TAE-AKATEMIA
EST
2016

Tervetuloa Tae-Akatemiaan

Teollinen taonta valmistusmenetelmänä -verkkokurssilta saat hyvät perustiedot takeiden valmistuksesta, ominaisuuksista, suunnittelusta, materiaaleista ja jatkokäsittelystä.
Tämä kurssi on suunnattu erityisesti konepajateollisuuden opiskelijoille, ostajille ja suunnittelijoille.

Tae-Akatemian tarjoaa Memar Oy. Vuonna 1980 toimintansa aloittanut Memar Oy on keskittynyt teollisuuden sopimusvalmistukseen. Memar Oy:n Pirkkalan ja Toijalan yksiköt keskittyvät lämpökäsittelyyn ja taontaan, Virrat ja Seinäjoki puolestaan koneistukseen.

www.memar.fi

MEMAR

Sisällysluettelo

1. Mitä on teollinen taonta 2
2. Miksi kannattaa valita tae? 11
3. Taonnan teknologia 30
4. Taottavat materiaalit 63
5. Takeen suunnittelu 1 74
6. Takeen suunnittelu 2 109
7. Takeiden kustannukset ja toimitus 132
8. Lämpökäsittelyt 146
9. Hitsattavuus 162
10. Standardit 169

TAE-AKATEMIA

EST 2016

1

Mitä on teollinen taonta?

Taonta on valmistusprosessi, jossa metallia muokataan määrättyyn muotoon ja kokoon vasaroilla, puristamalla tai valssaamalla.

Takomalla voidaankin muotoilla monenlaisia metalleja. Tyypillisiä teollisessa taonnassa käytettyjä metalleja ovat hiiliteräs, seosteräs ja ruostumaton teräs.

Takomalla metallia siis muokataan plastisesti haluttuun geometriseen muotoon, mikä antaa sille paremman väsymiskestävyyden ja lujuuden.

Taontaprosessilla voidaankin tuottaa osia, joilla on erinomaiset mekaaniset ominaisuudet ja hävikki on vähäistä.

Taonta luokitellaan usein kylmä-, lämmin- tai kuumamuokkaukseksi sen lämpötilan mukaan, jossa taontaa suoritetaan.

Teollisessa taonnassa on usein kyse kuumamuokkauksesta, jossa taontaa tehdään niin korkeassa lämpötilassa, että metallissa tapahtuu rekristallisaatio eli uudelleenkiteytyminen.

Takomalla päästäänkin suuriin mittareduktioihin ilman, että metalli lujittuu.

Takomisella saavutetaan myös monia muita etuja, kuten esimerkiksi valussa muodostuneet suuren raekoon pienentyminen.

Teollinen taonta eroaa perinteisestä sepän työstä lähes kaikilta osin. Teollisessa taonnassa kappaleita valmistetaan sarjatuotantona mittatarkasti, tarkkojen materiaalimäärittelyjen ja standardien mukaan.

Kappaleiden koot voivat vaihdella muutamista grammoista tuhansiin kiloihin ja sarjamäärät kymmenistä kymmeniin tuhansiin, mutta myös yksittäiskappaleet ovat mahdollisia.

Teollisessa taonnassa käytettävät laitteet on mitoitettu sarjatuotantoa silmällä pitäen.

Kuumennus tapahtuu yleensä joko kaasu-uuneilla tai induktiokuumentimilla.

Taonta tapahtuu sähkö-, paineilma- tai hydraulikäyttöisillä koneilla, kuten vasaroilla ja puristimilla.

TAE-AKATEMIA

EST 2016

2

Miksi kannattaa valita tae?

- Taonnan eduista
- Takeen materiaaliominaisuudet
- Takeilla kevyempiin rakenteisiin
- Jatkokäsittelymahdollisuudet

Taonnan eduista

Taonnassa kappaleen syyrakenne muovautuu kappaleen muotojen mukaiseksi, jolloin taotulle kappaleelle eli takeelle saavutetaan hyvä lujuus ja sitkeys.

Taonnassa käytettävää materiaalia voidaan hyödyntää taloudellisesti, koska taonnan materiaalihäviö on pieni koneistukseen verrattuna.

Esimerkiksi suorissa tangoissa materiaalisäästö saattaa olla joissakin tapauksissa jopa yli 50% lastuamiseen verrattuna, jolloin kokonaiskustannukset alenevat merkittävästi.

Tae voi olla joko kerralla asennusvalmis tuote (valmistae) tai aihio, jonka työstämistä jatketaan lastuamalla.

Takomot myös usein lämpökäsittelevät takeet suoraan taonnan jälkeen taontalämpöä hyväksi käyttäen.

Esimerkkinä tällaisesta lämpökäsittelystä voidaan mainita suorakarkaisu, jolloin kappale upotetaan nesteeseen suoraan taonnasta.

Nokka-akselitae 100 kg
Taotusta aihiosta koneistettu valmis tuote.

Kappaleelta vaadittavat mekaaniset ominaisuudet ja raaka-aineen muovautumislämpötila määräävät taontamenetelmän. Perinteisen kuumamuokkauksen lisäksi käytettäviä menetelmiä ovat taonta puolijähmeässä tilassa, sekä kylmä- ja lämminmuokkaus, jotka tietyissä tapauksissa tarjoavat pienempiä valmistuskustannuksia.

Taotut tuotteet kilpailevat muilla rinnakkaisilla valmistusmenetelmillä valmistettujen tuotteiden kanssa. Taonnalle vaihtoehtoisia valmistustapoja ovat lastuaminen tangosta, hitsaus levyosioista ja valaminen.

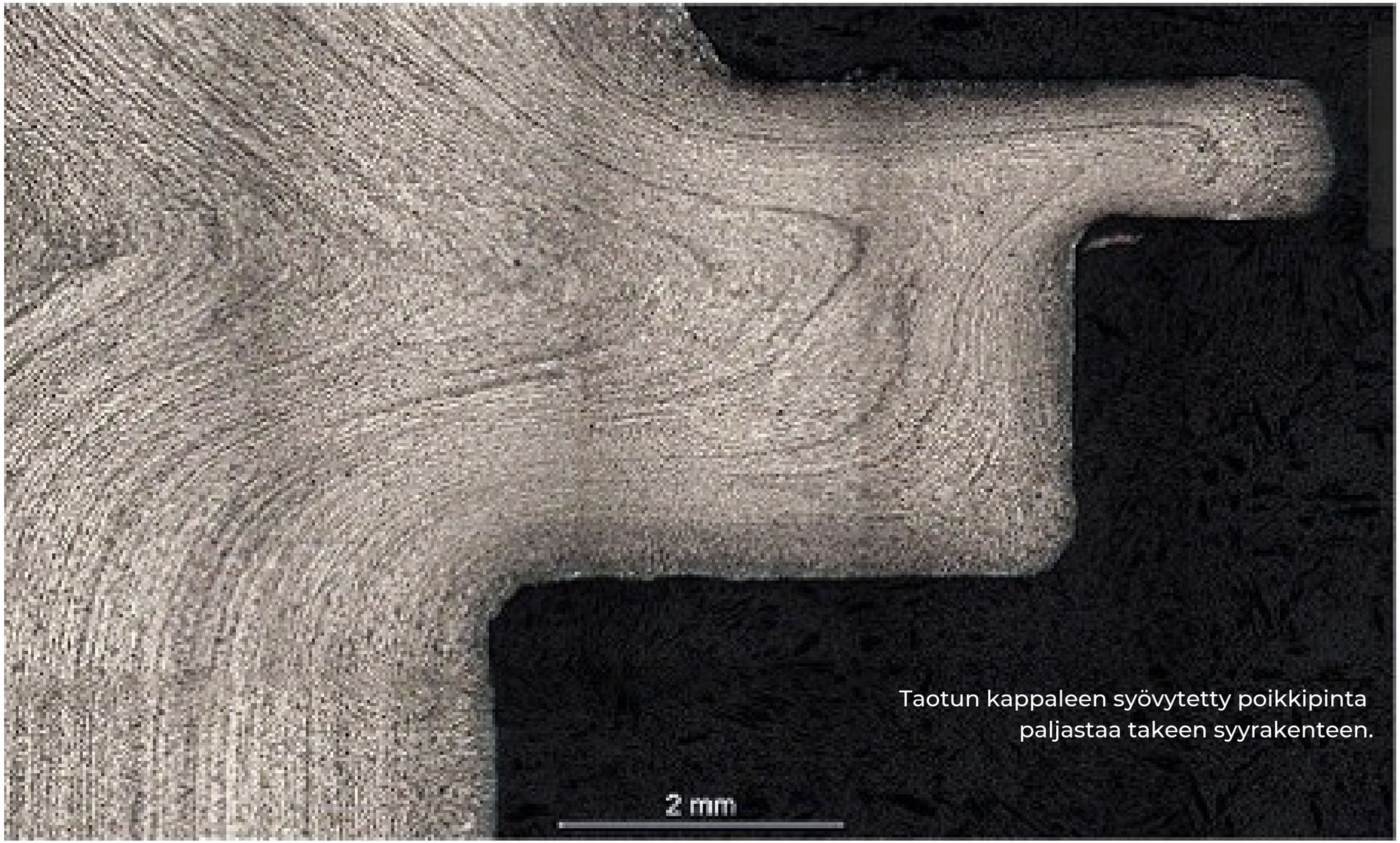
Taonnalla on etuja muihin valmistusvaihtoehtoihin verrattuna:

- Taonta on sarjatuotantomenetelmä, jolla voidaan valmistaa tuotteita, joiden materiaaliominaisuudet, tasalaatuisuus ja mittatarkkuus ovat erityisen hyviä
- Sarjakoon kasvaessa taonta on koneistusta nopeampi ja edullisempi valmistusmenetelmä
- Taontaan oleelliset liittyvät jatkokäsittelyt, kuten lämpökäsittelyt ja lastuaminen, tehdään yhä useammin takomoissa, jolloin säästetään mm. valmistus ja kuljetuskustannuksissa.

Takeen materiaaliominaisuudet

Takomisessa materiaalin virtaus tapahtuu puristusjännityksen aiheuttamana. Varsinkin muottitaonnassa materiaalin sisäinen puristusjännitys (hydrostaattinen jännitys) kasvaa hyvin suureksi, mikä tiivistää materiaalin sisäiset huokoset sekä pienentää pintavikoja.

Lisäksi taonnan materiaalin virtaus yhdessä rekristalloitumisen kanssa rikkoo suotaumia ja lisää materiaalin homogeenisuutta.



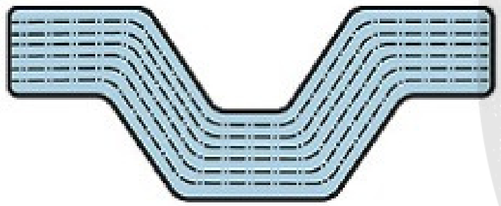
Taotun kappaleen syövytetty poikkipinta paljastaa takeen syyrakenteen.

Yksi takeen eduista on siihen syntyvä, karbidi- ym. sulkeumien sekä epäpuhtauksien hienontumisesta ja venymisestä aiheutuva, syymäinen rakenne.

Sopivalla muokkauksella aikaansaatu juoheva syyrakenne antaa takeelle ominaisuuksia, joita ei yleensä voida saavuttaa muilla valmistusmenetelmillä.

Työkalujen muotoilulla voidaan lisäksi ohjata syymäisyyttä siten, että suurin lujuus ja sitkeys saavutetaan ankarimman kuormituksen suunnassa.

Erilaisia syyrakenteita



Taottu

Työstetty

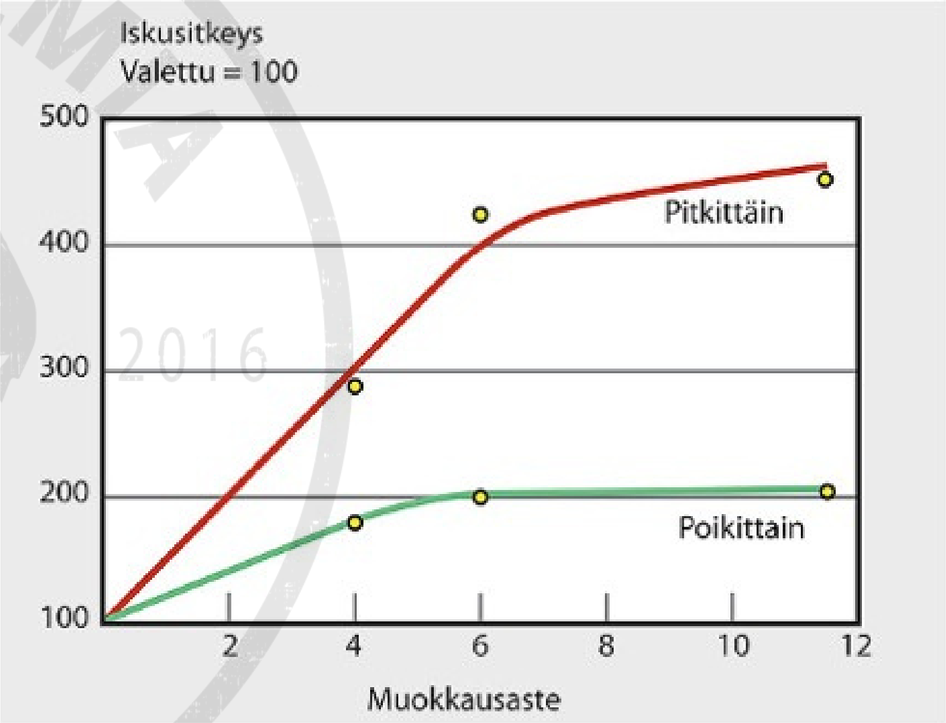
Valettu

Taonnan seurauksena materiaalilla on pieni raekoko ja erinomainen luujus/sitkeys-yhdistelmä.

Takeille on ominaista myös hyvät väsymislujuuden arvot. Väsymislujuutta voidaan edelleen parantaa kuulapuhallusta käyttäen.

Muokkauksella voidaan parantaa iskusitkeyttä verrattuna valettuun kappaleeseen. Tämä riippuu sekä muodosta että materiaalista.

Tietyn reduktion jälkeen saavutetaan arvot, jonka jälkeen ominaisuuksien parantumista ei mainittavammin tapahdu.



Taonnan vaikutus iskusitkeyteen verrattuna valettuun kappaleeseen. Sekä kappaleen muoto että materiaali voivat kuitenkin olla rajoittavia tekijöitä..

Takeilla kevyempiin rakenteisiin

Hyvät materiaaliominaisuudet, sekä suunnittelun yhteydessä aikaansaatu jäykkyyttä lisäävä muotoilu, mahdollistavat takeiden kevyemmän rakenteen verrattuna muihin valmistusvaihtoehtoihin.

Takeiden tasainen laatu sekä hyvä mittatarkkuus mahdollistavat lisäksi pienempien varmuuskertoimien käytön kappaletta suunniteltaessa.

Edellä mainitut seikat mahdollistavat huomattavan rakennemateriaalin säästön taotussa tuotteessa verrattuna esimerkiksi valettuun tai lastuamalla valmistettuun tuotteeseen.

Lisäksi takeen kevyempi rakenne johtaa usein edullisempiin käyttökustannuksiin esimerkiksi energiasäästöjen muodossa.

Laippamallinen tae, jossa materiaalisäästö voi olla jopa 70% koneistukseen verrattuna.

Jatkokäsittely-mahdollisuudet

Taontaan on perinteisesti yhdistetty myös monipuoliset jatkokäsittelyt haluttujen lujuus- ja sitkeysominaisuuksien, kulumis-kestävyyden tai lastuttavuusominaisuuksien saavuttamiseksi.

Esimerkki jatkokäsittelyvaihtoehdoista on lämpökäsittely.

TAE-AKATEMIA

EST 2016

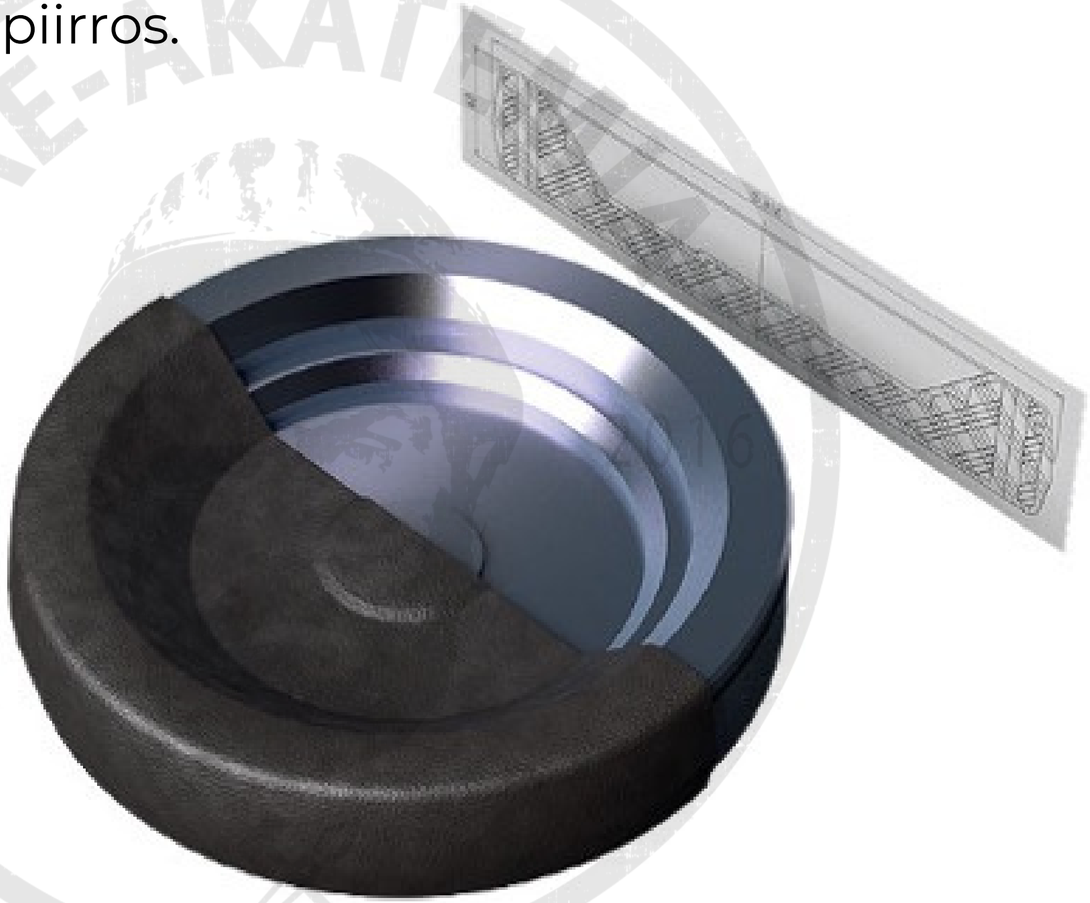
3

Taonnan teknologia

- Taonnan työvaiheet
- Taontalämpötila
- Vapaataonta
- Muottitaonta
- Tyssäys

Taonnan työvaiheet

Tae, koneistettu muoto ja mittapiirros.



Takominen voi olla joko vapaataontaa (avotaontaa) tai muottitaontaa.

Taottavat aihiot valmistetaan yleensä sahaamalla tai kylmäleikkaamalla valssatuista tangoista.

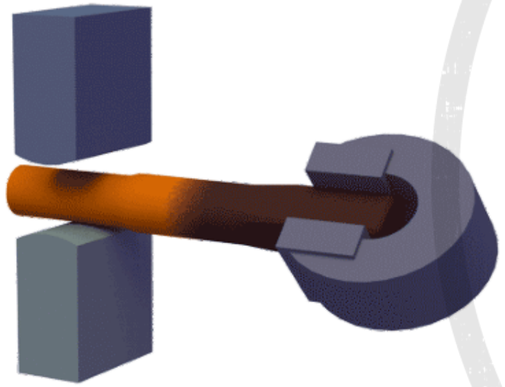
Kylmäkatkaisun jälkeen aihio kuumennetaan taontalämpötilaan.

Toisin kuin valettaessa, taonnassa ei materiaalia sulateta, vaan terästehtaalla aikaansaatu muokattu materiaalirakenne säilyy koko taontaprosessin ajan. Taonta jopa parantaa muokatulle rakenteelle tyypillisiä hyviä materiaaliominaisuuksia.

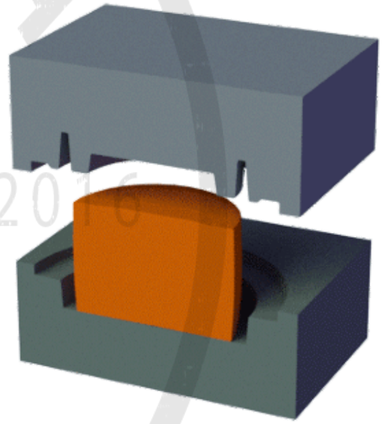
Esiaihiointia käytetään kuumennetun aihion muovaamiseen yksinkertaisin työvaihein lähelle valmiin tuotteen mittoja. Esiaihiointi tulee suorittaa siten, ettei varsinaisessa taonnassa synny taontavirheitä. Lisäksi esimuokkauksessa poistetaan kuumennusvaiheessa syntynyt hilse.

Taonnassa esiaihio taotaan yhdellä tai useammalla työiskulla tarkkamittaisen muotin määräämään muotoon. Muotti on suunniteltava ja valmistettava kestämään taonnassa siihen kohdistuvia suuria termisiä ja mekaanisia rasituksia.

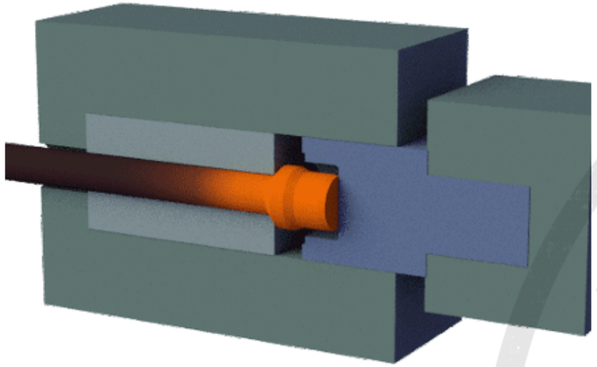
Tärkeimmät taontamenetelmät



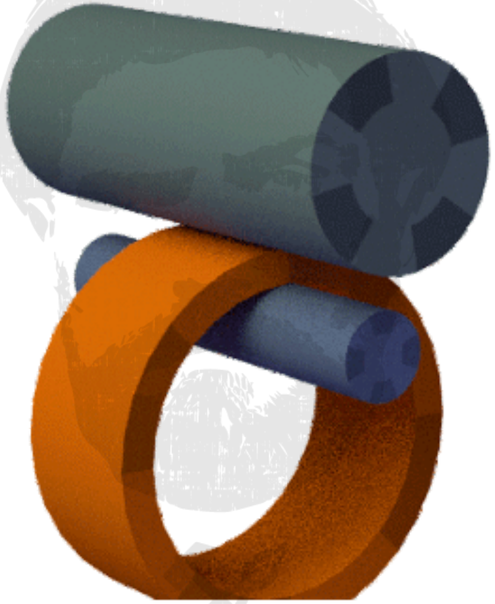
Avotaonta



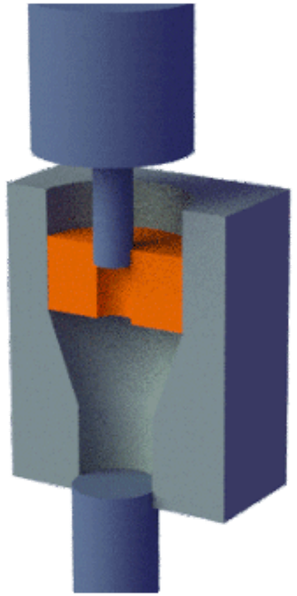
Muottitaonta



Tyssäys



Valssaus



Pursotus

TAE-AKATEMIA EST 2016

Taontalämpötila

Taonta suoritetaan yleensä:

- kuumana T > 0,6 Tm (900-1300 C)
- kylmänä T < 0,3 Tm (-450 C)

Tm = materiaalin sulamislämpötila

Taontalämpötila riippuu ennen kaikkea taottavasta materiaalista. Yleisesti ottaen metallien taottavuus paranee lämpötilan noustessa. Käytäntö asettaa kuitenkin usein rajoituksia lämpötilan nostamiselle: tapahtuu palamista tai muuten metallin pinnan turmeltumista.

Tyssäyksessä kappale yleensä induktio-
kuumennetaan vain muovattavalta alueelta.

Kuumamuokkaus

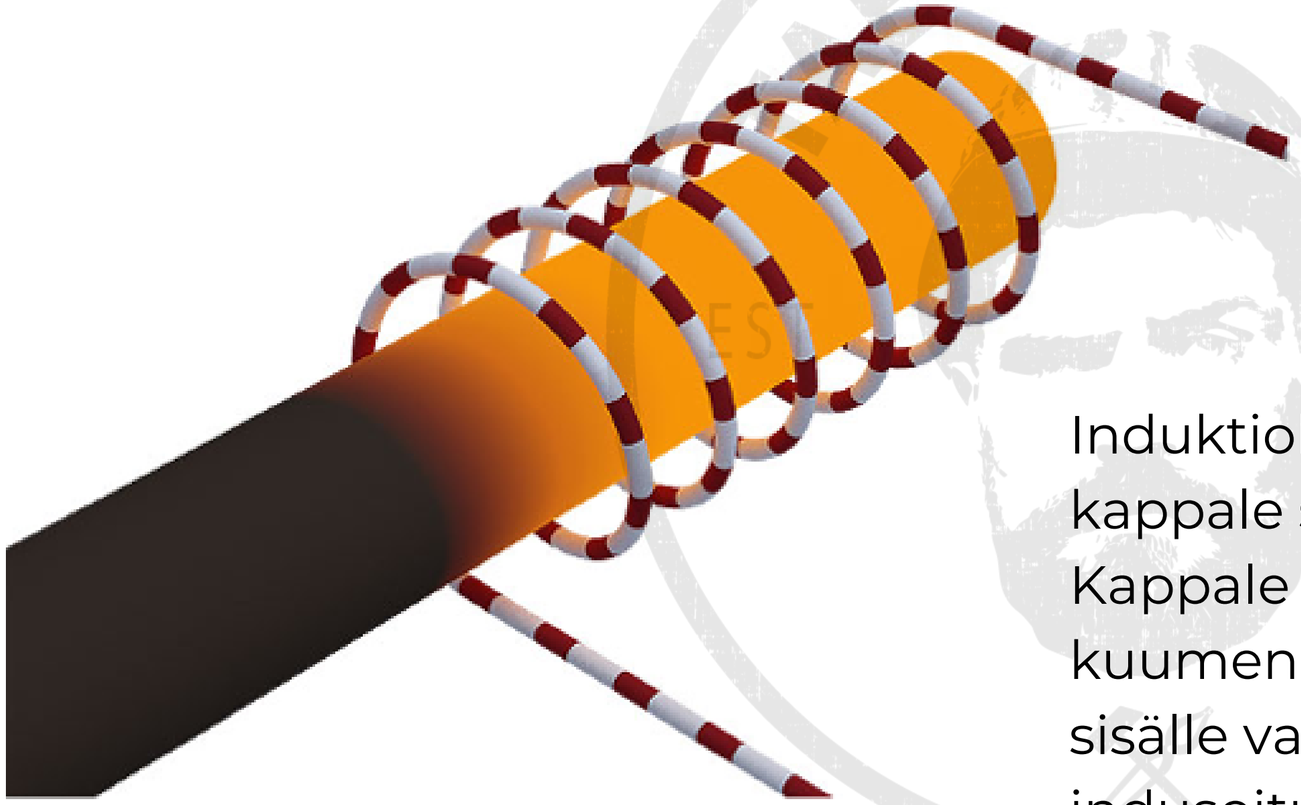
Kuumamuokkauksessa kappale kuummennetaan hehkuvaksi, jolloin se muokkautuu helpommin eikä halkeile yhtä helposti kuin kylmänä.

Edut:

- pienempi voiman tarve ja muokkausvastus
- suuri muokkausaste
- ainesäästö verrattuna koneistukseen
- materiaalin sitkeys ja lujuus

Haitat:

- karkea pinnanlaatu
- kylmämuokkausta heikompi mittatarkkuus



Induktiokuumennuksessa lämmitettävä kappale sijoitetaan kelan (eli käämin) sisälle. Kappale ei ole kosketuksissa kelaan, vaan kuumennus perustuu ensisijaisesti kelan sisälle vaihtomagneettikentässä indusoituviin sähköisiin pyörrevirtoihin.

Isot tae-aihiot kuumennetaan
kaasu-uuneissa taontalämpötilaan.

Kylmämuovaus

Kylmämuovaus suoritetaan yleensä huoneen lämpötilassa.

Edut:

- Hyvä mittatarkkuus
- Minimaalinen lastuamistarve
- Materiaalin säästö verrattuna kuumataontaan
- Suuri tuotantonopeus
- Pinnanlaatu hyvä

Haitat:

- Suuri sarjasuuruus
- Pieni muokkausaste

Vapaataonta

Vapaataonnassa työkoneina voidaan käyttää joko iskeviä vasaroita tai puristimia. Vapaataonta tarkoittaa nimensä mukaisesti sitä, ettei kappale ole suljettuna muottiin, vaan se muotoillaan puristimella tai kääntelemällä kappaletta vasaran ja alasimen välissä.

Koska vapaataonta on verraten hidasta ja saavutettava mittatarkkuus huonohko, rajoittuu sen käyttö etupäässä sellaisiin taontatöihin, joissa pieni sarjasuuruus, takeen yksinkertainen muoto tai kappaleen suuri koko tekevät muottien valmistuksen kannattamattomaksi.

Vapaataonnalla tuotettuja kappaleita voivat olla esimerkiksi valtamerilaivojen kampiakseli- tai potkuriakseliaihiot, jotka ovat liian suuria tehtäviksi muottitakeena.

Vapaataontaa käytetään myös pienempien takeiden valmistuksessa esiaihiointimenetelmänä. Tällöin kappale muotoillaan avotaonnalla alustavasti muotin muotoja vastaavaksi, paremman täytön aikaansaamiseksi.

1 Kuumennus

Aihio kuumennetaan kaasu-uunissa takolämpötilaan.

2 Taonta

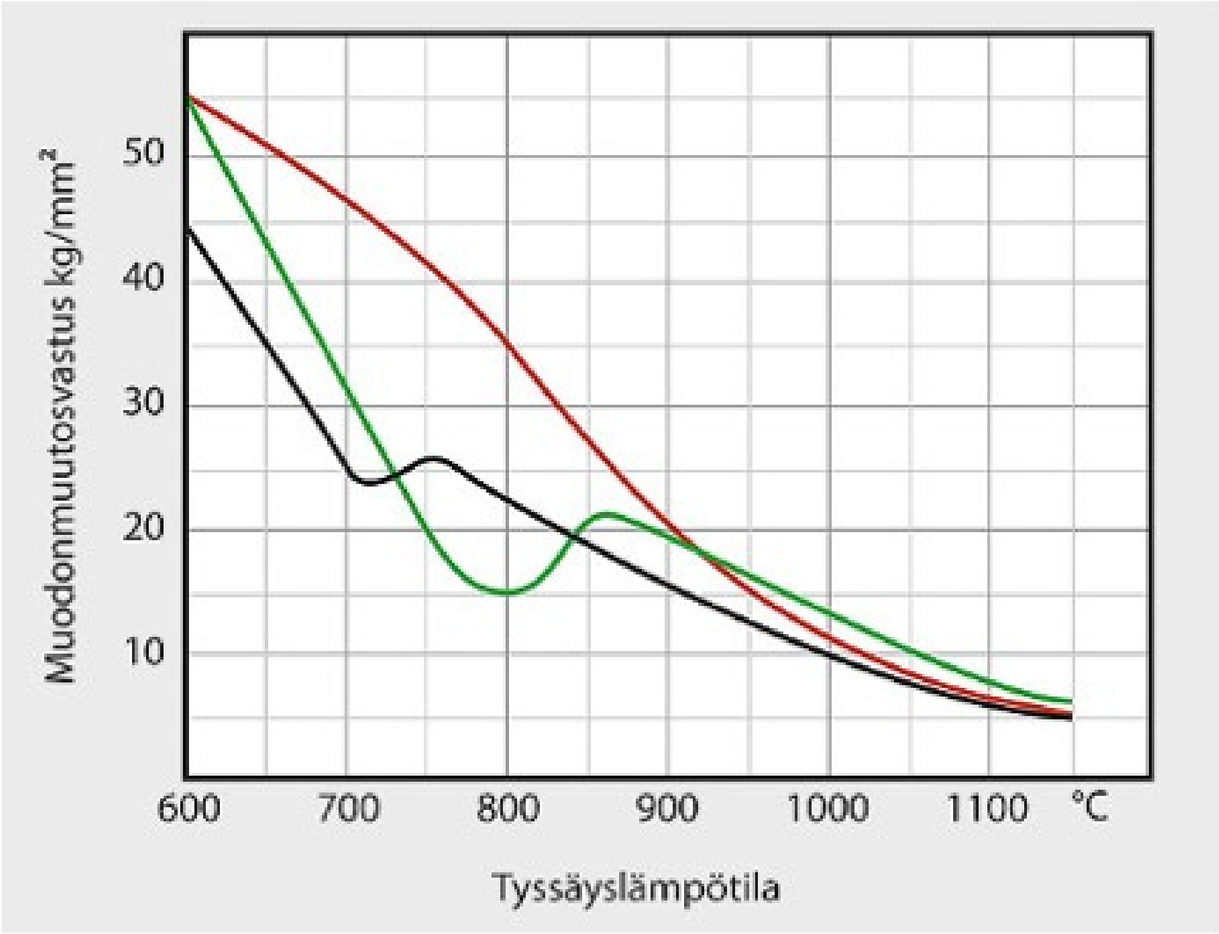
Kappaletta taotaan ilman takomuottia vasaralla tai puristimella.

Muodonmuutosvastus

Vasaralla työskenneltäessä on muodonmuutosnopeus huomattavasti suurempi kuin puristimella työskenneltäessä. Tällöin muodonmuutosvastus eli tarvittava energia on myös suurempi. Syynä tähän on se, että rekristallisaatio vaatii jonkin verran aikaa. Energian tarve nopeassa vasarassa saattaa olla 2-5 kertainen puristimeen verrattuna.

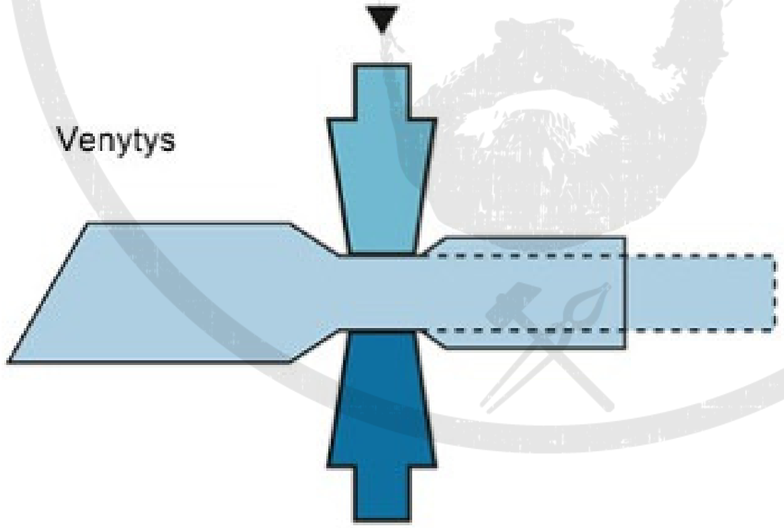
Takomisessa tarvittava muodonmuutosenergia riippuu materiaalista, taontalämpötilasta ja muodonmuutoksen nopeudesta.

Tyssäyslämpötilan vaikutus
muodonmuutosvastukseen eri materiaaleilla.



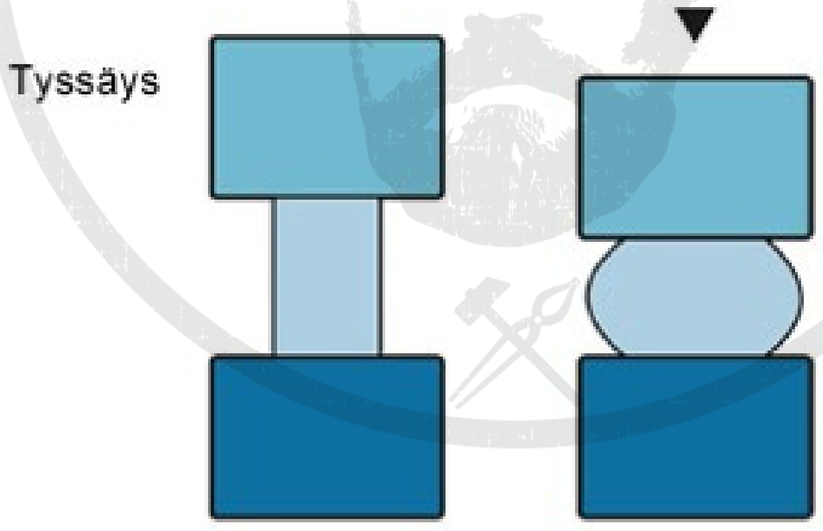
Työvaiheet - venytys ja tyssäys

Vapaataonnan työvaiheista tärkein on **venytys**, jonka tarkoituksena on aihion pidentäminen samalla, kun sen poikkipinta pienenee. Venytys suoritetaan siirtämällä aihiota pituussuunnassa ja pyörittämällä sitä alasimella iskujen välillä.



Tyssäys on venytykselle vastakkainen työvaihe. Alasinpinnoissa vaikuttavan kitkan vuoksi saa tyssätty sylinteri tynnyrimäisen muodon, joka on pienellä venytyksellä oikaistava.

Nurjahdusvaaran vuoksi on tyssättävän aihion korkeus oltava pienempi kuin kolme kertaa halkaisija. Tästä johtuen suhteen ollessa suurempi, joudutaan lisäämään taontavaiheita.



Muottitaonta

Suurin osa teollisesta taetuotannosta tehdään muottitakeena. Muottitaonnassa pakotetaan taeaihio omaksumaan haluttu muoto takomalla sitä vastaavien muottikuvioiden välissä. Usein käytetään taonnassa kahta tai useampaa rinnakkaista muottikuviota, joilla saadaan teräksen juoksu ohjattua siten, että saadaan virheettömiä ja lujuusominaisuuksiltaan edullisia muottitakeita.

Muotin täyttymisen varmistamiseksi materiaalia on yleensä hieman enemmän kuin täyttymiseen tarvitaan. Ylimääräinen materiaali eli purse puristuu ulos muottien välistä. Purse leikataan pois purseenpoistoleikkureilla.

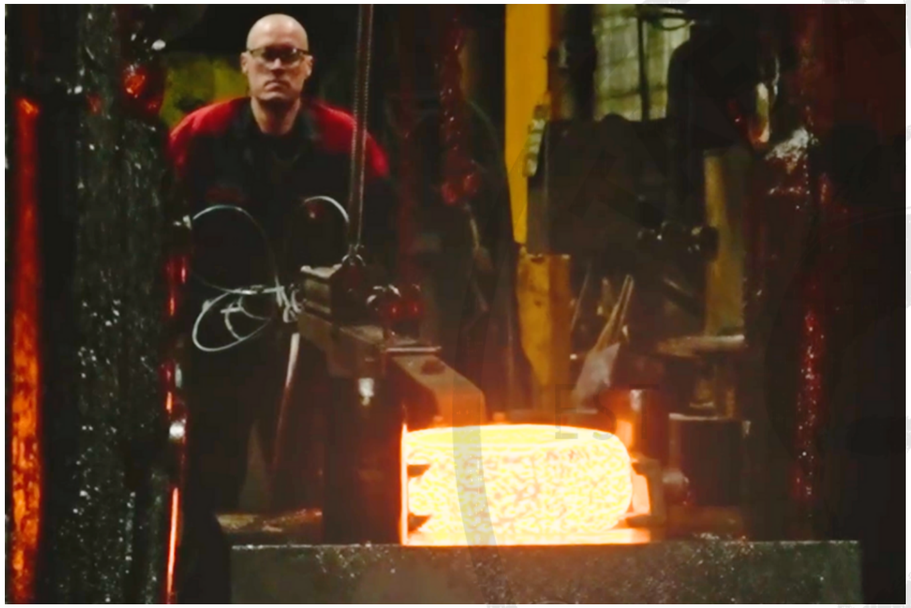
Tyypillisiä muottitaonnalla valmistettavia tuotteita ovat esimerkiksi nokka-akseliaihiot, hammasratasaihiot, sekä erilaiset geometrialtaan monimutkaiset kappaleet.

Koneet

Muottitaonnassa käytettävät koneet voidaan karkeasti ryhmitellä pudotusvasaroihin, vastaiskuvasaroihin ja taontapuristimiin. Vastaiskuvasarassa liikkuvat sekä sekä alamuotti että ylämuotti. Muotit on kiinnitetty vastaavasti ylä- ja alajärkäleisiin, joiden liikkeet on synkronisoitu keskenään. Taonnassa muotit törmäävät vastakkain ja niiden välissä oleva aine muokkautuu.

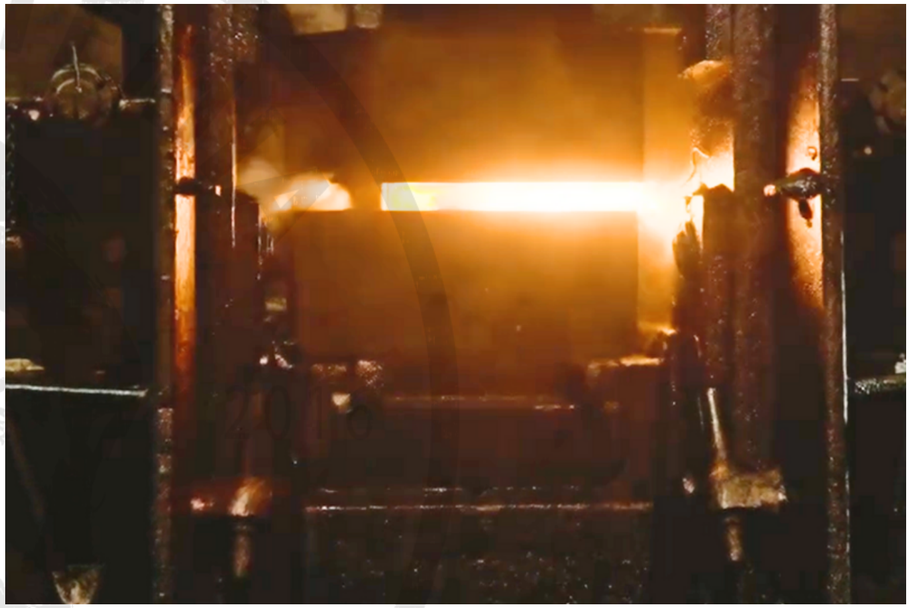
Muotti

Vastaiskuvasarassa muotit on kiinnitetty ylä- ja alajärkäleisiin.



Taottava kappale

Vapaataonnalla esiaihioitu kappale asetetaan muottiin.



Taonta

Kun muotit törmäävät keskenään, niiden välissä oleva aine muokkautuu.

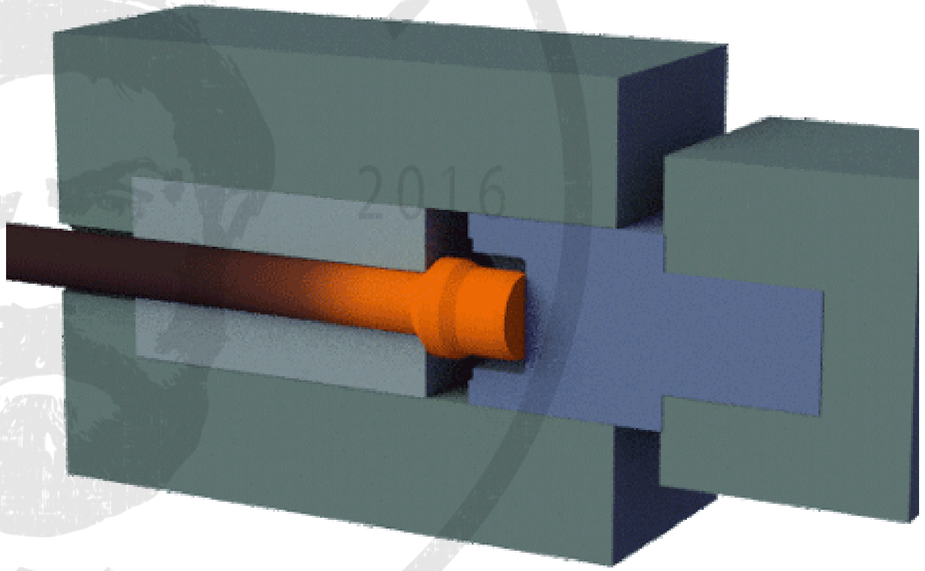
Tyssäys

Tyssäystä käytetään useimmiten pyörähdyssymmetristen kappaleiden valmistukseen. Raaka-aineena on tavallisesti metallitanko, joka kuumennetaan osittain - esimerkiksi toinen pää. Kappale kiinnitetään hydrauli- tai epäkeskopuristimeen, joka painaa (tyssää) kuuman pään vasten muottia. Paine saa materiaalin leviämään ja täyttämään muotin.

Tyypillisiä tyssäämällä valmistettavia tuotteita ovat ruuvit, sidetangot ja erilaiset laippa-aihiot.

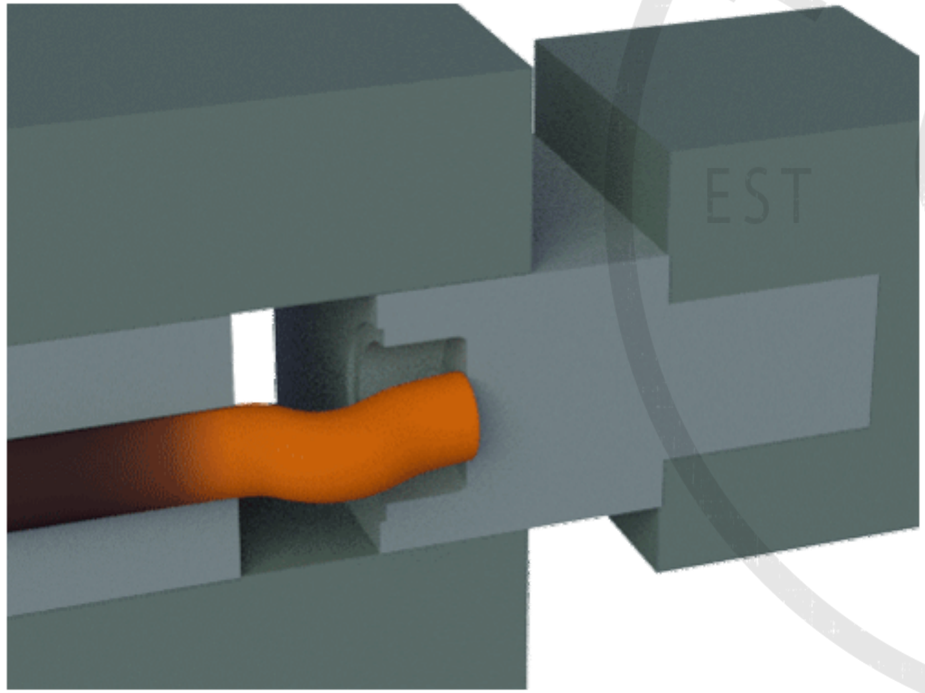
Tyssäys

Ison ruuvin valmistaminen tyssäämällä.



Nurjahdus

Nurjahdusvaaran vuoksi pitkän tyssäyksen vaativat kappaleet valmistetaan useassa taontavaiheessa.



Nurjahtanut kappale

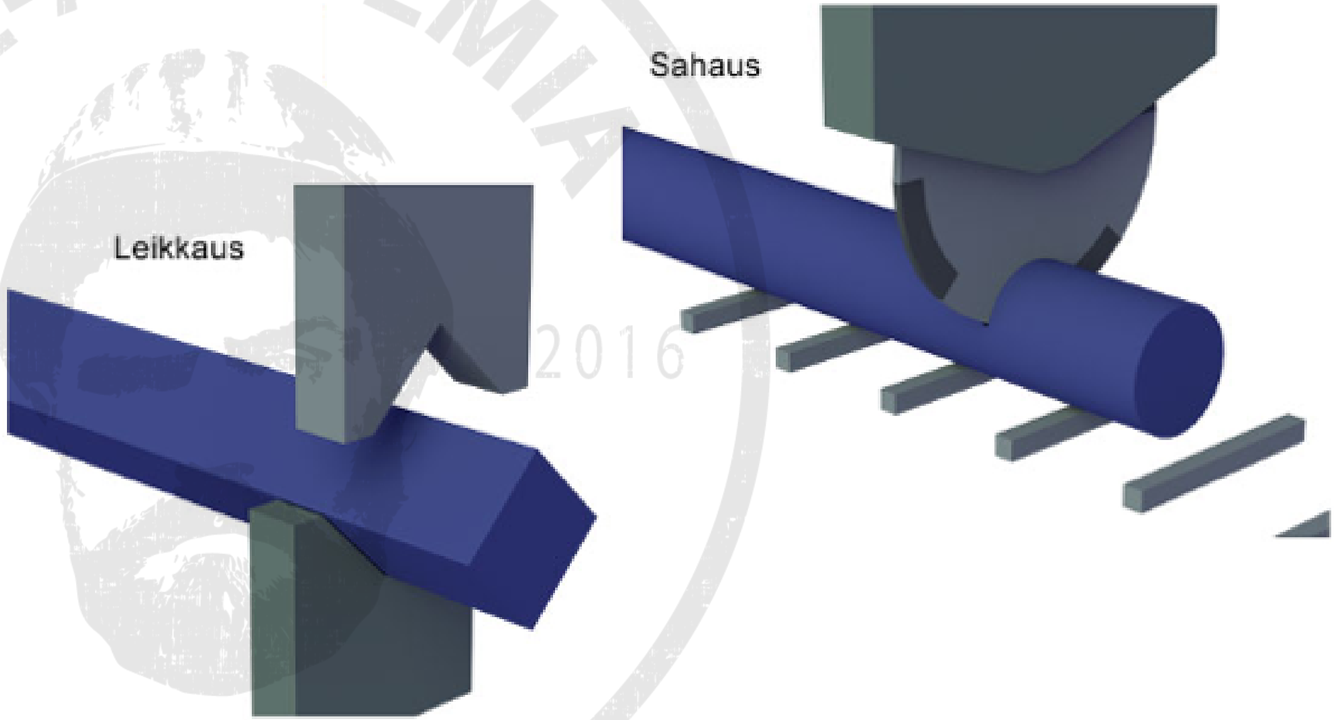
TAE-AKATEMIA

EST 2016

4

Taottavat materiaalit

Taottavien materiaalien kirjo on suuri. Materiaalin valinta riippuu asiakkaan vaatimista ominaisuuksista.



Tae-aihio on yleensä joko pyörö- tai neliskanttisesta tangosta sahaamalla tai leikkaamalla katkaistu.

Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset

Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset soveltuvat hyvin kuumataottavaksi lämpötila-alueella 850-1300 C. Tällaisia teräksiä ovat rakenneteräkset, koneteräkset, hiiletysteräkset, nuorrutusteräkset, jousiteräkset, booriteräkset, mikroseosteräkset ja suorasammutusteräkset.

Suorat lämpökäsittelyt taonnasta, ts. taontalämmön hyväksikäyttö, ovat yleistymässä takomoteollisuudessa. Tällä tavoin voidaan alentaa lämpökäsittely- ja muita kustannuksia. Suoria lämpökäsittelyjä ovat esimerkiksi kontrolloitu ilmajäähdytys ja suorasammutus.

Runsasseosteiset teräkset

Ruostumattomat teräkset voidaan jakaa austeniittisiin, ferriittisiin, martensiittisiin ja austeniittis-ferriittisiin (duplex) teräksiin. Suurin ryhmistä on austeniittiset ruostumattomat teräkset. Takolämpötila, joka riippuu reduktiosta, on pidettävä tarkoin oikeana. Hitaan jäähdytyksen jälkeen on kappaleet austenitoitava, eli hehkutettava noin 1050 C lämpötilassa, josta ne sammutetaan veteen.

Martensiittisten ruostumattomien terästen taonta on periaatteessa samanlaista kuin niukkaseosteisten laatujen. Tarvittavat voimat ovat kuitenkin suurempia. Taonnan jälkeen kappaleet tavallisesti jäähdytetään hitaasti esimerkiksi uunissa ja karkaistaan erillisessä käsittelyssä.

Lämpökäsittelyohjeita esitetään standardissa SFS-EN 10250-4.

Työkaluteräkset (SFS-EN ISO 4957) soveltuvat kuumataontaan, joskin suuren muodonmuutoslujuuden vuoksi taontalämpötilan on oltava riittävän korkea. Kuumataonta antaa edullisen syyrakenteen esimerkiksi muottien valmistuksessa.

Muut materiaalit

Kupari ja yleisimmät kupariseokset, eräitä tinaprosentteja lukuunottamatta, ovat sopivia kuumataontaan. Kuparitakeita koskevat vaatimukset esitetään standardissa SFS-EN 12420.

Takoaihioiksi sopivat parhaiten kuumapursotetut muotovalmisteet. Toisinaan on käytettävä lähtömateriaalina vedettyä tankoa tanko-aihion tiukkojen painotoleranssien takia. Suurimpiin taottaviin kappaleisiin voidaan käyttää valetuista muokkausaihioista sahattuja kappaleita.

Kuumataotut kuparikappaleet jäähdytetään ilmassa tai vedessä. Vesijäähdytys irrottaa osan hilseestä, jolloin puhdistus helpottuu. Messinkikappaleet jäähdytetään ilmassa, koska vesijäähdytys voi aiheuttaa repeilyä. Takeet voidaan puhdistaa oksideista peittaamalla ne laimeassa rikkihapossa taonnan jälkeen.

Alumiini ja alumiiniseokset soveltuvat kuumataontaan, joskin tämä vaatii tarkoitukseen sopivan kuumennuslaitteen ja riittävän kokemuksen näiden metallien käyttäytymisestä. Alumiinitakeita koskevat vaatimukset esitetään standardissa SFS-EN 58-½.

Alumiinirakenteen edulliseen lujuus/paino-suhteeseen vaikuttaa alumiinin hyvä muovattavuus. Puristamalla ja takomalla saadaan aikaan tarvittaessa hyvin monimutkaisia profiileja, joissa materiaali on sijoitettu lujuusopillisesti oikeaan paikkaan. Muottitaonnassa alumiinilla päästään lisäksi pieniin seinämäpaksuuksiin ja nurkkapyöristyksiin.

Suomessa valmistetaan alumiiniprofiileita pursottamalla, mutta alumiinin muottitaonta ei vielä ole maassamme yleistynyt.

TAE-AKATEMIA

EST 2016

5

Takeen suunnittelu 1

Tässä itseopiskelumateriaalissa takomisella tarkoitetaan kuumataontaa, ellei erikseen toisin mainita.

- Materiaalin ja muodon vapaus
- Takomuotti
- Jakotaso
- Päästökulma
- Pyöristyssäteet

TAE-AKATEMIA
EST 2016

Materiaalin ja muodon vapaus

Muodon vapaus on taonnalle luonteenomainen piirre.

Takomot pyrkivät yhdessä asiakkaan kanssa löytämään yksilölliset ja kulloinkin optimaaliset ratkaisut suunniteltavalle tuotteelle. Takomo voi auttaa erityisesti taonnan kannalta taloudellisimman muodon suunnittelussa.

Muodon vapaus on taonnalle luonteenomainen piirre. Muottitaonta mahdollistaa hankalien tuotteiden ja osien yhdistelemisen. Optimaalinen muotoilu ottaa huomioon takeen **painon, lujuuden** sekä **käyttökohteen** sille asettamat vaatimukset. Takeille on mahdollista tehdä jatkotyöstöä silmälläpitäen **kiinnitys- ja lähtöpintoja.**

Materiaalin vapaus taonnassa tarkoittaa suurta joukkoa valittavissa olevia materiaalivaihtoehtoja. Nykyaikaisella teknologialla voidaan takoa mitä erilaisimpia materiaaleja:

- rakenneteräksiä
- nuorrutusteräksiä
- hiiletysteräksiä
- kuumalujia teräksiä
- ruostumattomia teräksiä

sekä lisäksi erilaisia seoksia, kuten:

- alumiinia ja alumiiniseoksia
- kuparia ja kupariseoksia

Lisäksi **pulverimetallurgisesti** valmistettuja tuotteita voidaan tiivistää takomalla.

Tilausmäärien vapaus on osoitus taontaprosessin joustavuudesta. Taonta voi olla hinnaltaan kilpailukykyinen menetelmä jo pienempinäkin sarjoina. Suunnittelun ja työkalun valmistuksen jälkeen sarjan tuotanto on ainoa kuluerä.

Pieniä sarjoja valmistettaessa on usein edullisinta yhdistellä eri valmistusmenetelmiä, kuten taontaa, sorvausta, jyrsintää ja hitsausta.

Takomuotti

Takomuotteja

Takomuotit ovat kalliita, koska ne valmistetaan kuumankestävästä työkaluteräksestä CNC-koneistusta ja kipinätyöstöä käyttäen. Siksi muottitakeen taloudellisuuden edellytyksenä on riittävän suuri valmistussarja, jotta muottiintaontatyökalusta aiheutuneet kustannukset korvautuvat taontatyön nopeutumisena, sekä materiaali- ja koneistuskustannusten pienenemisenä. Muottitakeiden hyvät lujuusominaisuudet tulee myös huomioida kustannusvertailussa.

Muottitakeella päästään usein keveimpään ratkaisuun, koska tae voidaan muotoilla siten, että sen poikkileikkaus vastaa joka kohdassa kuormitusolosuhteita. Valmistuskustannuksiltaan halvimpia ovat yksinkertaiset pyörähdyskappalemuotit.

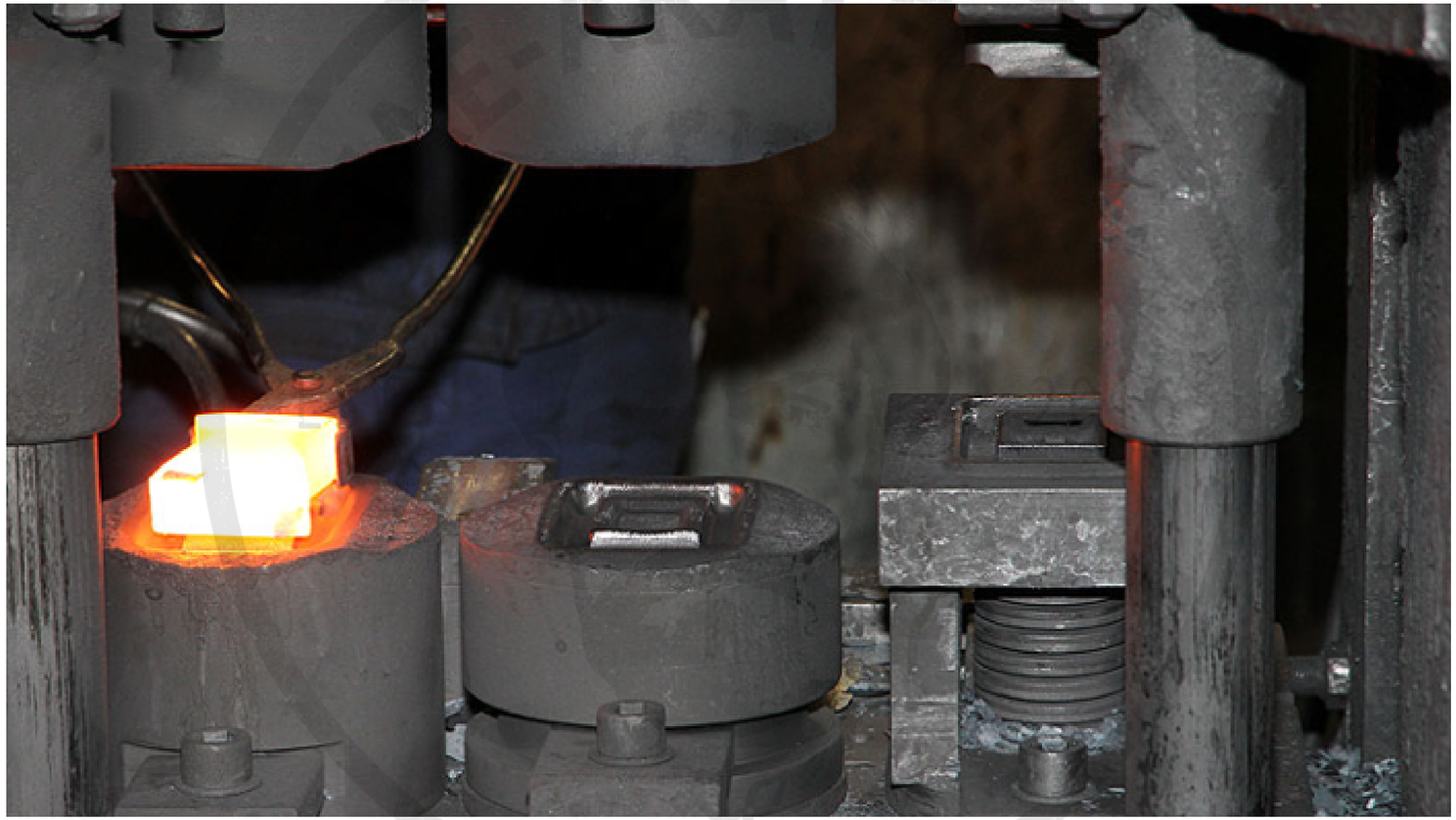
Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että muottien kestokykyä eniten koettelevia ja epätaloudellisimpia takokappaleita ovat ohuet suuripintaiset kappaleet, jotka taotaan vaakatasossa, sekä syviä muottikaiverruksia vaativat kappaleet, jotka taotaan pystytasossa.

Työkalun (esimerkiksi muotin puolikkaiden) siirtymä saattaa aiheuttaa kappaleeseen **epäkeskeisyyttä**. Sallitut toleranssit epäkeskisyydelle on ilmoitettu standardeissa SFS-EN 10243-1 ja SFS-EN 10243-2.

Muottitaonnan vaiheet

Esiaihiointimuotti, varsinainen muotti ja purseenpoisto rinnakkain samassa taontapuristimessa.

Induktiokuumennettu kappale asetetaan esiaihiointimuottiin ja puristetaan muotoon.



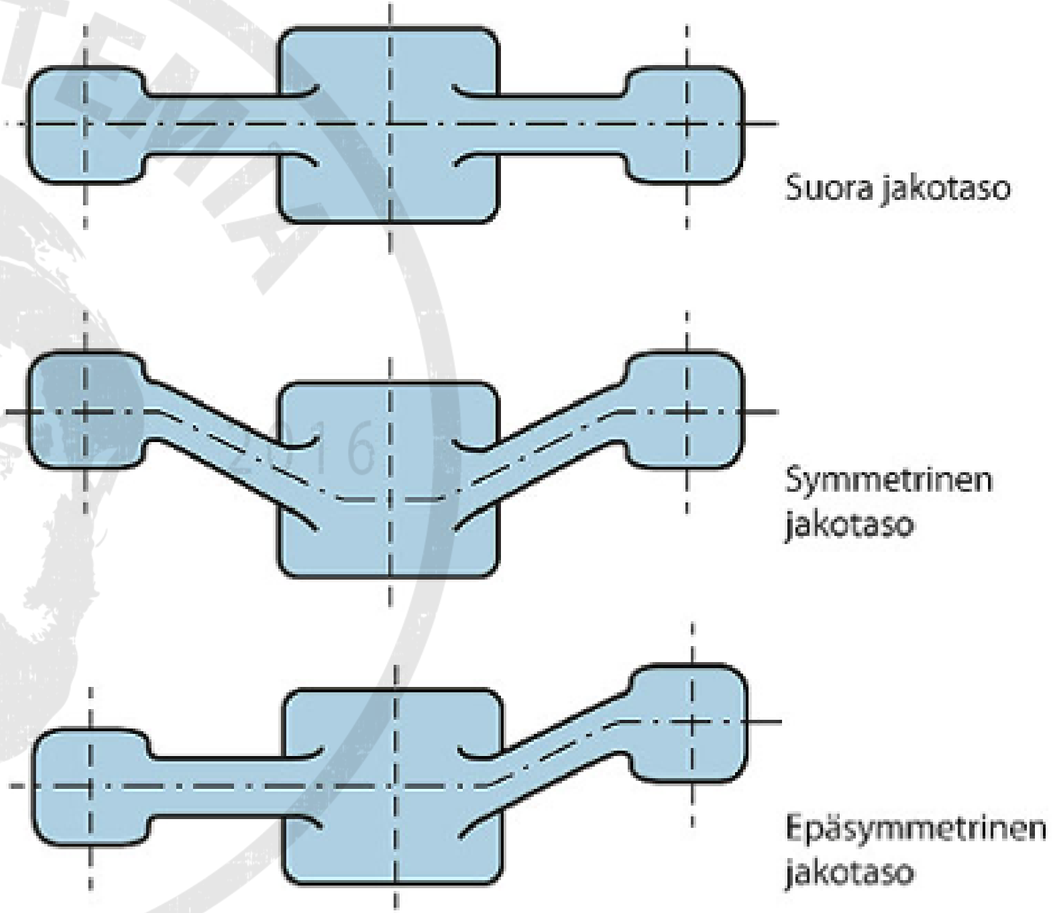
Kappaleen esiaihiointi suoritettu, jolloin sen muoto jo muistuttaa lopullista kappaletta.

Taonta varsinaisessa muotissa suoritettu ja kappale on muodoltaan tarkoitetun kaltainen. Purse takaa muotin oikean täyttymisen.

Purseenpoistoleikkurilla purse poistetaan ja tae on valmis.

Jakotaso

Lähdettäessä suunnittelemaan kappaleen valmistusta muottitakomalla, on aluksi määriteltävä **missä suunnassa** takominen suoritetaan ja miten muottien välinen rajaviiva, eli **takeen jakotaso**, sijoitetaan.



Jakotason tulisi, mikäli mahdollista, olla suora taso, koska sen käyrä tai portaallinen muoto vaikeuttaa takomista ja kohottaa huomattavasti työkalujen valmistuskustannuksia.

Jakotaso on pyrittävä sijoittamaan siten, että muottikaiverrukset ovat mahdollisimman matalia ja materiaali jakaantuu mahdollisimman symmetrisesti tason kummallekin puolelle. Jakotason valintaan vaikuttaa myös käytettävissä oleva takomakone sekä taottava materiaali. Sitä valittaessa tulee myös huomioida, ettei taonnan aikana synny **sivuttaisvoimia**.

Jakotasolla voidaan määrätä myös syiden kulkua takeessa. Jos jokin kohta takeessa tulee olla luja, ei siihen kohtaan saa sijoittaa jakotasoa, koska jakotason kohdalla syiden kulku katkeaa.

Purseuran muotoilulla voidaan myös vaikuttaa syiden kulkuun.

Epäsuora jakotaso kappaleessa.

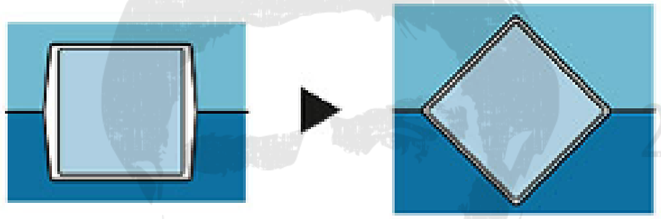
V-mallinen muoto aiheuttaa jännityksiä ja voi hajoittaa muotin helpommin, sekä kuluttaa sitä enemmän.

Päästökulma

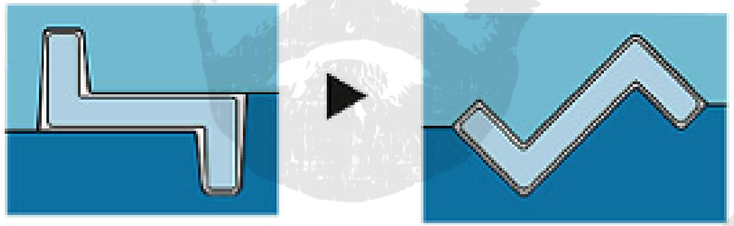
Takeissa tulee olla **päästökulma**, jolla ne saadaan muotista pois. Se tarvitaan kaikissa jakotasoa vastaan kohtisuorissa pinnoissa. Yleensä päästökulma on 5-7 astetta. Pienempiäkin päästökulmia käytetään, mutta siitä seuraa helposti vaikeuksia, mikäli takomakoneessa ei ole erillisiä ulostyöntimiä takeen irroittamiseksi. Ulkopuoliset kulmat valitaan pienemmiksi kuin sisäpuoliset, koska takeen jäähtyessä ja kutistuessa ulkokehälle tulee tilaa ja takeen irrottaminen helpottuu.

Jakotasoa valittaessa tulee kappaleen muotoa pyrkiä käyttämään hyväksi sijoittamalla kappale siten, että päästökulmat syntyvät itsestään.

Luonnollinen päästö johtuen kappaleen muodosta.

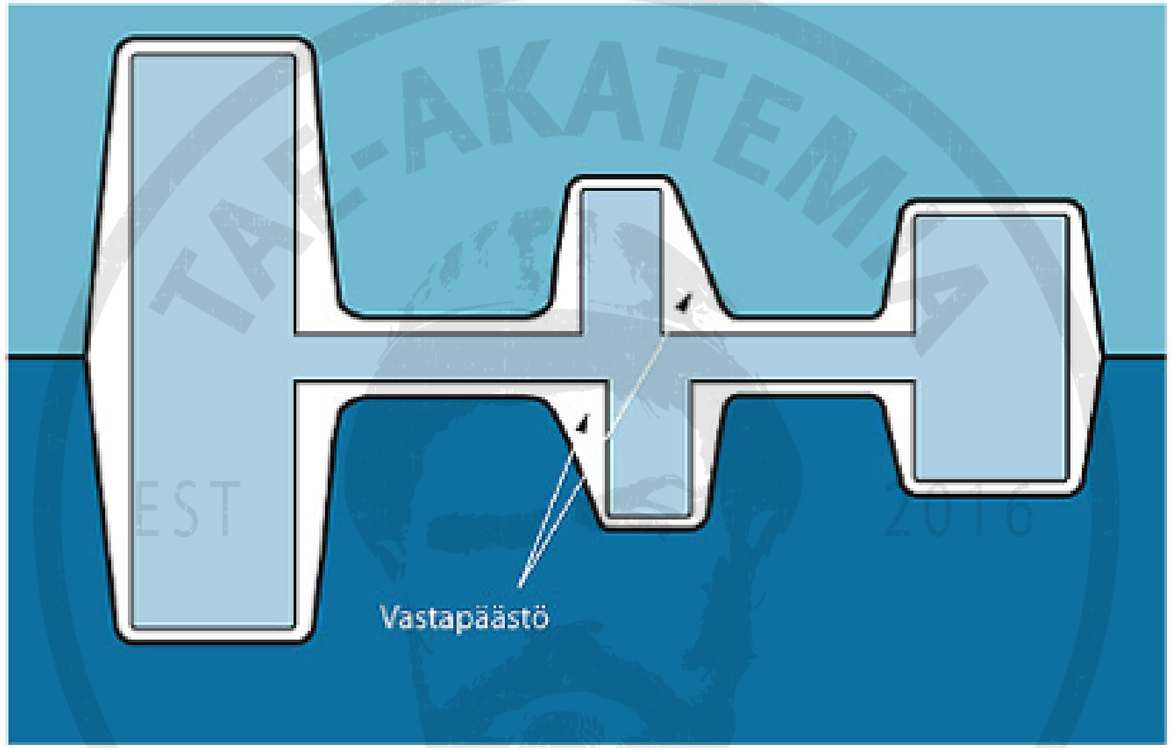


Luonnollinen päästö joka saavutetaan sijoittamalla jakotaso oikein



Kappaleen muodosta johtuen voivat päästökulmat syntyä "itsestään".

Päästökulmia valittaessa on jokainen tae otettava yksilönä. Tavanomaisin päästökulma on 7 astetta. Päästön valinta riippuu myös käytettävästä takomakoneesta. Pudotusvasaroihin ja vastaiskuvasaroihin ei ulostyöntimiä voi asentaa, koska rikkimenon vaara on suuri ja ne ovat vaarallisia. Epäkeskopuristimissa ulostyöntimiä voidaan käytää.



Epäsymmetriset laipat

Jos kappaleessa on epäsymmetrinen ulkokehä, tai epäsymmetrisiä laippoja, on tavallista järjestää niin, että muottikaiverrusten reunat kohtaavat, eli matalammalle osalle tulee suurempi päästökulma.

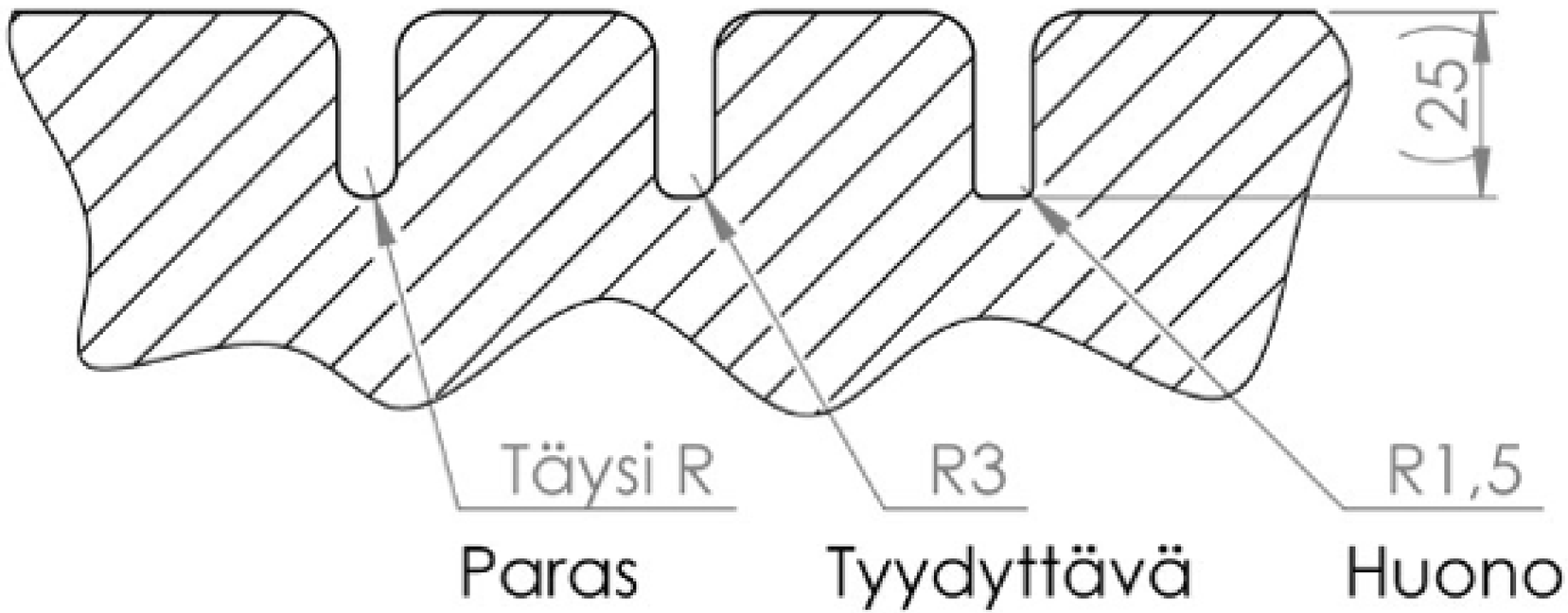
Taottava materiaali

Myös taottava materiaali vaikuttaa päästökulmaan. Jos materiaali on sellainen, ettei se helposti irtoa muotista, tulee päästökulman olla suuri. Esimerkiksi titaani, joka ei muodosta oksidia, on tällainen aine.

Taontakustannukset yleensä nousevat, mikäli päästökulma menee alle 7 asteen. 3-5 asteen päästökulmaa voidaan käyttää hiiletysteräksellä ja ruostumattomalla teräksellä, mutta se edellyttää irroituslaitteita. Titaaniseoksilla 5 asteen päästökulma on minimi. Korkeasti seostetuilla teräksillä, esimerkiksi tulenkestävillä teräksillä, tulee käyttää vähintään 7 asteen päästökulmaa.

Pyöristyssäteet

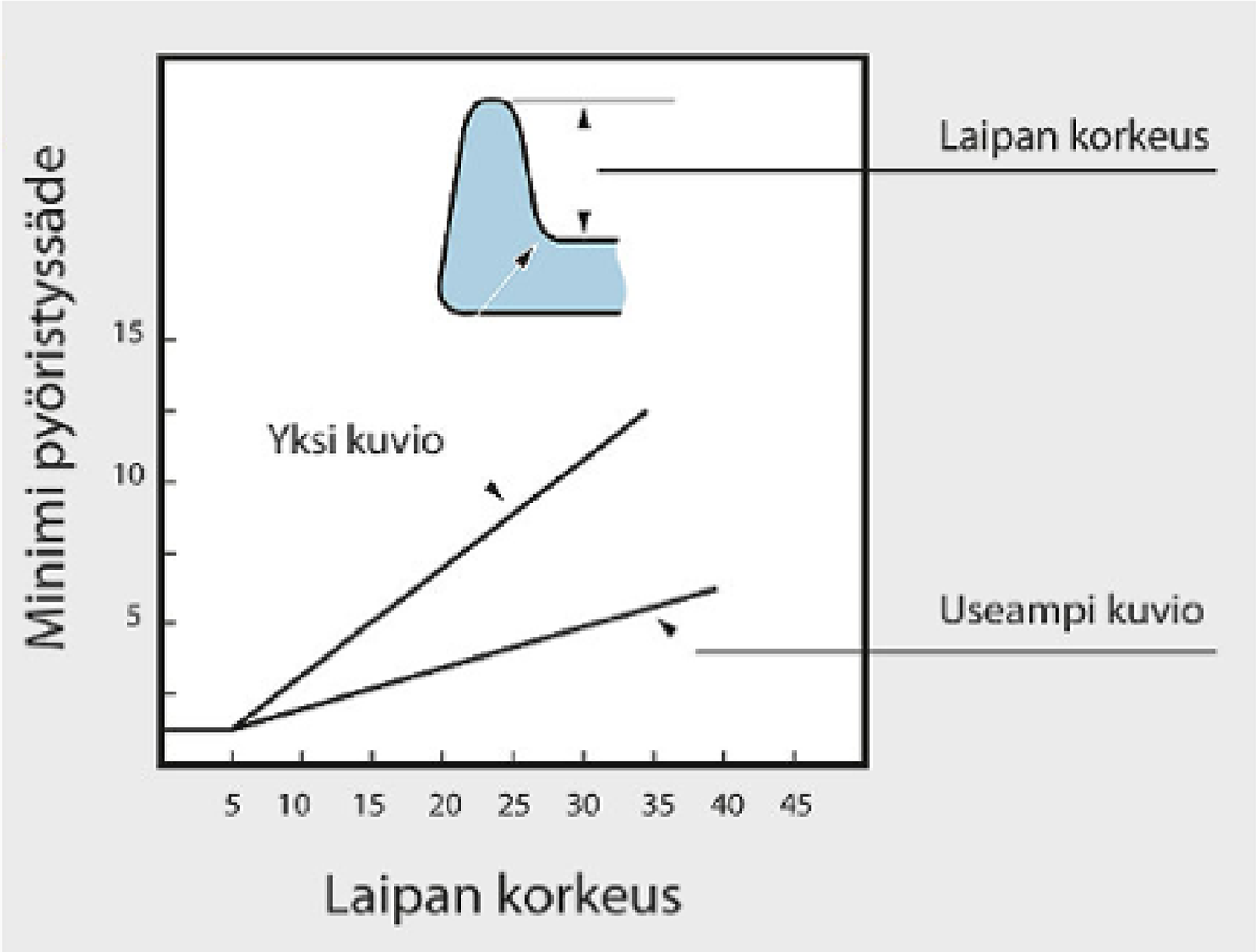
Eräs tärkeimmistä seikoista muottitakeita suunniteltaessa on oikeiden pyöristyssäteiden valinta. Jos pyöristyssäde on liian pieni, tapahtuu kaksinkerroin menemistä ja syntyy ns. **takoryppyjä**.



Täysi = katkeamaton pyöristys (pyöreä), eli ei R-suora-R.

Takeissa, jotka tehdään **useammassa muottikuviossa**, voi olla pienempiä pyöristyssäteitä. Nyrkkisääntönä voidaan todeta, että pyöristyssäteen pienentäminen 50%, vaatii yhden muottikuvion lisää. Esimerkiksi jos laipan korkeus on 75 mm, tulee yhdellä muottikuviolla laipan pyöristyssäteen olla 25 mm, kahdella kuviolla puolet, ja kolmella kuviolla neljäsosa 25 millimetristä.

Mikäli laippa on kappaleessa keskeisesti voi pyöristyssäde olla hieman pienempi, kuin jos se olisi kappaleen reunassa. Laipan yläpään pyöristyssäteen valinta ei ole yhtä tarkkaa, kuin laipan juuren säteen valinta.

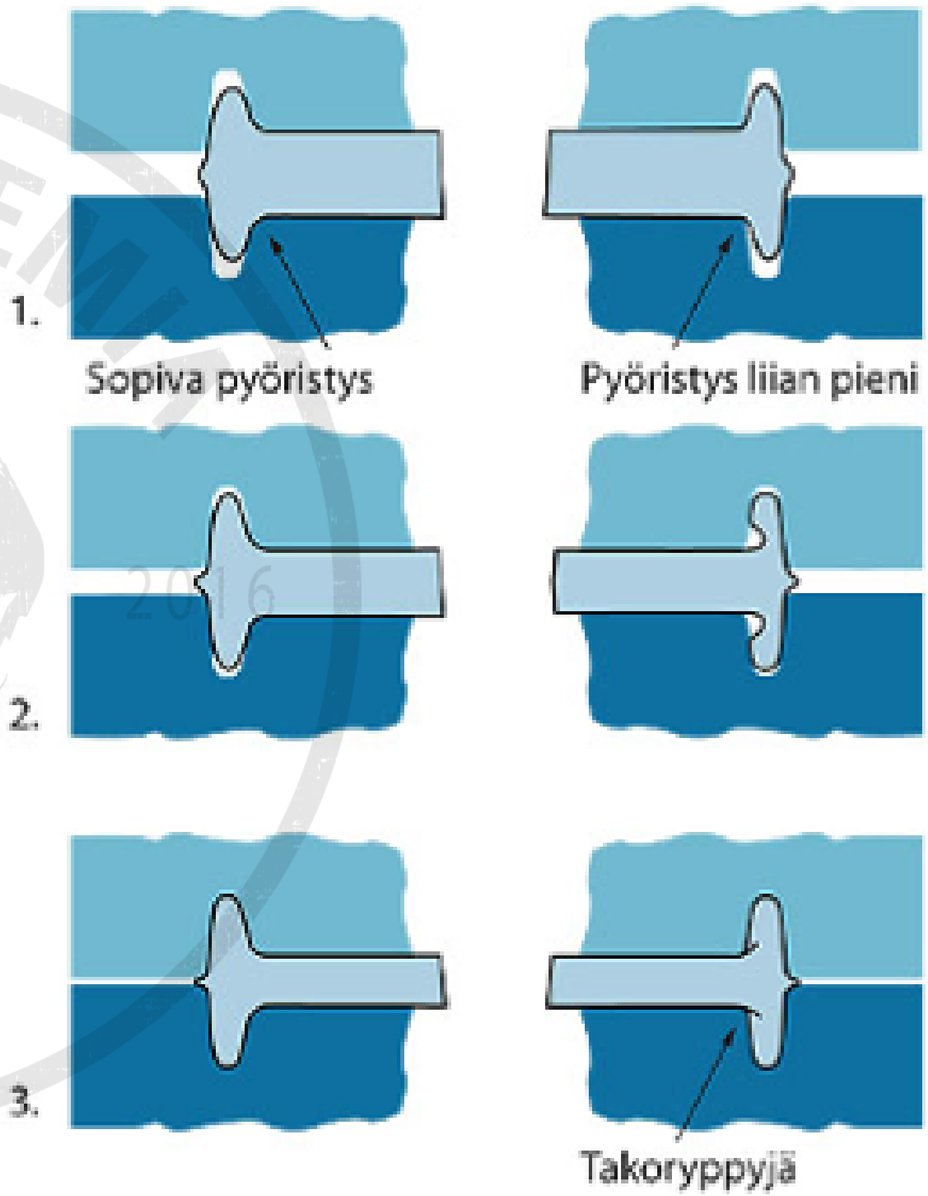


Useampien muottikuvioiden käyttö mahdollistaa pienemmät pyöristyssäteet.

Liian pieni pyöristyssäde, esimerkiksi 1,5 mm, aiheuttaa helposti muotin rikkoutumisen, eikä tae aina ole täysi, vaan ilmenee vajavaisuuksia. Täysi pyöristyssäde laipassa on ehdottomasti paras. Myös eri materiaaleilla tulee olla erilaiset pyöristyssäteet. Jos esimerkiksi alumiinin pyöristyssäde on 1,5 mm, on titaanin vastaava säde 3 mm.

Eräs määräävä tekijä pyöristyssäteitä valittaessa on takeen paino eli koko. Pääsääntöisesti suuremmat kappaleet tulee varustaa suuremmilla pyöristyssäteillä. Pieniä takeita lukuunottamatta laipan juuren pyöristyssäde on normaalisti 2 x yläreunan pyöristyssäde.

Liian pienet pyöristyssäteet voivat aiheuttaa ns. takoryppyjä.



TAE-AKATEMIA

EST 2016

6

Takeen suunnittelu 2

Tässä itseopiskelumateriaalissa takomisella tarkoitetaan kuumataontaa, ellei erikseen toisin mainita.

- Ainevahvuus
- Laipan mitoitus
- Purse
- Mittatarkkuus

Ainevahvuus

Takeiden suunnittelussa pyritään ohuimpiin mahdollisiin ainevahvuuksiin. Takominen kuitenkin asettaa omat rajoituksensa tai ainakin valmistuskustannukset nousevat, jos mennään määrättyjen rajojen alapuolelle.

Muokkaamisen tulee monilla aineilla tapahtua tarkoin määrätyllä lämpötila-alueella, eikä näin ollen liiallista jäähtymistä saa tapahtua liian pienen ainevahvuuden vuoksi. Tämän lisäksi ohuet ainevahvuudet vaativat suuria voimia. Tästä syystä ohuiden kappaleiden valmistaminen saattaa olla vaikeaa, tai ne pitäisi tehdä niin voimakkailla koneilla, että takominen muodostuu kalliiksi.

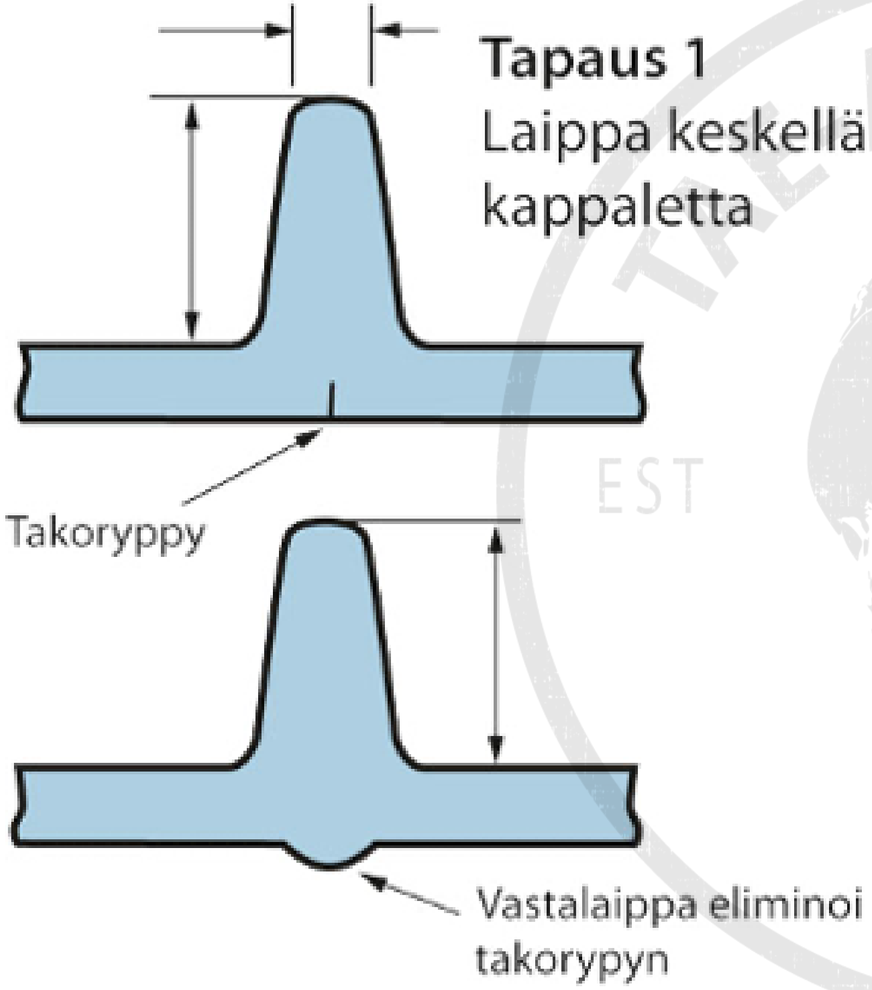
Jos ainevahvuuden pienentämisen ainoana kriteerinä on aineen säästö, voidaan tästä saatu voitto menettää valmistuskustannuksissa. Ohuet poikkipinnat kuluttavat myös muotteja enemmän, koska aine on kylmempää ja aineen virtaus suurempaa.

Liian ohuita ainepaksuuksia rajoittaa myös nurjahtamisriski, ja sitä kautta takoryppyjen muodostuminen.

Laipan mitoitus

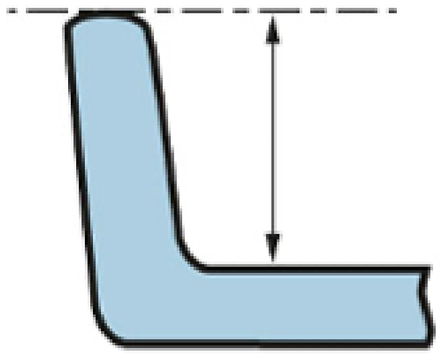
Laipan mitoitukseen pätevät samat säännöt kuin kannaksen. Lopputulokseen vaikuttavat lisäksi taottava materiaali, takeen muoto, ja jakotason valinta. Myös laipan ja kannaksen välisellä pyöristyssäteellä on suuri vaikutus.

Seuraavassa on esitetty neljä erilaista laippa/kannas -ratkaisua.



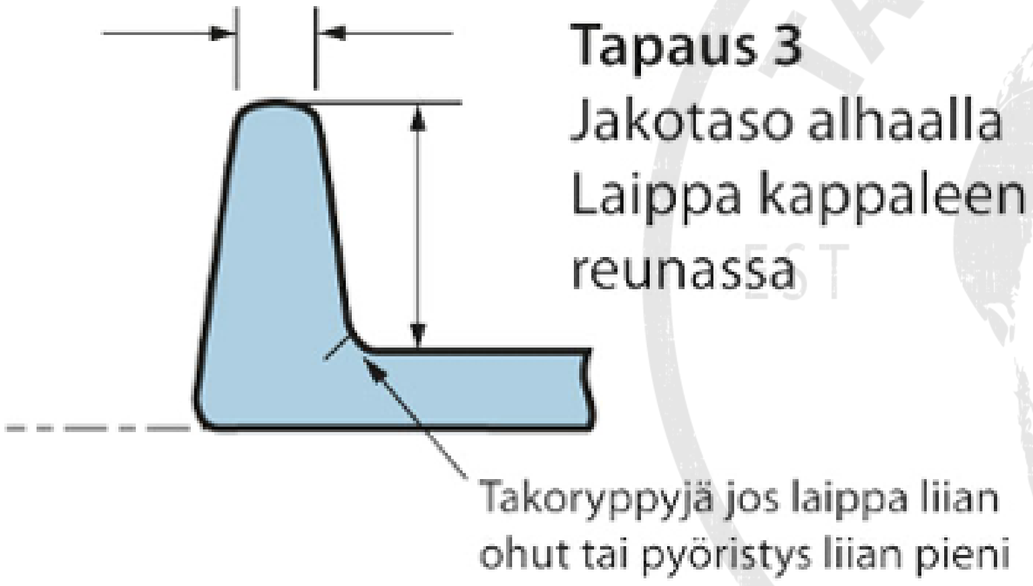
Laippa kappaleen keskellä. Mikäli laipan alapuolella ei ole riittävästi materiaalia lähtötilanteessa, alkaa aine virrata sivuilta laippaan. Tällöin laipan alapuolella syntyy “imu” ja vikakohta.

Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että kannaksen paksuus tulee olla yhtä suuri tai suurempi kuin laipan paksuus, jotta vikaa ei synny. Jos mahdollista, on hyödyllistä tehdä laipan vastakkaiselle puolelle pieni kohouma, joka eliminoi rypyn.

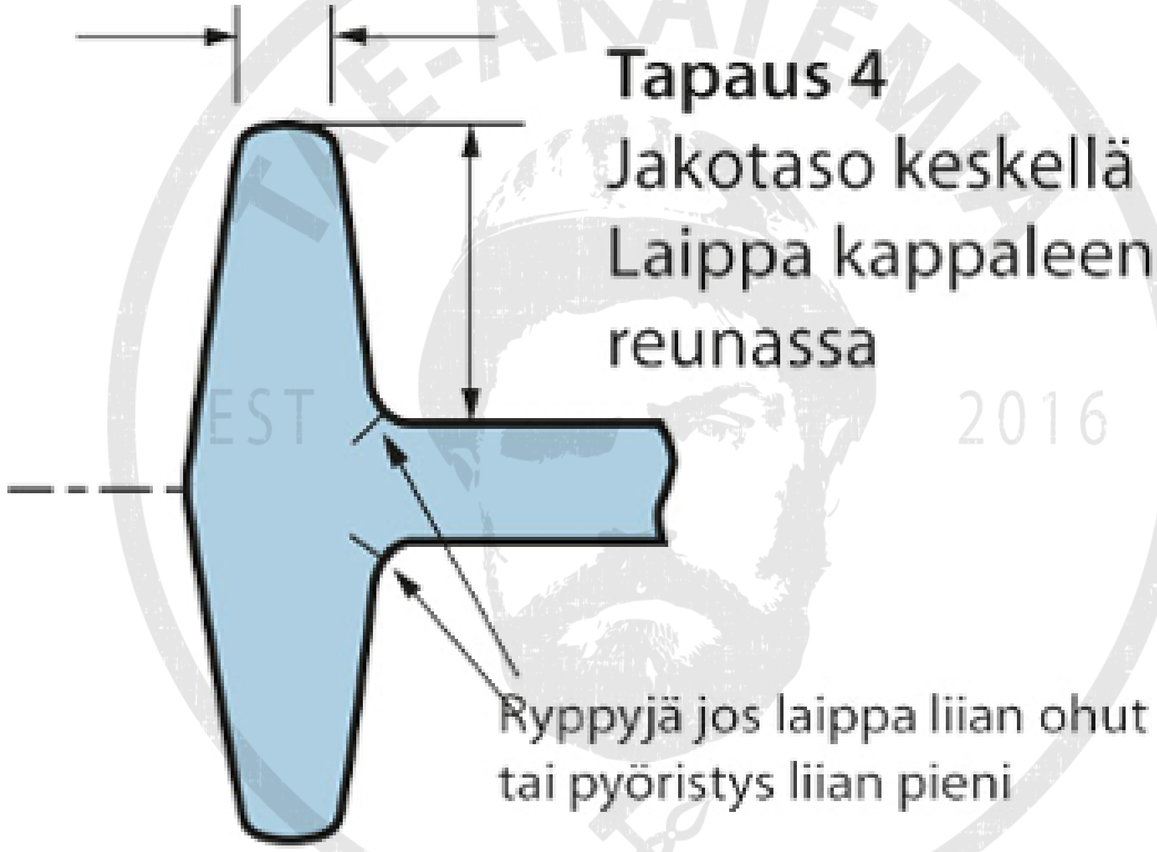


Tapaus 2
Jakotaso ylhäällä
Laippa kappaleen reunassa

Jakotason ollessa ylhäällä, on muokkaaminen pursottamiseen verrattavaa. Normaaleja taontavikoja ei tällöin synny ja päästään ohuempiin ainevahvuuksiin, mikäli materiaali tai jäähtyminen eivät aseta rajoituksia.



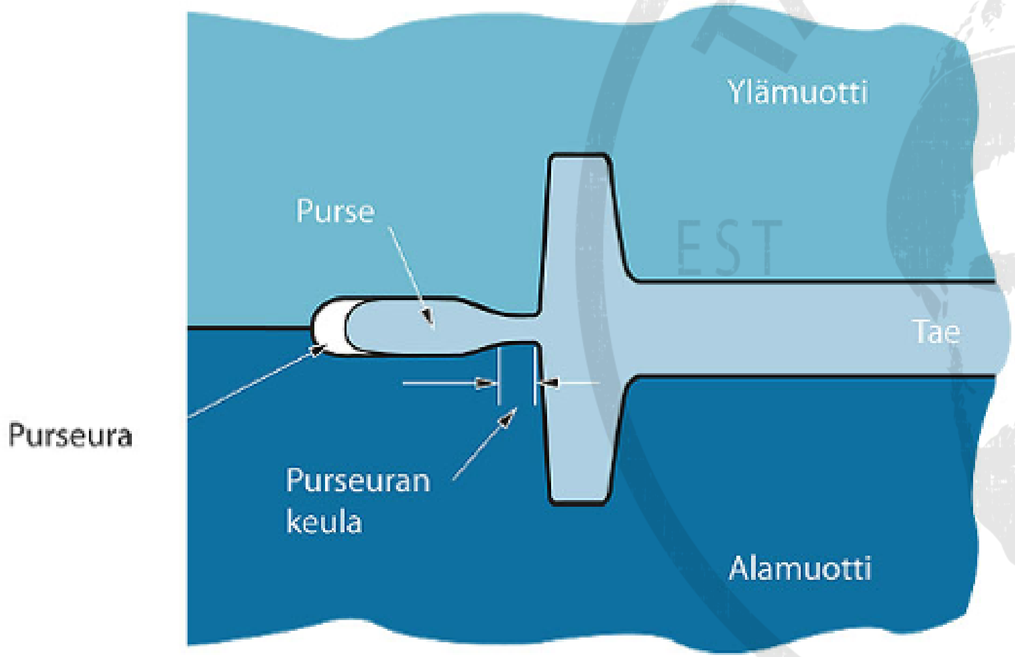
Jakotaso on alhaalla. Laipan ja kannaksen liitoskohtaan tulee vikaa, jos pyöristys on liian pieni tai laippa liian ohut.


Tapaus 4
Jakotaso keskellä
Laippa kappaleen
reunassa
Ryppyjä jos laippa liian ohut
tai pyöristys liian pieni

I-profiili on näistä vaikein takoa. Laipan ja kannaksen yhtymäkohtaan tahtoo tulla takoryppyjä ja muotin täyttyminen on vaikeaa, koska laippojen vaatima materiaalimäärä on suuri. Tällainen tae melkein aina vaatii jonkinlaisen esimuokkauksen niin, että materiaalijakauma on jo lähtökohtaisesti samankaltainen kuin lopullisessa kappaleessa.

Minimipaksuudet I-profiilissa ovat yleensä suuremmat kuin muilla. Nyrkkisääntönä on , että laipan korkeus ei saa ylittää 8 x sen paksuutta. Useimmat takomot pitävät kiinni siitä, että suhdeluku ei saa olla suurempi kuin 5:1. Tässäkin pätevät samat säännöt, kuin yleensäkin takomisessa: Mitä vaikeammin taottava aine ja mitä suuremman muokkausvoiman se vaatii, sitä suurempia tulee minimimittojen olla.

Purse



Muottitaonnassa **ylimääräinen materiaali** virtaa sivuille **purseuraan** ja sitä kutsutaan purseeksi.

Purseen muodostumisen kannalta tärkeätä on purseuran keulan pituus ja paksuus.

Purseen poistaminen purseleikkurilla.

Mittatarkkuus

Takeiden **mittatarkkuuteen** vaikuttavat useat tekijät:

- kappaleen muoto ja koko
- takomakoneen ikä ja tyyppi
- taottava aine
- vaihtelut takomaolosuhteissa
- muottien konstruktio ja ikä

Takeiden suunnittelussa tulee huomioida **jäähtymiskutistuma**. Normaalisti se on 1.7 %, mutta esimerkiksi austeniittisilla teräksillä 2%. Mikäli muotissa on useampia taonnan aikana kutistumista estäviä ripoja, voi kutistuma olla 1.5%. Mittatarkkuuden saavuttamista vaikeuttaa se, että tae jäähtyy taonnan aikana ja sen jälkeen, sekä eri tavalla eri kohdista.

Myös muotin kuluminen aiheuttaa vaihteluja takeiden mitoissa. Siihen vaikuttaa taottava materiaali (esimerkiksi työkaluteräksiä taottaessa on kuluminen kaksi kertaa niin suurta, kuin hiiliteräksillä), kappaleen muoto ja takolämpötila. Korkeat ja matalat lämpötilat aiheuttavat kulumista. Kuluminen on suurinta siellä, missä aineen virtaaminen on suurinta - eli nurkissa ja pyöristyksissä.

Muottitaonnassa takeen paksuus määräytyy lähinnä sen mukaan, kuinka yhteen muotit menevät takomisessa. Vaikka muotit ovatkin järeitä, taipuvat ne kuten levyt takomisessa syntyvien suurien voimien edessä. Myös tästä seuraa vaihtelua takeen paksuudessa.

Normaalit ja tarkkamittaiset takeet

Takeet voidaan karkeasti ottaen jakaa normaaleihin ja **tarkkamittaisiin**. Mittatarkkuuden yhteydessä tulevat kyseeseen varsinaiset mitat, työvarat, päästökulmat ja pyöristykset. Näille kullekin, tai kaikille yhdessä, voidaan esittää erikoisvaatimuksia takeita tilattaessa.

Kannattaa kuitenkin huomioida, että valitsemalla oikein kiinnityskohdat myöhempää työstöä varten, voidaan normaalilla takeella päästä samaan lopputulokseen, kuin tilaamalla erittäin mittatarkkoja takeita.

Tarkkamittainen ruuvin kanta on "hetivalmis", eikä vaadi koneistuksia.

TAE-AKATEMIA

EST 2016

7

Takeiden kustannukset ja toimitus

Takeen hinta muodostuu muotti-, materiaali-, takomakone- ja työkalukustannuksista. Merkittävä vaikutus takeen hintaan on myös sarjasuuruudella.

Suunnittelukustannusten osuus takeen hinnasta on vähäinen ja se sisältyy joko muotti- tai materiaalikustannuksiin.

Muottikustannukset

Taottu ruuvi
M100x600
Vetolenkkiaihio
Epäsymmetrinen
tae
Pyörähdys-
symmetrinen
tae
Laakeriyksikkö
Kuppimutteri

Muottikustannus, joka on alkuinvestointi, riippuu takeen koosta ja muodosta. Muottikustannus koostuu takeen pinta- ja toleranssivaatimuksista, muottimateriaalista ja sen koneistuksesta.

Pyörähdyssymmetrisen tai lyhyen takeen muotti on edullisempi kuin pitkänomaisen takeen. Pyörähdyssymmetriset muotit ovat edullisia, koska raaka-ainemäärä on pieni ja työstö sorvaamalla on nopeaa. Pitkillä ja monimuotoisilla takeilla saattaa muotti-kustannus olla moninkertainen verrattuna massakeskeisiin takeisiin.

Muottien kestoikä on yleensä tuhansia kappaleita ja pienillä kappaleilla jopa kymmeniä tuhansia kappaleita.

Materiaalikustannukset

Takeeseen käytetty **ainemäärä** on huomattava kustannus. Joillain menetelmillä voidaan takoa purseettomia kappaleita, jolloin ainehukka on pieni. Normaalisti takeeseen syntyy purse, joka nostaa ainemäärää ja edelleen takeen hintaa.

Ainehukka vaihtelee yleensä 10-50% välillä takeen painosta. Takeet voidaan suunnitella myös lähelle lopputuotteen mittoja, jolloin taonnan jälkeinen lastuavan työstön tarve vähenee ja materiaalia säästyy.

Yksittäisen takeen hintaan **sarjasuuruudella** on huomattava merkitys. Pienien kappaleiden (0,1-10 kg) sarjat ovat usein suurempia kuin kookkaiden (10-150 kg).

Pieniä takeita myös valmistetaan usein 1000 - 10 000 kappaleen, mutta suuria ehkä vain 10-100 kappaleen sarjoissa.

Samalla muotilla voidaan tehdä useita sarjoja.

Muut kustannukset ja toimitusaika

Takeen **koko** vaikuttaa paitsi materiaalikustannuksiin myös valmistusaikaan.

Pienien takeiden valmistus on nopeaa, muutamia kymmeniä sekunteja per kappale. Suuremmat kappaleet vaativat jopa minuutteja.

Taonnan jälkeen kappaleet voidaan tarvittaessa käsitellä eri tavoin . **Lämpökäsittely** ja erilaiset **pintakäsittelyt** kuten hiekka- tai kuulapuhallukset ovatkin usein välttämättömiä takeiden ominaisuuksien parantamiseksi.

Oikeilla materiaalivalinnoilla voidaan kuitenkin esimerkiksi lämpökäsittelyjen määrää vähentää.

Eniten takeen lopullisiin kustannuksiin vaikuttavat siis muotti- ja materiaalikustannukset, sekä sarjasuuruus.

Kappaleen taonnan kannalta järkevällä suunnittelulla ja oikealla materiaalivalinnalla voidaan alentaa muotti- ja materiaali-kustannuksia sekä lämpökäsittelyistä tai lastuavista työstöistä aiheutuvia lisäkustannuksia.

Toimitusajat

Takeiden toimitusajat ensimmäistä sarjaa silmällä pitäen ovat yleensä viikoista kuukausiin riippuen kappaleen koosta ja muodosta.

Kun muotti on valmis, seuraavat sarjat voidaan toteuttaa nopeammalla toimitusajalla.

TAE-AKATEMIA

EST 2016

8

Lämpökäsittelyt

Terästen lujuus- ja sitkeysominaisuuksia voidaan muutella laajalla alueella erilaisilla lämpökäsittelyillä. Teräksille yleisimmin suoritettavia käsittelyjä ovat normalisointi, karkaisu ja päästö, sekä erilaiset hehkutukset.

Näissä käsittelyissä terästen mikrorakenne ja ominaisuudet muuttuvat austeniitin hajaantumisen, diffuusion ja sisäisten jännitysten laukeamisen seurauksena.

Normalisointi

Normalisointi käsittää lyhyen kuumennuksen austeniittialueella ja vapaan jäähdytyksen ilmassa.

Normalisoinnin tarkoituksensa on rakenteen tasaaminen, edeltävän lämpö- tai muokkauskäsittelyn vaikutusten poistaminen ja raekoon hienontaminen.

Normalisointi suoritetaan yleensä pääasiallisesti hiili- ja lievästi seostetuille teräksille.

Nuorrutus (karkaisu ja päästö)

Nuorrutukseksi sanotaan lämpökäsittelyä, jossa teräs **karkaistaan, sammutetaan** ja sen jälkeen **päästetään** korkeassa lämpötilassa. Prosessilla pyritään kovaan martensiittiseen rakenteeseen. Vaadittavat lämpötilat riippuvat materiaalista.

Nuorruttamalla saavutetaan erinomainen terästen lujuuden, sitkeyden ja väsymislujuuden yhdistelmä. Nuorrutusteräksissä on tavallisesti 0,25 - 0,45 % hiiltä, jonkin verran piitä ja mangaania, sekä usein sopivan karkenevuuden aikaansaamiseksi myös muita seosaineita, kuten kromia, nikkeliä ja molybdeenia.

Nuorrutusteräkset soveltuvat kohteisiin, joilta vaaditaan hyvää staattista lujuutta, väsymislujuutta ja iskusitkeyttä.

Karkaisuhehkutuksen tarkoituksena on rakenteen saattaminen olennaisesti austeniittiseksi. Karkaisu suoritetaan tavallisimmin teräksille, joiden hiilipitoisuus on 0,2-1,5 %.

Teräksen nopeata jäähdytystä austeniittialueella sanotaan **sammutukseksi.** Sen tarkoituksena on estää austeniitin hajautuminen ferriitiksi ja perliitiksi. Asteniitin hajautumisnopeus riippuu teräksen seosaineista ja sammutuslämpötilasta.

Hiiliteräksillä karkaisu edellyttää suuria jäähtymisnopeuksia. Ne aikaansaadaan vedellä tai vesiliuoksella. Pienillä hiilipitoisuuksilla (< 0,2 %) on vaikea päästä kokonaan martensiittiseen rakenteeseen austeniitin nopean hajautumisen takia.

Seosteräkset puolestaan karkenevat helpommin ja niille riittää öljy- tai jopa ilmasammutus.

Karkaistun rakenteen hehkuttamista sanotaan **päästöksi**. Sen tarkoituksena on aikaansaada mikrorakenne, joka vastaa kappaleen käyttötarkoitusta. Päästön tarkoituksena on lisäksi karkaisujännityksen poistaminen.

Päästöhehkutuksen lämpötila määrittää tuotteen lopullisen kovuuden, joka on valittava käyttöolosuhteiden mukaan. Teräkset tulisi päästää heti sammutuksen jälkeen, jotta halkeilua ei tapahtuisi.

Hehkutukset

Jännityksenpoistohehkutuksella vähennetään valmistuksessa syntyneitä sisäisiä jännityksiä. Näitä jäännösjännityksiä kappaleisiin syntyy muokkaavan ja lastuavan työstön seurauksena, lämpötilan muutoksissa tai nopeissa lämpökäsittelyissä. Jännitykset voidaan laukaista hehkutuksella.

Lämpötilan kohotessa myötölujuus laskee ja jännitykset laukeavat huomattavasti. Jottei rakenne muuttuisi, mikä vaikuttaa mm. myötö- ja murtolujuuteen, sekä muihin lujuusominaisuuksiin, jännitystenpoistolämpötilat ovat suhteellisen matalia: hiiliteräksillä 550-650 C, runsaasti seostetuilla teräksillä 600-750 C.

Käsittelyn jälkeen kappaleet saavat jäähtyä aluksi uunin mukana ja sen jälkeen ilmassa. Nuorrutusteräs jännityksenpoistohehkutetaan tarvittaessa noin 25 C:n verran nuorrutuslämpötilansa alapuolella.

Pehmeäksihehkutuksen päämäärä on saattaa materiaali tilaan, jossa sen jatkokäsittely olisi mahdollisimman edullista. Nämä lämpökäsittelyt muodostavat siten valmistusprosessissa keskeisen osan, vaikka niiden vaikutus ei yleensä valmiissa tuotteessa olekaan nähtävissä.

Lämpökäsittelyn vaikutus lastuttavuuteen

Lastuava työstö saattaa muodostaa yli puolet kappaleen kokonaisvalmistuskustannuksista. Työkappaleen lastuttavuutta voidaan parantaa kontrolloimalla teräksen rakennetta lämpökäsittelyjen avulla sekä lisäaineilla, kuten kalsiumilla ja rikkiä seostamalla.

Teräksen rakenne vaikuttaa eniten **pikateräslastuttavuuteen**, ennen kaikkea porattavuuteen, jolloin keskeisiä kysymyksiä ovat:

- teräksen kovuus
- irtosärmä- ja lastunpoisto-ongelmat

Sen sijaan **kovametallilastuttavuuteen** rakenne vaikuttaa vähemmän. Kovametallilastuttavuus riippuu lähinnä teräksessä olevista epämetallisista sulkeumista. Tietysti suuremmalla kovuudellakin (yli 250 HB) on keskeinen vaikutus.

Sopivan lastuttavuuden saavuttamiseksi voidaan yleensä käyttää seuraavia lämpökäsittelytapoja:

- nuorrutus
- normalisointi
- pehmeäksihehkutus
- perlitointi

Kun hiiliteräksiä hehkutetaan lastuttavuuden parantamiseksi, on ensisijaisena tavoitteena kovuuden alentaminen ja siten terän kulumisen vähentäminen.

Etenkin hiiletysteräksillä on liiallinen pehmeyden ja sitkeyden aiheuttama vaara ilmeinen. Joudutaan helposti olosuhteisiin, joissa lastuttava materiaali hitsaantuu terän päälle ns. irtosärmäksi, jolloin lastun irtoaminen muuttuu “repiväksi” ja pinnan laatu huononee olennaisesti.

Hiiletysteräksillä saadaan yleensä paras lastuttavuus **perlitoinnilla**, joka tosin on hieman vaativampi lämpökäsittelytapa kuin muut vaihtoehdot: normalisointi ja pehmeäksihehkutus.

Nuorrutusteräksille ei voida antaa yleistä ohjetta. Sen sijaan runsashiilisillä nuorrutusteräksillä johtaa yleensä pehmeäksihehkutus parhaiten lastuttavaan rakenteeseen.

TAE-AKATEMIA

EST 2016

9

Hitsattavuus

Hitsattu rakenne, jossa osana tae.

Taottuja tuotteita käytetään myös konstruktioissa, jotka vaativat kappaleiden liittämistä toisiinsa hitsaamalla. Tällöin jo materiaalia valittaessa tulisi kiinnittää huomiota muiden materiaali-ominaisuuksien lisäksi myös materiaalin **hitsattavuuteen**.

Yleiset **rakenneteräkset** ovat helposti hitsattavia. Pyrkimys lujempiin laatuihin on johtanut tiettyjen hitsausongelmien syntyyn. Voidaankin todeta, että terästen hitsattavuus huononee lujuuden parantuessa. Myös vetyhalkeamien vaara kasvaa lujempiin teräksiin siirryttäessä. Esikuumennusta ei kuitenkaan normaalisti tarvita.

Hiiletysteräksiä ei suositella hitsattaviin käyttökohteisiin. Mikäli hitsausta on käytettävä, se on suoritettava ennen hiiletystä. Lisäksi on noudatettava teräksen valmistajan antamia ohjeita esikuumennuksen osalta. Hitsauksen jälkeen suositellaan lisäksi jännityksenpoistohehkutusta.

Nuorrutusterästen käyttöä hitsattuihin rakenteisiin on yleensä pyrittävä välttämään. Verraten suuri hiilipitoisuus ja seostus saattavat aiheuttaa karkenemista ja halkeilua hitsauksen yhteydessä.

Aina ei ole kuitenkaan mahdollista välttää hitsausta. Tällöin nuorrutusteräs, jonka hiilipitoisuus on alle 0,3 %, on suositeltava vaihtoehto.

Nuorrutusterästen kaarihitsaus edellyttää lähes aina korotetun työlämpötilan käyttöä. Austeniitin hajaantuminen hitsissä johtaa tällöin hauraan martensiitin sijasta pehmempien faasien muodostumiseen, jolloin halkeamisvaara pienenee.

Nuorrutusterästen hitsit on aina lämpökäsiteltävä. Suositeltavinta on kappaleen nuorrutus. Tämä on edullisinta tehdä välittömästi hitsauksen jälkeen, ennen hitsin jäähtymistä. Hitsauslisäaine on tällöin valittava siten, että hitsisauma saa nuorrutuksessa halutun lujuuden. Jos kappaletta ei voida enää hitsauksen jälkeen nuorruttaa, on suoritettava jännityksenpoistohehkutus.

Niukkahiilisiä teräksiä voidaan hitsata ilman esi- tai jälkikuumennusta, koska muutosvyöhykkeeseen ei synny kovia faaseja.

TAE-AKATEMIA

EST 2016

10

Standardit

Takeista on 1990-luvulta lähtien julkaistu useita eurooppalaisia standardeja seuraavilla osa-alueilla:

- Takeet, mm. SFS-EN 10250-¼
- Takeiden toimitusehdot, mm. EN 10254
- Takeiden toleranssit, mm. SFS-EN 10243-½

Standardit muodostavat kokonaisuuden siten, että takomolla on omat standardit materiaalin toimittajan suhteen ja toisaalta takeiden ostajilla on omat spesifikaationsa takomon suhteen.