihitsaus, pehmeä juotto, liimaus, niittaus, kitka- ja SNAP-liitos. Liitoksen mekaaniset ja sähköiset vaatimukset huomioiden soveltuvat liitokset voidaan valita sopiva menetelmä.

Taulukkoon 1 on pisteytetty työn alussa määriteltyjä kriteereitä eri liitosmenetelmistä.

Pisteet, 1=suuri riski, 5=pieni riski

TAULUKKO 1, liitosmenetelmien vertailu vaadittuja kriteereitä vastaan

	Perusaineen muokkaantuminen	Liitosmenetelmän laadun- tuottokyky	Korroosio riski	Viruminen (vanheneminen)	Partikkelien lohkoutumis / irtoamis riski	Isolaatio (liitoksen mahdollinen elektromagneettinen vuoto)	Yhteensä
Kitkahitsaus	3	5	5	5	5	5	28
Ultraäänihitsaus	5	4	5	5	5	4	28
Pehmeäjuotto	5	3	4	5	4	5	26
Liimaliitos	5	3	4	4	5	2	23
Niittiliitos	4	4	4	4	4	4	24
Kitkaliitos	3	3	5	4	3	5	23
SNAP-liitos	5	3	5	2	4	2	21
Ruuviliitos (REF)	4	5	4	5	4	5	27

Taulukosta 1 käy selville, että nykyisen ruuviliitoksen vaihtoehtoiseksi liitosmenetelmäksi taulukossa kuvatuilla kriteereillä sopisivat kitkahitsaus, ultraäänihitsaus ja ehkä myös pehmeä juotto. Vaihtoehtoisissa liitosmenetelmissä on hyvin erilaiset prosessit suorittaa liitos niin, että kunkin menetelmän suuret edut ja pienet haitat siirtyvät myös tuotettavan laitteen ominaisuuksiin. Pinnoitteen tarve ja laitteen korjattavuus on huomioitava liitosmenetelmää valittaessa.

Alumiini ja sen käyttö lisääntyy, prosessit kehittyvät niin koteloiden valmistuksen suhteen kuin liitosmenetelmien alalla. Liitosmenetelmien yhdistäminen voisi olla tulevaisuudessa joissakin kohteissa kannattavaa. Voidaan esim. ultraääni- tai kitkahitsata tai liittää niittausliitoksella osa liitoksista ennen kuin tehdään koontilinjalla moduuliasennuksia. Koonnan loppuvaiheessa suljetaan kotelon loput avoimet aukot pienemmillä kansilevyillä kiertämällä, liimaamalla, puristamalla tai kitkaliitoksella.

Kitkahitsausliitoksen suuri läpihitsautuvuus, luotettavuus ja lisääaineettomuus ovat suuria etuja. NC-ohjattavalla koneella liitos kohdat ovat hyvin automatisoitavissa. Kitkahitsausmenetelmä sallii

monenlaiset liitostyypit ja voidaan tehdä hyvinkin muualla kuin kokoonpanolinjalla esimerkiksi konepajalla. Kitkahitsauksen liitoksen edut tulee huomioiduksi kotelon osittain sulkemisella. Osittain suljetun kotelon pinnoittamismahdollisuus säilyy, kun avaukset ovat tarpeeksi suuria. Tällöin myös uudelleen avauksen mahdollisuus tulee huomioiduksi, kun voidaan ottaa vain paikallisesti kotelon päältä pienempi kansi irti paikallistetun vian kohdalta. Tämä myös hyvin selkeä säästö kohde, koska aikaisemmin täytyi ruuvata koko kannen kaikki ruuvit irti korjauksen ajaksi. Tarvittavan kitkahitsauslaitteiston investointi voidaan tehdä kokoonpanoa valmistavan yksikön alihankintana, jolloin kustannukset voivat jakaantua monelle toimijalle.

Toinen selvä jatkomietinnän kohde voisi olla sellainen, jossa yhdistetään pehmeäjuotoksen juote ja hitsauksen lämmöntuonti. Hitsausprosessin lämmön lähteellä saataisiin hyvin paikallinen lämpötilan nousu nopeasti ilman hidasta esilämmitystä suurellekin kotelorakenteelle. Juotteen sulamispiste on 170–300°C eli varsin matala hitsausprosesseihin verrattuna. Juotosprosessi vaatii hyvän liitoksen aikaansaamiseksi tarpeelliset pito ja jäähdytysajat. Prosessin hallintaan saaminen ja seuranta ja siinä pysyminen mahdollistavat hyvin automatisoitavan kustannustehokkaan tuotannon. Uudelleenavaus mahdollisuus on tällä menetelmällä haasteellisempaa, koska liitoksen avaus vaatii uudelleen lämmittämisen, osien puhdistuksen ja liitoksen uudelleen tekemisen. Pehmeäjuotosprosessi vaatii pinnoitetut osat, jotka tuovat myös oman haasteensa siten, että pinnoitteet säilyvät virheettöminä.

Liitokselle asetettuja vaatimuksia voi olla vaativia ja vaatimattomampia. Vaativiin metalli-metalliliitoksiin edellä kuvatut menetelmät sopii varsin hyvin. Vaatimattomampiin liitoksiin voi olla mahdollista käyttää myös SNAP-liitoksia, joiden etuna on nopeus, edullisuus ja uudelleen avattavuus. Liitoksen luotettavuutta voidaan parantaa esimerkiksi liimaamalla tai ruuvilla.

## 5 YHTEENVETO

Työssä kartoitettiin mahdolliset liitosmenetelmät alumiinisten kennorakenteisen kotelon ja kannen liitosmenetelmiä ja pohdittiin, kuinka liitoksia voisi tulevaisuudessa kehittää niin kokoonpanon, luotettavuuden, korroosion kuin valmistusprosessinkin kannalta kriittisiä vaatimuksia vastaan. Työssä tuotiin esille varteenotettavia menetelmiä, mahdollisuuksia löytyi hitsauksesta, juotosta, liimauksesta ja niittauksesta.

Työssä kerrotaan, että aikaisemmin pääsääntöisesti käytössä olleen ruuviliitoksen vaihtoehdoksi voitaisiin ehdottaa erilaisia liitosmenetelmiä tai niiden yhdistelmiä. Puristushitsausmenetelmien todettiin soveltuvan hyvin myös elektroniikkateollisuuden tarpeisiin. Sulahitsaus- ja kovajuotosmenetelmät koettiin epäsoveliaana haittaominaisuuksien vuoksi liitoksien tuottamiseksi.

Kun laitetta suunnitellaan ja huomioidaan kotelon ja kannen valmistamisen menetelmä, voidaan myös huomioida liitosmenetelmien tai niiden yhdistelmien prosessien edut ja rajoitteet. Liitosmenetelmän valinta on kytköksissä olennaisesti kotelon ja kannen muotoon, painoon, laitteen sisäisiin ja ulkoisiin vaatimuksiin. Laitteen suorituskyky optimoitaessa kriittisiä vaatimuksia vastaan voidaan siis myös valita liitosmenetelmä, jotka voivat olla nykyistä ruuviliitosta soveltuvampia ja kokonaisedullisempia vaihtoehtoja.

## LÄHDELUETTELO

1. Meiskanen, S. & Höök, T. 2009. Valuatlas, suunnittelijan perusopas. Hakupäivä 7.9.2012. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas\\_02.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/perusopas_02.pdf).
2. Lukkari, J. 1998. Hitsaustekniikka, Perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Opetushallitus.
3. Lukkari, J. 2001. Alumiinit ja niiden hitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.
4. Lepola, P. & Makkonen, M. 1998. Hitsaus ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.
5. Katainen, H. & Mäkinen, A. 1989. Aineliitostekniikka. Porvoo: WSOY.
6. Kopeliovich, D. Plasma Arc Welding. Hakupäivä 3.10.2012  
[http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=plasma\\_arc\\_welding\\_paw](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=plasma_arc_welding_paw)
7. Joining aluminium. Sapa Profiles UK Ltd. Hakupäivä 11.9.2012  
<http://www.aluminiumdesign.net/design-support/joining-aluminium/>
8. EWF. 2007. Ultrasonic\_welding. Hakupäivä 3.10.2012.  
[http://www.ewf.be/media/documentosDocs/doc\\_73\\_technical\\_sheet\\_-\\_ultrasonic\\_welding\\_.pdf](http://www.ewf.be/media/documentosDocs/doc_73_technical_sheet_-_ultrasonic_welding_.pdf)
9. Vastushitsaus. 2009. ESAB. Hakupäivä 7.9.2012.  
<http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-resistance-welding.cfm>
10. Kopeliovich, D. Resistance Welding. Hakupäivä. 3.10.2012  
[http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=resistance\\_welding\\_rw](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=resistance_welding_rw)
11. Rönholm, M. Alumiinin ja seosten hitsaus ja korroosio. Helsinki: MET

12. Kivioja, S. 1993. Konetekniikka. Espoo: Otatieto.

13. Ansaharju, T. & Maaranen, K. 1998. Koneenasennus. Helsinki: WSOY.