

Titaaniseokset

Seija Meskanen, Teknillinen korkeakoulu

Titaanin tiheys on runsas puolet teräksen tiheydestä ja lujuus on mahdollista nostaa lujimpien terästen tasolle. Titaaniseosten käyttö onkin jatkuvasti lisääntynyt niiden alhaisen lujuus-painosuhteen sekä erinomaisen korroosionkestävyyden ansiosta. Titaaniseokset kestävät varsinkin hapettavissa olosuhteissa, joissa niiden oksidisuojakalvo toimii hyvin. Tämän vuoksi titaaniseoksia käytetään erityisen rasitetuissa pumpuissa, venttiileissä ja putkistoissa kemian- ja puunjalostusteollisuudessa sekä merivesiolosuhteissa. Muita käyttökohteita ovat nimenomaan lujuus-painosuhteen perusteella mm. lentokone-, avaruus-, laiva- ja sotatarviketeollisuus.

Tärkeimmät titaaniryhmät ovat ns. kaupallisesti puhtaat titaanit (C.P.-titaanit), joita käytetään runsaasti juuri korroosiokeston ansiosta ja seostitaaneista erityisesti ilmailuteollisuuden perusmateriaali Ti6Al4V. Ilmailuteollisuus on edelleenkin titaanin suurin käyttäjä - myös valettuina lentokoneiden ja turpiinimoottorien osina - mutta prosessiteollisuus on nykyään merkittävä käyttäjä. Viimeaikoina myös kulutustavaravalmistus ml. urheiluvälineala on alkanut hyödyntää titaanin ylivertaisia ominaisuuksia, mutta tämä edustaa kuitenkin varsin pientä volyymia.

Titaanisula on erittäin reaktiivinen ja reagoi herkästi hapen, typen sekä vedyn kanssa. Myös sen korkea sulamispiste aiheuttaa myös omat ongelmansa. Lisäksi useimmat metallit liukenevat helposti titaaniin, joka kykenee pelkistämään kaikki tavallisimmat muottimateriaalit. Titaanin valu tapahtuu joko grafiittimassoista tehtyihin muotteihin tai vahamallien avulla valmistettuihin keraamisiin muotteihin. Myös ZrO₂ ja Y₂O₃ -pohjaista muottimassoja voidaan käyttää. Sulan käsittely tapahtuu yleensä aina tyhjössä tai vähintään suojakaasussa.

Artikkeli: Titaani ja titaanin valaminen

Jarkko Nieminen - "Titaani ja titaanin valaminen - Yleistä titaanista ja poikkeavuudet normaaliin tarkkuusvalamiseen", VKS 1995

Titaani esiintyy maankuoressa ilmeniitti- ja rutiilimineraaleina ollen 0,63 %:n osuudellaan hyvin yleinen metalli. Titaanin tiheys on 4,54 g/cm³ sulamispisteen ollessa 1668 °C vaihdellen hieman eri seosten suhteen. Titaani on materiaalina erittäin reaktiivinen ja sen sulakäsittely kuten valaminen vaatii erityisolosuhteet. Raakatitaanin maailmantuotanto oli vuonna 1980 noin 85.000 tonnia. Voidaan olettaa, että tällä hetkellä tuotantomäärät ovat suurempia. Tätä tukee titaanin käytön kasvu, vaikka edelleenkin potentiaalisista käyttökohteista vain noin 10 %:ssa on todella käytetty titaania.

Ominaisuudet

Titaanilla on hyvät mekaaniset ominaisuudet normaali, mutta myös hyvin alhaisissa, lämpötiloissa. Korkeissa lämpötiloissa suositeltava raja puhtaiden titaanien osalta on noin 350 – 400 °C ja yleisimpien seosten kuten Gr.5:n noin 550 °C. On olemassa myös zirkoniseosteisia jopa valettavia titaaneja käytettäväksi erityisesti korkeissa lämpötiloissa. Yksinkertaistettuna titaanin korroosio-ominaisuudet ovat erityisen hyvät hapettavissa olosuhteissa. Tämä perustuu titaanin kykyyn muodostaa pinnalleen suojaava TiO₂ kalvo. Kalvo syntyy aina kun titaani on kosketuksessa hapen kanssa. Pelkistävissä olosuhteissa ko. kalvo sen sijaan heikkenee nopeasti päästäten materiaalin syöpymään.

Käytettäessä titaania on suunnittelussa huomioitava mm. seuraavia asioita: Lämpötilan ja olosuhteiden lisäksi erityisesti kone-elinten suunnittelussa on huomioitava titaanin korkea kitkakerroin,

jolloin hankaavassa edestakaisessa liikkeessä oleva kappale tulee pinnoittaa käyttämällä mm. molybdeenä tai nitrausta. Toinen merkittävä ja huomioitava tekijä on titaatin lämmönjohtavuus joka on huono. Väistämättä tämä aiheuttaa ongelmia korkeissa lämpötiloissa. Ratkaisuna voidaan käyttää esimerkiksi lämpöjohteita titaanikappaleen sisällä.

Titaatin ja titaanivalujen suurimmat käyttäjät

Prosessiteollisuus: Kemian- ja prosessiteollisuus ovat ylivoimaisesti suurimmat titaatin ja titaanivalujen käyttäjät: Mm. hapettavien olosuhteiden säiliöt, putkistot, venttiilit sekä pumput.

Lentokoneiteollisuus: Käyttää titaania tarkoituksena korvata teräsosia 45 % keveämmillä kappaleilla. Koneiden koosta ja käyttötarkoituksesta riippuen saattaa titaaniosien määrä kokonaisuudessa nousta jopa kymmeneen prosenttiin. Lentokonetekniikassa on myös oivallettu käyttää hyväksi titaanivaluja, erityisesti tarkkuusvaluja, joilla voidaan toteuttaa monimutkaisia ja tarkkoja runkokappaleita.

Offshore: Titaatin hyvät korroosio-ominaisuudet meriolosuhteissa antavat laivoissa ja öljynporauslautoilla pitkän käyttöiän.

Optiikka, lääketiede ja autotekniikka: Titaatin allergiaystävällisyys ja pudonneet valmistuskustannukset ovat avanneet titaanille uusia käyttökohteita mm. silmälasien sankoina. Samasta syystä titaani on mukana myös lääketieteessä. Autotekniikassa käyttöperusteet löytyvät keveys / lujuus -suhteesta.

Titaatin valaminen

Titaatin valaminen materiaalin korkeasta reaktiivisuudesta johtuen on suoritettava joko tyhjässä tai 100 % suoja kaasussa kuten argonissa. Yleisesti tunnetuimmat titaanilaadut kuten kaikki puhtaat sekä seokset, kuten Ti6Al4V ovat hyvin valettavia materiaaleja. Seosaineita tai eri komponenttien suhteita suuremman ongelman muodostavat panosmateriaalien puhtaus sekä ylimääräinen lika, kuten myös materiaaliset epäpuhtaudet ja mm. materiaalin hapen, typen sekä vedyn määrät.

Koska titaanivalujen kilohinta on "eksoottisten" pinnoitus- ja valumassojen, laitteistojen vakuumi ym. vaatimusten sekä tietyksi raaka-aineen, titaatin, hintatasosta johtuen tavallista korkeampi, on oikean kohteen valitsemisen lisäksi järkevää valaa titaani tarkkuusvaluna. Näin saadaan mahdollisimman valmis kappale ja säästetään kalliilta sekä useinkin hankaliksi muodostuvilta työstötoimenpiteiltä. Useimmat titaanivalimot toimivatkin tarkkuusvaluperiaatteella.

Laitteistoina käytetään yleisesti keskipakolinkoa jopa yli sadan kilon bruttopanoksin. Tarkkuusvalaminen sinällään edellyttää mm. titaatin suhteellisesta keveydestä ja halutusta tarkkuudesta johtuen hyvän täytön myös ohuissa tiloissa sekä valun tasalaatuisuutta. On myös huomioitava titaanivalujen korkeampi kilohinta ja yleisesti lyhyet sarjat. Yhdessä nämä kaksi tekijää eivät luo välttämättä mahdollisuutta koevaluihin. Tällöin on kyettävä muulla tavoin varmistamaan valun onnistuminen.

Sulatusmenetelmiä on yleisesti käytössä kaksi:

- Arc-menetelmä, jolloin valokaarella sulatetaan jatkuvasyötettyä ns. ingot tankoa esim. vesijähdytettyyn kupariupokkaaseen (skull). Hyötynä on suhteellinen nopeus ja haittana sivuvalokaaren vaara sekä korkea panosmateriaalin hinta.
- Induktiosulatus, jossa joko keraami/grafiitti- tai vesijähdytettyyn kupariupokkaaseen voidaan sulattaa ennalta asetettu titaanipanos. Etuna induktiomenetelmällä on turvallisuuden lisäksi mahdollisuus käyttää halvempia panosmateriaaleja sekä yksinkertaisemmat sulanhallintamenetelmät.

Uusimmat laitteistokokonaisuudet käyttävät induktiosulatusta vesijäähdytetyn kupariupokkaan yhteydessä, liitettynä mahdollisuudella syöttää sulaan puhdistettua romutitaania. Näin saadaan yhdistettyä toimintavarmuus ja panosmateriaalin alhaisempi hinta.

Molemmissa menetelmissä kaikki laitteistokokonaisuudet, jotka ovat suorassa yhteydessä sulaan, on sijoitettava vakuumitiloihin. Käytetty keskipakovalumenetelmä aiheuttaa merkittävän ongelman juuri tyhjän kehittämisen osalta. 1×10^{-2} mbar alipaineen saavuttaminen (yleensä jopa alhaisempi) laitteistossa, johon sisältyy muun muassa pyörivä linko läpiviedyin pyörintäakselein, vaatii useissa tapauksissa upokkaan ja muotin lisäksi koko sentrifugin sijoittamista alipainekammioon.

Titaanin tarkkuusvalaminen ei eroa merkittävästi muiden materiaalien tarkkuusvalamisesta kuin valulaitteiston ja pinnoitemateriaalien osalta. Keraamimuottia käytettäessä tarkkuusvalun vahauksen pinnoittamiseen käytetään yleisesti joko zirkonium tai yttrium materiaaleja. Lost wax -menetelmän ulkopuolella käytetään muotituksessa grafiittimateriaaleja. Pinnanlaatua säädellään pinnoitteen raekolla joka on hienoimmillaan 0,010-0,020mm.

Lyhyesti voidaan todeta titaanin tarkkuusvalamiseen liittyvän samat suunnitteluohjeet kuin muiden metallien tarkkuusvalamiseen, sillä menetelmä on periaatteiltaan yhtenevä. Valukappaleiden korkeamman kilohinnan takia on järkevää suunnitella kappale mahdollisimman pitkälle erityisesti valettavaksi, jotta turhilta koekappaleilta ja modifikaatiotarpeilta vältytään. Valettaessa erityisesti suuria kappaleita aiheuttaa kammion tyhjä (lämmön johtuminen) sekä yleensä esilämmitetyt muotit, kappaleen hitaan jähmettymisen ja edelleen suuntautumisen johtuvan kovan alpha -kerroksen, jonka poistamiseen on varauduttava jo kappaletta suunniteltaessa.

Valukutistumat ovat titaanille keskimäärin samat kuin teräkselle (n. 25mm/m) mutta käytännössä ne liikkuvat 15-35mm/m välillä riippuen suunnasta keskipakovoimaan sekä sentrifugin kiertosuuntaan.

Titaanin lämpökäsittelyt

Puhtaita titaaneja ei voida lujittaa lämpökäsittelyillä. Ainoastaan jännityksenpoisto tai pehmeäksi hehkuttaminen on mahdollista. Käsittelylämpötilat liikkuvat 480 – 590 °C välillä. Titaaniseoksia (α+β -titaanit) voidaan puolestaan mm. erkautuslujittaa. On suositeltavaa käyttää suojakaasu- tai vakuumiuuneja, jotta vältytään hapettumakerrokselta ja mahdollisilta pelkistävilä tekijöiltä. Erityisen oleellista lämpökäsittelyissä on jäähdyttäminen, jonka mm. jännityksenpoistoheikutuksessa on oltava erittäin tasainen. Jäähdytysaika ei sinällään ole merkityksellinen.

Isostaattinen kuumapuristus (HIP) on yleinen valunjälkeinen käsittely silloin kun halutaan varmistaa valun sisäinen laatu ja tasaisuus poistamalla valusulkeumat noin 900 °C lämmössä ja 1000 bar paineessa. HIP suoritetaan mm. kaikille lentoteknisille osille.

Taulukko 1. Titaanin ja muiden materiaalien vertailuarvoja

Aine	Tiheys kg/m ³	Sulamispiste °C	Lämpölaajene- miskerroin	Lämmön johtavuus W/Km	Sähkön johtavuus Wm	Kimmomoduli MPa
Titaani	4505	1688	8,4x10 ⁻⁶	17	55x10 ⁻⁶	106,4x10 ³
Rauta	7900	1530	12x10 ⁻⁶	63	9,7x10 ⁻⁸	206,0x10 ³
Alumiini	2700	660	23x10 ⁻⁶	205	2,7x10 ⁻⁸	69,2x10 ³
Nikkeli	8900	1453	15x10 ⁻⁶	92	9,5x10 ⁻⁸	206,0x10 ³
Kupari	8900	1083	17x10 ⁻⁶	385	1,7x10 ⁻⁸	107,9x10 ³
Ruostumaton teräs 18-8	7900	1410	17x10 ⁻⁶	16	72x10 ⁻⁸	200,1x10 ³
Messinki	8400	970	18,5x10 ⁻⁶	100	7,5x10 ⁻⁸	107,9x10 ³
Monel	8800	1325	14x10 ⁻⁶	26	48x10 ⁻⁸	179,5x10 ³