

LUT-YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

**INCONEL 706 JA INCONEL 718 MATERIAALIEN VERTAILU
TYÖSTETTÄVYYDEN OSALTA TIIVISTEKONEISTUKSESSA**

**INCONEL 706'S AND INCONEL 718'S COMPARISON OF MACHINABILITY IN
SEAT MANUFACTURING**

Lappeenrannassa 13.8.2021

Otso Korhonen

Tarkastaja: Harri Eskelinen

Ohjaaja: Harri Eskelinen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Otso Korhonen

Inconel 706 ja Inconel 718 materiaalien vertailu työstettävyyden osalta tiivistekoneistuksessa

Kandidaatintyö

2021

26 sivua, 13 kuvaa ja 4 taulukkoa

Tarkastaja: Harri Eskelinen

Ohjaaja: Harri Eskelinen

Hakusanat: Inconel 718, Inconel 706, koneistus, sorvaus, venttiili, tiivistekoneistus, venttiiliteollisuus

Tässä kandityössä tutkittiin Inconel 706 ja Inconel 718 materiaalien työstettävyyttä ja pyrittiin löytämään perusteet käyttää Inconel 706 materiaalia Inconel 718 sijasta venttiiliteollisuudessa. Tutkimus tehtiin Neles Finland Oy:n tuotekehitysosastolle käyttäen tietokantoina LUT Primoa, Google Scholaria, Neleksen omaa testi- ja tuotedataa sekä kaupallisia lähteitä materiaalin ominaisuuksista.

Inconel 706 on perusominaisuudeltaan helpommin työstettävää materiaalia verrattuna Inconel 718 materiaaliin. Neles suoritti testikoneistukset Inconel 706 materiaalille kahdella eri tehtaalla Helsingissä, Suomessa sekä Horgaussa, Saksassa. Testiajojen tulokset on koottu yhteen materiaalien hankintaprosessin datan kanssa.

Työn tuloksena on löydetty selkeät perusteet käyttää materiaalina Inconel 706:sta Inconel 718 sijasta. Testiajoissa kävi ilmi, että Inconel 706 on huomattavasti helpommin työstettävää materiaalia rouhintakoneistuksen osalta. keraamisilla työkaluilla ja niillä saavutettiin 10-kertainen nopeus ja kovametallityökaluilla kolminkertainen nopeus verrattuna Inconel 718 materiaalin koneistukseen. Myös urien koneistaminen oli pääasiaa helpompaa ja koneistuksen aikana esiintyi huomattavasti paljon vähemmän ongelmia. Työkalujen kestoikä parani n. 33 %. Myös Inconel 706 Materiaalin saatavuus on parempaa ja hinta halvempaa eri kokoluokissa verrattuna Inconel 718.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Otso Korhonen

Inconel 706's and Inconel 718's comparison of machinability in seat manufacturing

Bachelor's thesis

2021

26 pages, 13 figures and 4 tables

Examiner: Harri Eskelinen

Supervisor: Harri Eskelinen

Keywords: Inconel 718, Inconel 706, machining, turning, seat manufacturing, valve industry

This bachelor's thesis is a research of machinability of Inconel 706 and Inconel 718 material. The goal for this study is to find the basics for using Inconel 706 material instead of Inconel 718 in the valve industry. The study was made for Neles Finland Oy's product development department using LUT Primo, Google Scholar, Neles' own test and product data as well as commercial sources on material properties.

Inconel 706 material is easier to machine compared to Inconel 718. Neles performed machining tests on Inconel 706 material at two different plants, in Helsinki, Finland and in Horgau, Germany. The results of the test runs are compiled with the data from the material procurement department.

As a result of the work, clear grounds have been found to use Inconel 706 instead of Inconel 718 as material. The test showed that Inconel 706 is a much easier material to process for rough machining. Ceramic tools achieved 10 times the machining speed and carbide tools three times the machining speed compared to the machining of Inconel 718 material. Groove machining was also faster and easier and there were far fewer problems during machining generally. The tool insert life also improved by approx. 33%. Inconel 706 is also cheaper and more readily available in different sizes than Inconel 718.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty Neles Finland Oy:n tuotekehitysosastolle osana Neleksen Horgaun ja Helsingin tehtaan yhteistä Inconel 706 tuotekehitysprojektia. Haluan kiittää erityisesti firman edustajista Vesa Sinisaloa ja Jari Tiikkaista, jotka mahdollistivat minun osallistumiseni tähän projektiin pikaisella aikataululla. Haluan myös kiittää koulun puolelta ohjaajaani Harri Eskelistä kaikesta siitä tuesta, jonka hän on minulle koulun suorittamiseen vuosien varrella antanut.

Otso Korhonen

Otso Korhonen

Lappeenrannassa 13.8.2021

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
KÄYTETYT LYHENTEET JA SYMBOLIT.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Tutkimuksen tausta	8
1.2 Tutkimuksen tavoite	8
1.3 Tutkimuksen suorittaminen	9
1.4 Tutkimuskysymykset.....	9
2 YLEISTÄ TIIVISTEVALMISTUKSESTA JA SUPERSEOKSISTA	10
2.1 Tiivisteet ja niiden valmistus	10
2.2 Tiivistekoneistuksessa käyttävät Superseosmateriaalit	11
2.3 Paljettiiviste.....	12
3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA KONEISTUSTEN TESTILAITTEISTO	15
3.1 Käytetyt materiaalihiot.....	15
3.2 Materiaalin hankinta	15
3.3 Koneistusteissa käytetty laitteisto	16
3.4 Tutkimusmenetelmät	19
4 MITTAUSTULOKSET JA KÄYTTÄJÄKOKEMUKSET	20
4.1 Horgaun tehtaan testitulokset.....	20
4.2 Helsingin tehtaan testitulokset	21
5 POHDINTA	23

5.1	Vertailu ja yhtymäkohdat aiempiin tutkimuksiin	23
5.2	Tutkimuksen luotettavuus	23
5.3	Johtopäätökset.....	23
5.4	Tulosten yleistettävyys ja uutuusarvo	24
5.5	Jatkotutkimusaiheet	24
7	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET	26
	LIITTEET	27

KÄYTETYT LYHENTEET JA SYMBOLIT

∅	Kappaleen halkaisija [mm]
CNC	Computer Numerical Control (Tietokoneohjattu numeerinen ohjaus)
Lead-time	Tietyn tuotteen tuotantoprosessin kokonaisläpimenoaika
NC	Numerical Control (Numeerisesti ohjattu)
UNS N07718	Inconel 718 materiaalin DIN standardin mukainen merkintä
UNS N09706	Inconel 706 materiaalin DIN standardin mukainen merkintä

1 JOHDANTO

Neles Finland Oy tuottaa monenlaisia venttiileitä ja muita virtausratkaisuja asiakkaiden vaatimusten ja toiveiden mukaan. Näiden toteuttamiseksi Neles pyrkii jatkuvasti kehittämään toinen toistaan parempia ja optimoidumpia tuotteita asiakkaan tarpeiden mukaan. Kokonainen venttiili koostuu monesta osasta, jotka valmistetaan eri osastoilla, joten tuotekehitystä voidaan tehdä monella eri osa-alueella. Tässä kandidaatin työssä keskitytään tiivistekoneistuksen tuotantoprosessin optimointiin materiaaliteknisestä näkökulmasta.

1.1 Tutkimuksen tausta

Neles Finland Oy käyttää nykytilanteessa tiettyjen venttiilien paljettiivisteiden valmistamiseen Inconel 718 materiaalia. Inconel 718 materiaalin ongelmana on sen huono työstettävyys, jolloin kappaleiden koneistaminen joudutaan tekemään hitailla parametreilla, joka taas johtaa suurempaan tiivisteiden läpimenoaikaan (Lead-time). Inconel 718 materiaalista koneistetut kappaleet myös omaavat huonosta koneistettavuudesta johtuvaa laatuongelmaa, josta yritetään päästä eroon valmistamalla kappaleet uudesta materiaalista. Ja koska tiiviste on vain yksi osa kokonaisesta venttiilistä, hidastuu koko venttiilin toimitusketju näiden ongelmien takia.

Neles lähtenyt ratkaisemaan tätä ongelmaa etsimällä vastaavilla ominaisuuksilla olevaa materiaalia korvaamaan tuon edellä mainitun Inconel 718 materiaalin ja tekemällä tälle materiaalille testiajoja. Potentiaaliseksi korvaavaksi materiaaliksi valikoitui lähes samat ominaisuudet omaava Inconel 706. Testiajot suoritettiin Nelesin Suomen tehtaalla Vantaan Hakkilassa ja Neles Germany GmbH tehtaalla Horgaussa, Saksassa.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on löytää perusteet käyttää Inconel 706 materiaalia Inconel 718 sijasta tiivistekoneistuksessa. Tarkemmin määriteltynä perusteet tulee löytää työstettävyuden, hankintahinnan sekä toimitettavien raaka-aine aihoiden karkaisuasteen perusteella.

1.3 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimus suoritetaan kokoamalla Inconel 706 materiaalin testiajojen tulokset yhteen ja vertailemalla niitä jo tuotannossa olevan Inconel 718 materiaalin arvoihin. Tutkimuksessa hyödynnetään SWOT-analyysia, työstökoneiden käyttäjien käyttäjäkokemuksia sekä teoretietoa materiaalien ominaisuuksista.

1.4 Tutkimuskysymykset

Miksi on tärkeää tehdä tämä vertailu eri materiaalien välillä?

Miten tutkimus vaikuttaa tuotantoon jatkossa?

Mitkä ovat korvaavan materiaalin (Inconel 706) vahvuudet ja heikkoudet suhteessa nykyisin käytössä olevaan materiaaliin (Inconel 718)?

2 YLEISTÄ TIIVISTEVALMISTUKSESTA JA SUPERSEOKSISTA

2.1 Tiivisteet ja niiden valmistus

Venttiilejä on monenlaisia ja tiiviste on olennainen osa kokonaista venttiiliä. Venttiilit valmistetaan lähtökohtaisesti asiakkaan tarpeiden mukaan. Asiakkaana toimivat lähes kaikki teollisuuden alat, joten venttiilien ja eteenkin tiivisteiden vaatimuksena voi olla esimerkiksi lämmön-, kylmän-, tai korroosionkesto. Venttiilien tulee myös kestää tietty määrä käyttösyklejä ja -vuosia. Näiden kriteerien perusteella valitaan käytettävä materiaali ja pinnoite, josta tiivistettä lähdetään työstämään.

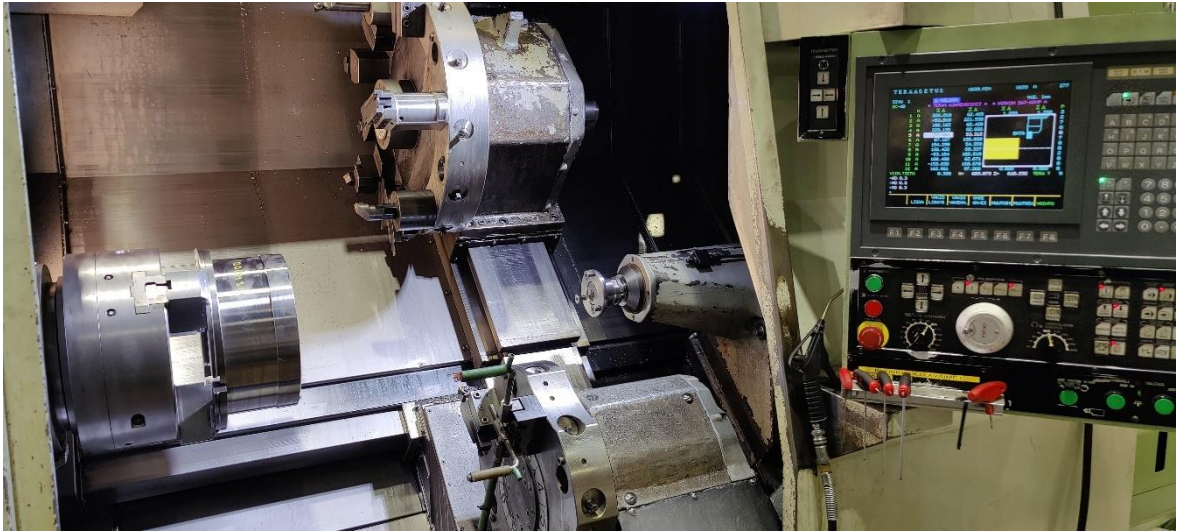
Tiivisteiden valmistaminen on moniportainen ketju, joka voi sisältää rouhintakoneistusta, viimeistelykoneistusta, pinnoitusta, pinnoitushitsausta ja hiontaa. Tyypillinen valmistusketju tavalliselle tiivisteelle menee näin:



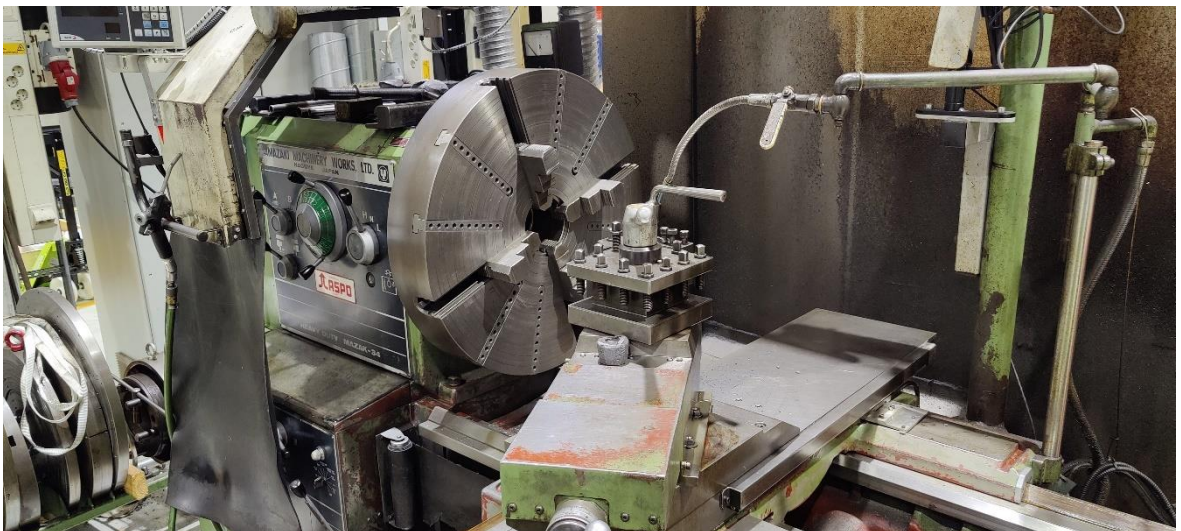
Tiivisteet myös mitataan, testataan ja käsitellään vaadittujen standardien ja toleranssien mukaan. Näistä esimerkkeinä lämpö- ja kylmäkäsittely, kovuusmittaukset ja yleiset geometriset mittaukset.

Tiivisteet ovat yleensä, kuten muutkin virtaus putkistot, poikkipinnaltaan ympyröitä, joten tiivisteiden koneistaminen tapahtuu sorvaamalla. Sorvaaminen on lastuava työstömenetelmä, jossa työstettävä kappale on kiinnitetty tietyn akselin (yleensä z-akselin) ympäri pyörivään karaan ja jota työstetään z- ja x akselin suunnassa liikkuvalla stationäärisellä työkalulla. (Ansaharju, Maaranen, 1997)

Tiivistekoneistuksessa käytetään yleensä käsin ohjattavia NC- tai tietokoneohjattuja CNC-sorveja, mutta joskus myös vaativissa tilanteissa perinteisiä täysin manuaalisia sorveja.



Kuva 1. NC-sorvi.



Kuva 2. Manuaalisorvi.

2.2 Tiivistekoneistuksessa käytävät Superseosmateriaalit

Tiivistekoneistuksessa käytetään monia superseoksiin kuuluvia materiaaleja, mutta tässä työssä keskitytään ainoastaan Inconel 706 ja Inconel 718 materiaaleihin. Molemmat Inconel 706 (UNS N09706) ja Inconel (UNS N07718) kuuluvat superseoksiin, jolla tarkoitetaan metalliseoksia, jotka säilyttävät mekaaniset ominaisuutensa vaativissa olosuhteissa, kuten korkeissa lämpötiloissa. Superseokset pohjautuvat yleensä rautaan, kobolttiin tai nikkeliin ja niiden lisäaineina käytetään tyypillisesti alumiinia, titaania, niobiumia, volframia ja molybdeenia. (Materials science & engineering. A, Structural materials, 1988)

Inconel 706 on rautapohjainen superseos, jolla erinomaiset mekaaniset ominaisuudet yhdistettynä, loistavaan korroosion ja hapettumisen keston sekä hyvään karkaisukykyyn. Inconel 706 koostuu pääasiassa nikkelistä (n. 40 %), kromista (n. 15 %) raudasta (38 %) ja niobiumista (n. 3 %), mutta sisältää myös muita seosaineita. Tarkemmat materiaaliominaisuudet on esitetty liitteessä 1. (Pender, 2007)

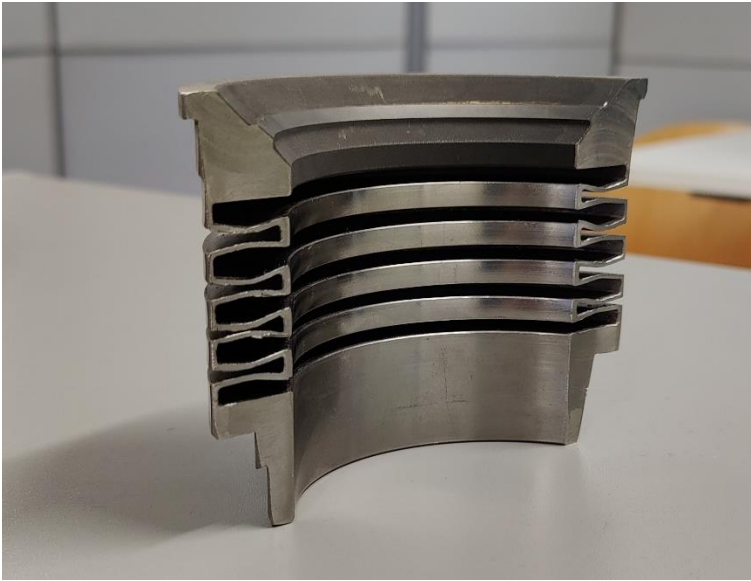
Inconel 718 on laajasti käytetty nikkelpohjainen superseos. Myös se omaa erinomaiset mekaaniset ominaisuudet, korroosionkeston ja hapettumisenkeston kuten Inconel 706. Suurimpana erona verrattuna Inconel 706:n on seosaineiden määrät. Inconel 718 koostuu pääasiassa nikkelistä (n. 50 %), kromista (n. 20 %), raudasta (17 %) ja niobiumista (n. 5 %). Tarkemmat Inconel 718 materiaalin ominaisuudet löytyvät liitteestä 2. (Materials science & engineering. A, Structural materials, 1988)

Liitteiden 1 ja 2 taulukoita vertaillen Inconel 706 ja 718 näyttävät ominaisuuksiltaan samankaltaisilta, mutta niiden työstettävyydessä on suuria eroja. Inconel 706 on pohjatietoon perustuen huomattavasti helpommin työstettävää kuin Inconel 718. (Pender, 2007)

2.3 Paljettiiviste

Paljettiiviste on eräänlainen jousi, joka painaa tiivisteeseen pallopinnan palloa vasten siten tehden koko venttiiliin tiiviiksi. Kuvassa 3 on esimerkki erään paljettiivisteeseen poikkileikkauksesta ja kuvassa 5 kokonaisen palloventtiilin kokoonpanorakenne, josta selviää edellä mainittu venttiilin toimintaperiaate. Joskus palkeen tiivisteosa ja jousiosa voivat olla erilliset, kuten tässä kuvan 5 esimerkissä. Silloin kyseessä on takajousi. Liitteessä 3 on esitetty venttiiliin kuuluvan takajousen tekninen piirustus.

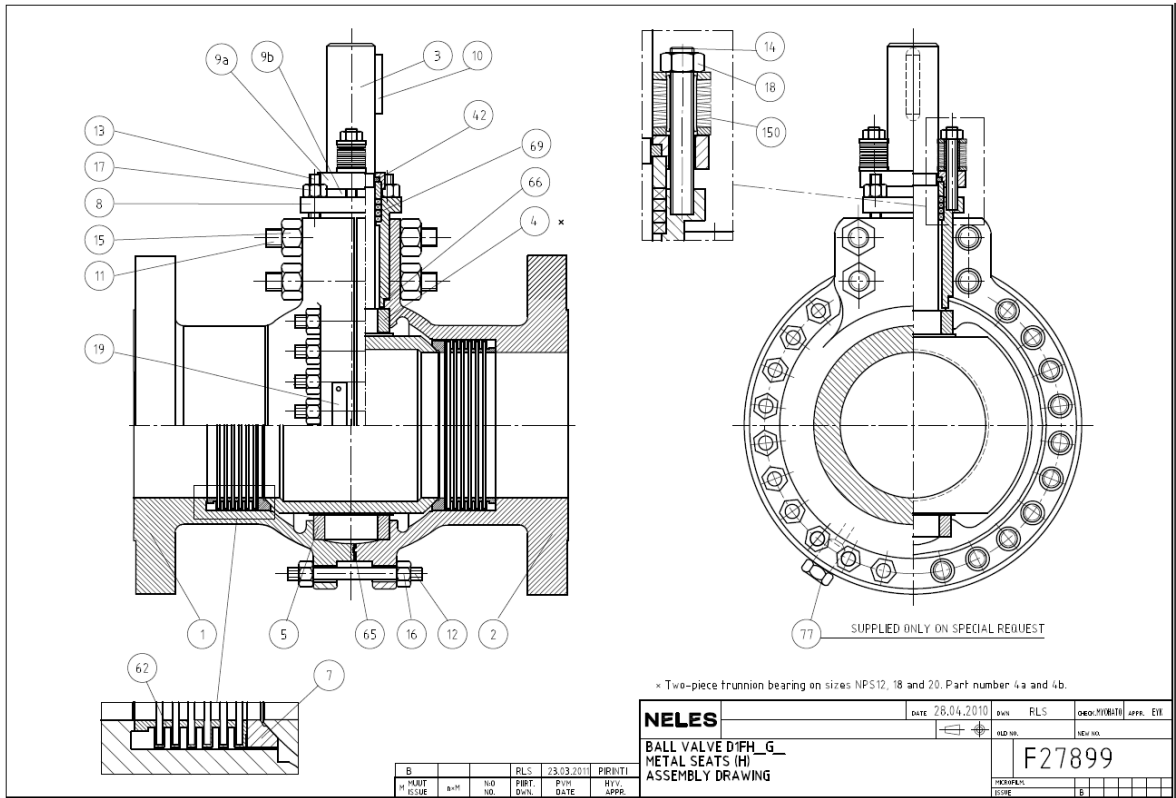
Paljettiivisteeseen koneistaminen vaatii sorvilla useita työkaluja ja työvaihteita, joten koneistusprosessin optimoiminen on hyvin tärkeää pienen läpimenoajan saavuttamiseksi. Eniten aikaa koneistuksen osalta kuluu palkeen rouhimiseen sekä urien koneistamiseen, joten materiaalin työstettävyydellä on hyvin suuri merkitys.



Kuva 3. Paljettiivistein poikkileikkaus.



Kuva 4. Paljettiiviste.



Kuva 5. Palloventtiilin kokoonpanokuva.

3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA KONEISTUSTEN TESTILAITTEISTO

Kappaleessa kolme käydään läpi tutkimuksen suorittamista, käytettyjä materiaalihiokokoja sekä tutkimuksessa käytettyä testilaitteistoa. Tutkimus suoritettiin tekemällä kokeelliset koneistustestit Inconel 706 materiaalille Neleksen kahdella eri tehtaalla. Koneistustestit tehtiin Neleksen Suomen tehtaalla Vantaan Hakkilassa ja Neles Germany GmbH tehtaalla Horgaussa, Saksassa. Testisajojen tuloksia vertailtiin vastaaviin jo olemassa olevien Inconel 718 materiaalista valmistettujen tuotteiden koneistusarvoihin. Tämän lisäksi tutkimuksessa vertailtiin Inconel 706 materiaalin saatavuutta ja hankintahintaa verrattuna Inconel 718 materiaaliin. Molempia materiaaleja on helposti tilattavissa ja näiden toimitusajalle ja -hinnalla on olemassa selkeät taulukot Neleksen materiaalihankinnan osastolla.

3.1 Käytetyt materiaalihiot

Inconel 706 materiaalin ensimmäistä testiajopakettia varten Neleksen ja Horgaun tehtaat tilasivat yhteensä 621 kg (Helsinki 511 kg, Horgau 110 kg) raaka-ainetta, jotka toimitettiin valmiina ahioputken pätkinä. Taulukossa 1 on esitetty materiaalihioiden karkaisuaste sekä mitat ja painot ennen ja jälkeen esikoneistuksen. (Neles Horgau-Helsinki testidata, 2021)

Taulukko 1. Materiaalihiot.

Tehtas	Kappaleen nimi	Materiaalin toimitustila	Taosaihion raakamitat						Esikoneistetun aihion raakamitat					
			D+	d-	D	d	L	Paino [kg]	D	d	L	Esikoneistettu paino [kg]	Ostettu määrä [Kpl]	Ostettu määrä [kg]
Helsinki	BLANK RING 370/290 x 200	Solution annealed*	20	20	390	270	200	101	370	290	200	67	1	101
	BELLOW SEAT D1F 06 C3		20	20	230	130	150	35	210	145	140	21	1	35
	BELLOW SEAT D1F 16 C3		20	20	490	350	250	186	465	370	230	116	1	186
	BELLOW SEAT D1F 10		20	20	350	220	160	75	325	244	155	46	1	75
	BELLOW SPRING D1F14		20	20	430	310	160	90	412	326	152	61	1	90
	BELLOW SEAT D1F 04 C3		20	10	180	80	140	24	160	85	130	16	1	24
Horgau	BLANK RING 120/75 x 150	Precipitation hardened**	15	15	120	60	150	11	120	75	150	9	1	11
	BLANK RING 170/125 x 150		15	15	170	110	150	16	170	125	150	13	1	16
	BLANK RING 220/180 x 150		20	20	240	160	150	31	220	180	150	16	1	31
	BLANK RING 280/210 x 150		20	20	300	190	150	52	280	210	150	33	1	52

*Lämpökäsittelyn jälkeen pehmeä aines

**Lämpökäsittelyn jälkeen kova aines

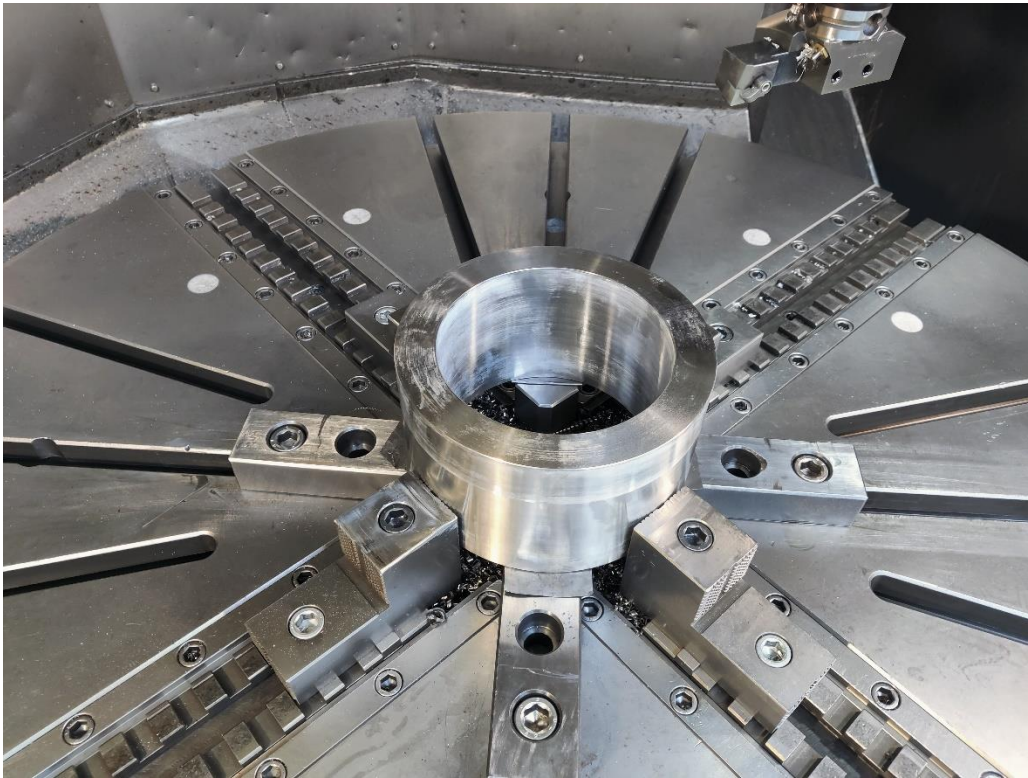
3.2 Materiaalin hankinta

Inconel 706 ja Inconel 718 materiaalia on saatavilla niin Euroopasta kuin Aasiastakin. Euroopasta hankittuna Inconel 706 on halvempaa kuin Inconel 718, mutta saatavuus rajoittuu tiettyihin kokoihin. Aasiasta hankittuna Inconel 706 on suunnilleen

samanhintaista kuin Inconel 718 ja lisäksi Aasiasta materiaaliaihioita on saatavilla kaikissa eri kokoluokissa. (Neles hankintaosasto, 2021)

3.3 Koneistustesteissä käytetty laitteisto

Horgaun testiajoissa käytettiin Dörriksen valmistamaa vertikaalista manuaalisorvia isoimpiin ($\varnothing > 300$ mm) kappaleisiin ja DUS:n valmistamaa NC-sorvia pienempiin ($\varnothing 120$ - 240 mm) kappaleisiin. Kuvissa 6 ja 7 Horgaun tehtaan testilaitteistoa. Testissä käytettiin pääasiassa kovametallityökaluja, mutta myös isompien kappaleiden rouhimista testattiin keraamisilla työkaluilla.

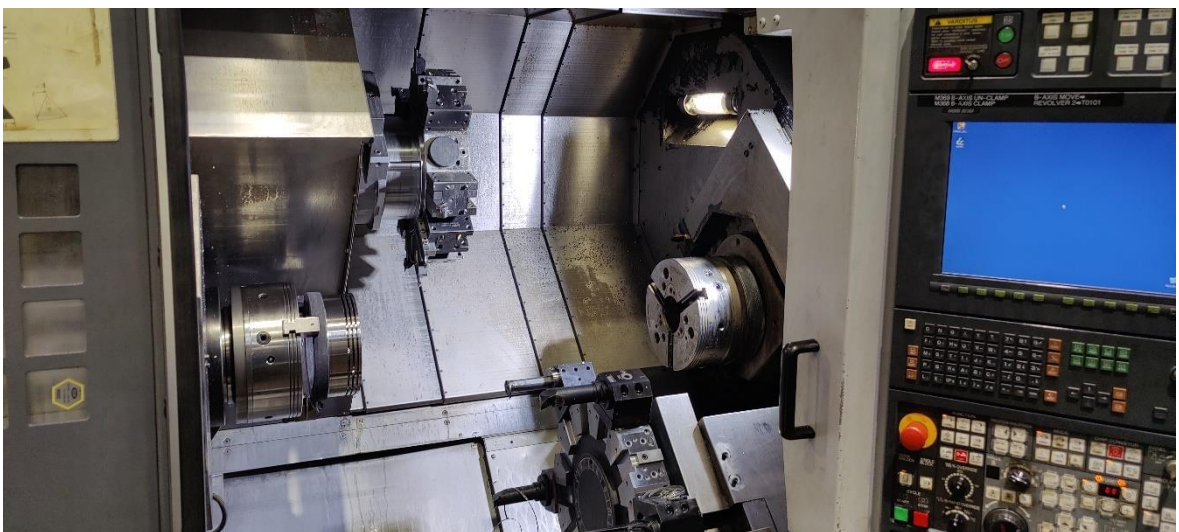


Kuva 6. Testikappale Dörriksen vertikaalisorvissa.



Kuva 7. Testikappale kiinni DUSin sorvissa.

Helsingin tehtaalla testiajot pienempien kappaleiden (\varnothing 120 - 240 mm) suoritettiin Mori Seikin ZT2500 NC-sorvilla ja suurempien (\varnothing >300 mm) Mori Seikin SL-603 NC-sorvilla. Helsingissä käytettiin molempia sekä keraamisia että kovametallisia työkaluja. Kuvissa 8–11 Helsingin tehtaan testilaitteistoa.



Kuva 8. Mori Seiki ZT2500 NC-sorvi.



Kuva 9. Mori Seiki ZT2500 NC-sorvi.



Kuva 10. Mori Seiki SL-603 NC-sorvi.



Kuva 11. Mori Seiki SL-603 NC-sorvi.

3.4 Tutkimusmenetelmät

Tämä kandidaatintyö on käytännössä tutkimus, jossa nidotaan yhteen kokeellisten testiajojen tulokset ja yhdistetään ne materiaalin hankintahintaan ja saatavuuteen. Näiden perusteella pyritään löytämään perusteet käyttää Inconel 706 materiaalia Inconel 718 materiaalin sijasta tuotannossa. Tutkimuksessa hyödynnettiin klassista SWOT-analyysia erittelemään Inconel 706 materiaalin haittoja, hyötyjä, uhkia sekä mahdollisuuksia.

Itse kokeellinen tutkimus suoritettiin tekemällä testiajot uudella materiaalilla (Inconel 706) ja vertaamalla sitä olemassa olevaan Neleksen Inconel 718 materiaalista valmistettujen tuotteiden dataan. Testiajoilla saatiin suoraan verrannollista numeerista dataa leikkausnopeuden, syötön, lastuamissyvyyden ja pinnanlaadun osalta. Numeerisia arvoja tuki myös koneistajien antamat käyttäjäkokemukset, sillä koneistuksessa, eteenkin palkeiden koneistuksessa esiintyy hyvin usein ongelmia esimerkiksi lastunpoiston ja -katkeamisen kanssa. Tästä syystä käyttäjäkokemus siitä kuinka hyvin ja kivuttomasti kappaleen koneistus on oikeasti mennyt.

Testiajoissa käytettiin myös erilaisia työkaluja (keraamisia ja kovametallisia). Työkalujenkin osalta saatiin niiden kestävydestä ja käytettävyydestä hyvää vertailudataa suhteessa aiempaan.

4 MITTAUSTULOKSET JA KÄYTTÄJÄKOKEMUKSET

4.1 Horgaun tehtaan testitulokset

Horgaun testitulokset on esitetty taulukossa 2. Taulukossa Inconel 706 on mitattu arvo sekä Inconel 718 se arvo johon mittauksia verrataan.

Taulukko 2. Horgaun testitulokset.

Materiaali	Leikkausnopeus (keraaminen) Vc [m/min]	Lastuamissyvyys Ap [mm]	Syöttö Fz [mm]
Inconel 706	200	1,5	0,12
Inconel 718	40	2	0,18

Materiaali	Leikkausnopeus (kovametalli) Vc [m/min]	Lastuamissyvyys Ap [mm]	Syöttö Fz [mm]
Inconel 706	80	2	0,05
Inconel 718	40	2	0,18

Materiaali	Pinnanlaatu Ra
Inconel 706	0,55
Inconel 718	0,90

Horgaun testeissä huomattiin myös työkalujen kestävän 33 % pidempään verrattuna Inconel 718 materiaalin työstämiseen. Myös käyttäjäkokemuksena Inconel 706 tuntui olevan huomattavasti helpommin koneistettavaa ja ongelmia esiintyi vähemmän koneistuksen aikana. Pinnanlaatu parani myös huomattavasti.

4.2 Helsingin tehtaan testitulokset

Helsingin testitulokset esitetty taulukossa 3. Taulukossa Inconel 706 on mitattu arvo sekä Inconel 718 se arvo johon mittauksia verrataan

Taulukko 3. Helsingin testitulokset.

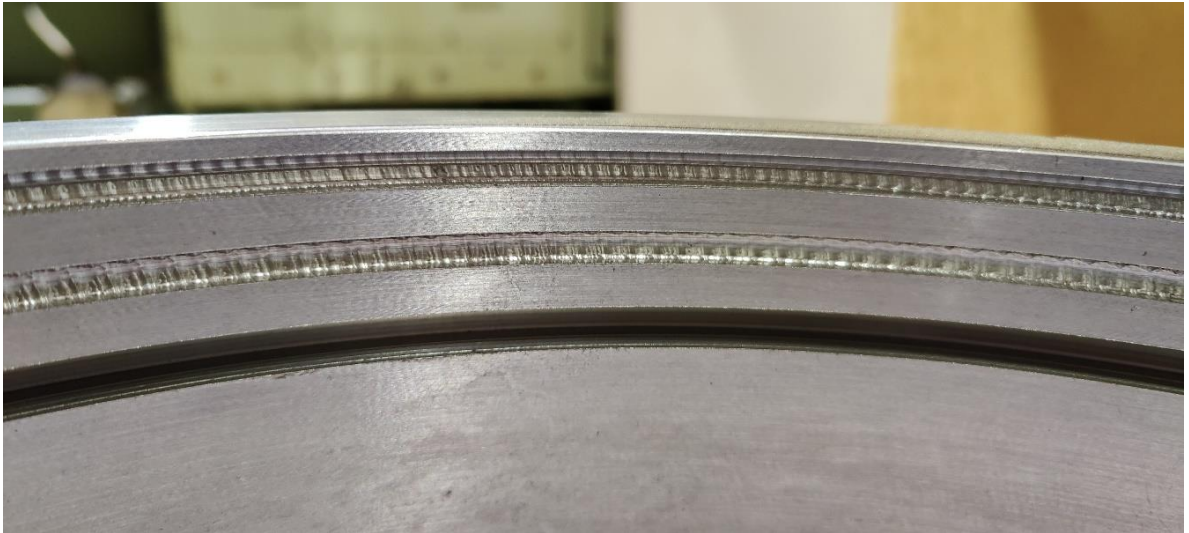
Materiaali	Leikkausnopeus (Rouhinta) Vc [m/min]	Lastuamissyvyys Ap [mm]	Syöttö Fz [mm]
Inconel 706	250	2	0,4
Inconel 718	250	3,5	0,25

Materiaali	Leikkausnopeus (urat, ulko) Vc [m/min]	Leikkausnopeus (urat, sisä) Vc [m/min]	Syöttö Fz [mm]
Inconel 706	300	300	0,04 - 0,06
Inconel 718	325	275	0,04 - 0,06

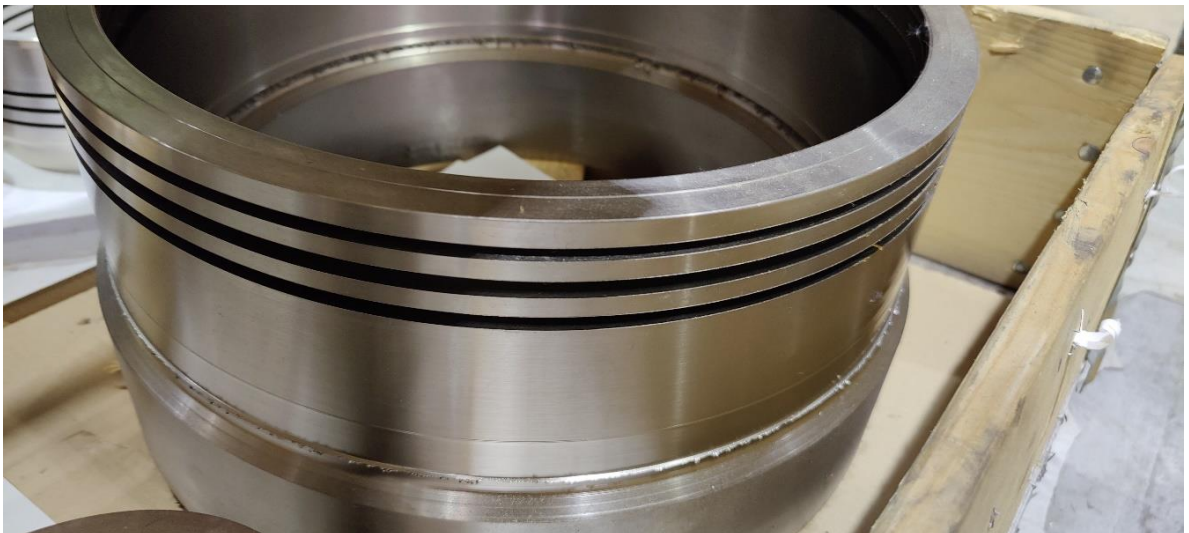
Materiaali	Pinnanlaatu Ra
Inconel 706	0,4
Inconel 718	0,90

Helsingin testeissä D1F 14 paljettiivisteeseen (eli 14") testissä keraamisilla työkaluilla, rouhintakoneistusta onnistui käyttäjäkokemuksen mukaan merkittävästi paremmin kuin Inconel 718 sorvatessa. Myös urien koneistus onnistui ja ulommat urat onnistuivat hieman paremmin, mutta sisäurien kanssa oli haasteita ja niiden koneistaminen ei ollut yhtä kivutonta. Helsingin testissä työkalut kestivät 10 kertaa paremmin uuden Inconel 706 materiaalin kanssa.

D1F 16 paljettiivisteeseen (16") testissä rouhintakoneistus onnistui huomattavasti paremmin kuin Inconel 718:lla, mutta urien koneistus ei onnistunut ollenkaan ja testi jouduttiin keskeyttämään. Keraamiset työkalut hajosivat urien koneistamisen aikana ja siten urien toleranssit eivät osuneet kohdilleen. Kuvassa 12 on esitettyä testikappaleen epäonnistuneita sisäuria.



Kuva 12. Epöonnistuneet sisäurat.



Kuva 13. Ulkopuoliset urat.

5 POHDINTA

5.1 Vertailu ja yhtymäkohdat aiempiin tutkimuksiin

Tutkimuksella on oikein hyvät vertailukohdat, sillä se on suoraan rinnastettavissa jo pitkään käytössä olleiden Inconel 718 materiaalista valmistettujen tuotteiden valmistukseen. Inconel 706 ja 718 materiaalin koneistettavuutta on tutkittu aiemmissä tutkimuksissa, sillä Inconel superseoksia käytetään laajalti mm. ilmailuteollisuudessa.

5.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimus ja testiajot olivat onnistuneita ja testiajoista saatuja koneistusarvoja, ja ammattikoneistajien käyttäjäkokemuksia voidaan pitää luotettavana. Toisaalta vaikka tämä tutkimus onnistuikin hyvin, on se silti todella suppea osuus kokonaiskuvasta. Itse tiiviste on vain pieni osa kokonaista venttiiliä ja uuden materiaalin vaikutukset muihin osiin eivät ole tiedossa ja lisätestejä sen suhteen tarvitaan. Eteenkin tiiveystestit olisivat ehdottoman tärkeää tehdä. Inconel 706 materiaali toimitetaan yleensä pehmeämmässä *solution annealed* karkaisuasteessa verrattuna Inconel 718 materiaalin kovempaan *precipitation hardened* karkaisuasteessa, joten sen vaikutukset venttiilin toimintaan ja käyttöikään tulisi tutkia. Myöskin testeissä oli vain pieni osa kaikista käytössä olevista venttiiliko'ista, joten testejä tulisi tehdä myös muille, eteenkin isommille tiivisteille.

5.3 Johtopäätökset

Testiajojen perusteella pystymme sanomaan, että on olemassa perusteet korvata käytössä oleva Inconel 718 materiaali uudella Inconel 706 materiaalilla. Myöskin pinnanlaadun paraneminen antaa selkeät perusteet vaihtaa materiaalia, sillä parempi pinnanlaatu vähentää suoraan venttiilin vuotoarvoa ja siten vähentää työtä koneistuksen jälkeisissä vaiheissa. Inconel 706 materiaalia on myös saatavilla kaikissa eri kokoluokissa ja sen hankintahinta ja saatavuus on sama tai halvempi kuin Inconel 718, joten hankinta ei aiheuta ongelmia Inconel 718 korvaamisessa.

5.4 Tulosten yleistettävyys ja uutuusarvo

Tulokset ovat helposti yleistettävissä, sillä materiaalitutkimus ja lastuava työstö eivät ole uusia tutkimusaiheita. Uutuusarvoa tälle tutkimukselle tuo se, ettei vastaavanlaista tutkimusta ole tehty venttiiliteollisuuden tarpeisiin.

5.5 Jatkotutkimusaiheet

Niin kuin edellä mainittiinkin, muita osa-alueita tulisi tutkia tarkemmin ennen lopullisten päätösten tekemistä. Lisätutkimukset eteenkin isommista tiivisteko'oista, materiaalin kovuusvaatimuksista ja tiivisteiden tiiviysteistä antaisivat lisäperusteita Inconel 706 käytölle. Myös vaatimukset karkaisuasteelle ja niiden vaikutukset laatuun olisi hyvä selvittää. Inconel 706 ei myöskään ole tietyissä Pohjois-Amerikkalaisissa standardeissa (kuten öljy- ja kaasualalla) hyväksytty materiaali, joten senkin selvittäminen on ehdottoman tärkeää ennen materiaalin virallista käyttöönottoa.

7 YHTEENVETO

Kaiken kaikkiaan koneistustestit onnistuivat hyvin ja niistä saatiin hyvin dataa Inconel 706 materiaalista. Taulukkoon 4 on koottu SWOT-analyysi Inconel 706 materiaalin hyödyistä ja haitoista.

Taulukko 4. SWOT-analyysi Inconel 706 materiaalista.

Vahvuudet	Heikkoudet
Työkalujen kestoikä paranee Koneistusprosessi nopeutuu Lead-time pienenee Pinnanlaatu paranee Geometriset toleranssit paranevat Hankintahinta pienenee? Saatavuus paranee?	Toimitustilan (karkaisuasteen) ongelmat Uritus ei onnistu
Mahdollisuudet	Uhat
Tuotteiden kate nousee Tehtaan tuottavuus paranee Asiakastoimitukset nopeutuvat Tilauskanta kasvaa Virhemarginaali pienenee	Kappaleiden ongelmat ilmenevät vasta myöhemmin Materiaali ei mene standardeista läpi Korjauskustannukset lisääntyvät

Tutkimus on melko suppea osa kokonaisuudesta, jolla lopulliset päätökset materiaalin vaihtamiseen saataisiin. Osasy syy tutkimuksen suppeuteen on materiaalien hinta, sillä Inconel on erittäin kallista. Lisäksi testiajoissa käytetyt kappaleet ovat käytännössä täysin ylimääräisiä ja menevät hylkyyn testien jälkeen. Testiajot myös suoritettiin normaalin tuotannon ohella, joten tuotantokapasiteetin uhraaminen tällaiseen ei ole aivan jokapäiväistä hommaa. Kokonaisuudessaan tämä kandidityö onnistui hyvin ja pysyi asetettujen rajausten sisällä.

LÄHTEET

Ansaharju, T. & Maaranen, K. 1997, *Koneistus*, WSOY, Helsinki

Inconel 706 materiaaliominaisuudet [verkkotaulukko]. Viitattu [13.8.2021]. Saatavissa:
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ec986b350d4d43cda9f309fb72761663&ckck=1>

Inconel 718 materiaaliominaisuudet [verkkotaulukko]. Viitattu [13.8.2021]. Saatavissa:
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=94950a2d209040a09b89952d45086134>

"Materials science & engineering. A, Structural materials (Online)", 1988, *Materials science & engineering. A, Structural materials (Online); Materials science & engineering. A, Structural materials*, .

Misty Pender, 2007, *Inconel Alloy 706* [Verkkodokumentti]. Viitattu 13.8.2021 Saatavissa:
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.205.6864&rep=rep1&type=pdf>

Neles Horgau-Helsinki testidata, yrityksen sisäinen materiaali, ei saatavilla, 2021

Neles materiaalinen hankintaosasto, yrityksen sisäinen materiaali, ei saatavilla, 2021

LIITTEET

Liite I:

Inconel 706 materiaaliominaisuustaulukko

Special Metals INCONEL® 706 Precipitation Hardening Alloy, Hot Finished Rod, 3 Part Heat Treatment, 8.0 inch (203 mm) Diameter		
Categories:	Metal; Nonferrous Metal; Nickel Alloy; Superalloy; Iron Base	
Material Notes:	<p>Tensile strength (ultimate and yield), compressive strength, reduction of area, and elongation values reported here are typical for Hot Finished Rod, 3 Part Heat Treatment, 8.0 inch (203 mm) Diameter samples. Density and magnetic permeability are typical of precipitation hardened INCONEL® alloy 706. Other property values are typical of INCONEL® alloy 706.</p> <p>For optimum creep and rupture properties, the alloy receives a three part heat treatment as follows: Solution treat 1700-1850°F (925-1010°C) for a time commensurate with section size, then air cool. Stabilizing treatment 1550°F (845°C)/3 hr, air cool. Precipitation treatment 1325°F (720°C)/8 hr, furnace cool at 100°F (55°C)/hr to 1150°F (620°C)/8 hr, air cool.</p> <p>Data provided by the manufacturer, Special Metals.</p>	
Physical Properties		
Density	Metric 8.08 g/cc	Comments Precipitation Hardened
Mechanical Properties		
Tensile Strength, Ultimate	Metric 1300 MPa	
Tensile Strength, Yield	Metric 1010 MPa @Strain 0.200 %	
Elongation at Break	18 %	
Reduction of Area	28 %	
Modulus of Elasticity	Metric 210 GPa	Dynamic Method
Compressive Yield Strength	Metric 1102 MPa	(0.2% Offset) Thickness not reported for this value
Poissons Ratio	0.382	Calculated by mfr.
Shear Modulus	Metric 76.0 GPa	Dynamic Method
Electrical Properties		
Electrical Resistivity	Metric 0.000985 ohm-cm	
Magnetic Permeability	1.tammi	at 200 Oersted (15.9 kA/m); Annealed
Curie Temperature	Metric ≤ -78.0 Å°C	
Thermal Properties		
CTE, linear	Metric 13.46 Åµm/m-Å°C @Temperature 24.0 - 100 Å°C	Mean
	Metric 15.08 Åµm/m-Å°C @Temperature 24.0 - 300 Å°C	Mean
	Metric 15.59 Åµm/m-Å°C @Temperature 24.0 - 500 Å°C	Mean
	Metric 16.42 Åµm/m-Å°C @Temperature 21.0 - 700 Å°C	Mean
Specific Heat Capacity	Metric 0.444 J/g-Å°C	
Thermal Conductivity	Metric 12.5 W/m-K	
Melting Point	1334 - 1371 Å°C	
Solidus	1334 Å°C	
Liquidus	1371 Å°C	
Component Elements Properties		
Aluminum, Al	Metric ≤ 0.060 %	
Boron, B	Metric ≤ 0.0060 %	
Carbon, C	Metric ≤ 0.30 %	
Chromium, Cr	Metric 14.5 - 17.5 %	
Cobalt, Co	Metric ≤ 1.0 %	
Copper, Cu	Metric ≤ 0.35 %	
Iron, Fe	Metric 38 %	As remainder
Manganese, Mn	Metric ≤ 0.35 %	
Nickel, Ni	Metric 39 - 44 %	Including Cobalt
Niobium, Nb (Columbium, Cb)	Metric 2.5 - 3.3 %	Includes Ta
Phosphorus, P	Metric ≤ 0.020 %	
Silicon, Si	Metric ≤ 0.35 %	
Sulfur, S	Metric ≤ 0.015 %	
Titanium, Ti	Metric ≤ 0.40 %	

Liite II:

Inconel 718 materiaaliominaisuustaulukko

Special Metals INCONEL® Alloy 718		
Categories:	Metal; Nonferrous Metal; Nickel Alloy; Superalloy	
Material Notes:	<p>Developed in the early 1960's, IN718 is still considered the material of choice for the majority of aircraft engine components with service temperatures below 1200°F (650°C). Inconel 718 is a precipitation-hardenable nickel-chromium alloy containing also significant amounts of iron, niobium, and molybdenum along with lesser amounts of aluminum and titanium. It combines corrosion resistance and high strength with outstanding weldability including resistance to postweld cracking. The alloy has excellent creep-rupture strength at temperatures to 1300°F (700°C).</p> <p>Applications: Aerospace, gas turbines, rocket motors, spacecraft, space shuttles, nuclear reactors, pumps, turbo pump seals, and tooling.</p> <p>Forms: round, flat, extruded section, pipe, tube, forging stock, plate, sheet, strip and wire.</p> <p>Data provided by the manufacturer, Special Metals.</p>	
Key Words:	IN718, INCONEL 718, AFNOR NC 19 Fe Nb, UNS N07718; ASTM B637, B670; ASME Boiler Code Sections I, III; AMS 5589, AMS 5590, AMS 5596, AMS 5597, AMS 5662, AMS 5663, AMS 5664, AMS 5832, Werkstoff Nr. 2.4668; WL Nr. 2.4668; MIL-N-24469; NACE MR-01-75; AECMA Pr EN 2404, 2405, 2407, 2408, 2952, 2961, 3219	
Physical Properties		
Density	8.19 g/cc	
Mechanical Properties		
Tensile Strength, Ultimate	1100 MPa @Temperature 650 Å°C	Precipitation Hardened prior to test
Tensile Strength, Yield	1375 MPa @Temperature 23.0 Å°C 1100 MPa @Strain 0.200 %	Precipitation Hardened. Value at room temperature
Elongation at Break	980 MPa @Strain 0.200 %, Temperature 650 Å°C 25 % 18 % @Temperature 650 Å°C	Precipitation Hardened prior to test Precipitation Hardened Precipitation Hardened prior to test.
Rupture Strength	593 MPa @Temperature 649 Å°C, Time 3.60e+6 sec 703 MPa @Temperature 649 Å°C, Time 360000 sec	
Electrical Properties		
Electrical Resistivity	0.000125 ohm-cm	
Magnetic Permeability	1.0011	at 200 Oersted (15.9 kA/m)
Curie Temperature	-112 Å°C	
Thermal Properties		
CTE, linear	13.0 Åµm/m-Å°C @Temperature 20.0 - 100 Å°C	
Specific Heat Capacity	0.435 J/g-Å°C	
Thermal Conductivity	11.4 W/m-K	
Melting Point	1260 - 1336 Å°C	
Solidus	1260 Å°C	
Liquidus	1336 Å°C	
Component Elements Properties		
Aluminum, Al	0.20 - 0.80 %	
Boron, B	<= 0.0060 %	
Carbon, C	<= 0.080 %	
Chromium, Cr	17 - 21 %	
Cobalt, Co	<= 1.0 %	
Copper, Cu	<= 0.30 %	
Iron, Fe	17 %	As remainder
Manganese, Mn	<= 0.35 %	
Molybdenum, Mo	2.8 - 3.3 %	
Nickel, Ni	50 - 55 %	includes cobalt
Niobium, Nb (Columbium, Cb)	4.75 - 5.5 %	
Phosphorus, P	<= 0.015 %	
Silicon, Si	<= 0.35 %	
Sulfur, S	<= 0.015 %	
Titanium, Ti	0.65 - 1.15 %	

Liite III:

Esimerkki piirustus takajousesta (mitat poistettu tekijänoikeussyistä)

