



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MITTAMUUTOSTEN HALLITTAVUUDEN PARANTAMINEN LÄMPÖKÄSITTELYISSÄ

TEKIJÄ: Joni Lappalainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Joni Lappalainen			
Työn nimi Mittamuutosten hallittavuuden parantaminen lämpökäsittelyissä			
Päiväys	23.3.2019	Sivumäärä/Liitteet	22/3
Ohjaaja(t) Juhani Niiranen, Jani Raisio, Pentti Halonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Toolfac Oy			
Tiivistelmä			
<p>Toolfac Oy valmistaa hienomekaanisia komponentteja. Tuotteita koneistetaan yhä enemmän valmiisiin mittoihin ennen lämpökäsittelyä. Lämpökäsittely muuttaa hieman tuotteen mittoja, jolloin tarkoissa tuotteissa mittamuutos ei pysy enää toleranssialueella. Näistä mittamuutoksista Toolfac Oy:llä on kovin vähän tietoa. Varsinkin uusissa tuotteissa tämä mittamuutosten hallinta on haastavaa, koska aiempaa vertailutietoa ei ole. Pahimmassa tapauksessa koko sarja hylätään toleranssien ylittymisen vuoksi. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä luotettavaa aineistoa mittamuutoksista sekä parantaa tuotteiden laatua ja toimitusvarmuutta.</p> <p>Työn teoriaosassa kerättiin tietoa eri lämpökäsittelymenetelmistä ja niiden vaikutuksista kappaleen lopullisiin mittoihin. Tuotteita mitattiin ennen ja jälkeen pintakäsittelyn reilun puolen vuoden ajan. Näiden tutkimustulosten perusteella tehtiin taulukko, joka parantaa mittamuutosten ennustettavuutta.</p> <p>Opinnäytetyössä saatiin hyvää tietoa mittamuutoksista, josta on ollut apua vanhojen sekä varsinkin uusien tuotteiden lämpökäsittelyn mittamuutoksista.</p> <p>Tarkoituksena on jatkossa tehdä myös koesarja. Koesarjalla saadaan vielä enemmän tietoa eri materiaalien ja karkaisimoiden välisistä vaihteluista.</p>			
Avainsanat hienomekaaninen, mittamuutos, lämpökäsittely, toleranssi, materiaali			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Industrial Engineering and Management			
Author(s) Joni Lappalainen			
Title of Thesis Improving the manageability of measure change in heat treatment			
Date	23.3.2019	Pages/Appendices	22/3
Supervisor(s) Juhani Niiranen, Jani Raisio, Pentti Halonen			
Client Organisation /Partners Toolfac Ltd			
<p>Abstract</p> <p>Toolfac Ltd manufactures fine-mechanical components. The products are machined more and more to the finished dimensions before the heat treatment. The heat treatment slightly changes the dimensions of the product, so with the precise products dimensions do not remain in the tolerance range. Toolfac Ltd has very little information of these measure changes. Especially in the new products, this measure change is challenging because there was no earlier reference data. In the worst case, the whole batch has to be rejected because the measures are out of tolerance. The purpose of this thesis was to collect reliable material for measure changes and to improve products quality and delivery reliability.</p> <p>In the theoretical part of the thesis, the data on different heat treatment methods and their effects on the final measurements of the piece was collected. The products were measured before and after surface treatment for over six months. Based on these research results, a table chart was made to improve the predictability of measure changes.</p> <p>The thesis provided good knowledge about measure changes that have helped to manage measure changes in the heat treatment of old and especially new products.</p> <p>The future aim is also to make a test series. The test series will give even more information about variations between different materials and heat treatment facilities.</p>			
<p>Keywords fine-mechanical, measure change, heat treatment, tolerance, material</p>			

ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Toolfac Oy:n kanssa. Toolfac Oy:llä valmistetaan tarkkoja hienomekaanisia komponentteja, joiden valmistaminen on lisääntynyt niin, että tuotteet tehdään lopullisiin mittoihin ennen pintakäsittelyä. Toolfac Oy:llä ei ollut aikaisemmin paljon tietoa, miten tuotteet käyttäytyvät lämpökäsittelyssä, joten tässä oli oiva aihe opinnäytetyöhön. Tämä korostuu varsinkin uusien tuotteiden menetelmäsuunnittelussa, koska ei ollut aineistoa josta olisi voinut ennustaa miten mitat muuttuvat lämpö- ja pintakäsittelyssä.

Kiitokset Toolfac Oy:n toimitusjohtaja Pekka Kuposelle, Savonian henkilökunnalle (erityisesti Pentti Haloselle) sekä Toolfac Oy:n koko henkilöstölle.

Omistettu biologian maisteri Risto Pakkasen muistolle, joka jaksoi aina kannustaa allekirjoittanutta opinnoissa.

Iisalmessa maaliskuussa 2019

Joni Lappalainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	TOOLFAC OY.....	7
3	PINTAKÄSITTELYMENETELMÄT	8
3.1	Hiiletyskarkaisu.....	8
3.2	Corr-I-Dur®	9
3.3	Induktiokarkaisu	9
3.4	Hiilitypetys ja nitraus.....	10
4	PINTAKÄSITTELYPROSESSIT TARKEMMIN.....	11
4.1	Hiiletysprosessi	11
4.2	Corr-I-Dur®-prosessi	11
4.3	Induktiokarkaisuprosessi	12
4.4	Hiilitypetysprosessi.....	12
5	YLEISIMMÄT LÄMPÖKÄSITELTÄVÄT PERUSAINHEET	13
5.1	42CrMo4	13
5.2	34CrNiMo6V	13
5.3	25CrMo4	14
5.4	20NiCrMo2-2	14
5.5	S355J2	15
6	KOESARJA TARKEMPAAN ANALYSOINTIIN	16
6.1	Koesarjan suunnittelu.....	16
6.2	Koesarjan toteutus.....	16
7	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS.....	17
7.1	Käytetyt mittavälineet	17
7.2	Havainnot ja huomiot.....	19
8	POHDINTA.....	21
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	22
	LIITE 1: MITTAKAPPALEPIIRUSTUS	23
	LIITE 2: MITTAMUUTOSTAULUKKO	24
	LIITE 3: 3D-MITTAKONEEN MITTAPÖYTÄKIRJA.....	26

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja Toolfac Oy valmistaa hienomekaanisia komponentteja teollisuuden tarpeisiin. Tuotteissa on tarkkoja mittoja ja suurin osa niistä käy jonkinasteisessa lämpö- tai pintakäsittelyssä. Aiemmin tuotteet kävivät yleisemmin hiiletyskarkaisussa, jonka jälkeen niiden tarkoilla toleransseilla olevat mitat hiottiin. Nykyään tuotteita koneistetaan yhä enemmän valmiisiin mittoihin ennen lämpökäsittelyä, jolloin myös niiden tarkoilla mitoilla oleville pinnoille jää esimerkiksi nitrauksen pinnoitus, joka parantaa tuotteen korroosionkestävyys- ja kulutuskestävyysominaisuuksia. Toolfac Oy:llä ei ole kovin paljoa kokemusta näistä mittamuutoksista, joten ei voida ennustaa, miten tuotteen mitat käyttäytyvät lämpökäsittelyssä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on parantaa näiden pintakäsiteltävien tuotteiden mittamuutosten ennustettavuutta. Varsinkin uusien tuotteiden mittamuutosten ennustettavuus on ollut todella hankalaa, koska ei ole ollut mitään vertailutietoa. Pahimmassa tapauksessa koko uusi sarja voidaan joutua hylkäämään, koska tuote käyttäytyykin eri tavalla kuin on oletettu. Opinnäytetyössä seurataan Toolfac Oy:llä koneistettuja tuotteita ennen ja jälkeen pintakäsittelyiden reilun puolen vuoden ajan. Tästä saadaan kattavasti tietoa Toolfac Oy:n tuotteiden muutoksista pintakäsittelyissä.

2 TOOLFAC OY

Toolfac Oy on Iisalmessa toimiva koneistusyritys. Toolfac Oy sai alkunsa 1974, kun ruotsalainen Oy Atlas Copco Ab perusti tehtaan Iisalmen kivirannalle. Atlas Copco valmistaa paineilmavasaroita ja niiden varaosia. Tilan puutteen vuoksi Iisalmen teollisuuskylään rakennettiin uusi tehdas 1976. Yritys sijaitsee tuolla paikalla nykyäänkin.

Vuonna 1988 perustettiin Oy Toolfac Ab kahdentoista työntekijän ostettua Atlas Copcon Iisalmen tehtaan laitteiston ja tuotannon. Oy Toolfac Ab oli ensimmäistä kertaa esillä Tampereen alihankintamessuilla 1989 esittäytyäkseen uusille asiakkaille. Uusia asiakkuuksia alkoi syntyä ja investointeja tehtiin 1990-luvun lamasta huolimatta.

Vuonna 2004 tapahtui seuraava omistajan muutos, kun pitkäaikainen tuotantojohtaja Erkki Huuskonen ja uusi toimitusjohtaja Pekka Koponen yhdessä Sentica Partners Oy:n kanssa ostivat yrityksen. Osakkaaksi myöhemmin tuli myös Kari Lappalainen. Yrityksen nimi muuttui tuolloin Oy Toolfac Ab:sta Toolfac Oy:ksi.

Kone- ja laiteinvestointeja tehtiin vuosittain kilpailukyvyyn takaamiseksi ja tehtaan nykyaikaistamiseksi. Seuraavina vuosina yritys keskittyi entistä enemmän hienomekaanisten osien tuotantoon ja henkilökuntaa oli enimmillään 55.

Seuraava omistajan muutos tapahtui vuonna 2012 Huuskosen ja Lappalaisen myydessä kaikki osakkeensa Pekka Kuposelle ja pääomasijoitusyhtiö Canelco Capital Oy:lle. Pekka Kuposelta tuli pääomistaja ja hän jatkoi yrityksen toimitusjohtajana.

Vuoden 2019 alussa ruotsalainen Hanza Group osti koko Toolfac Oy:n osakekannan ja nimi muuttui Toolfac Oy:stä Hanza Toolfac Oy:ksi. Vuonna 2018 yrityksen liikevaihto oli noin kahdeksan miljoonaa euroa. (Toolfac Oy 2018.)

3 PINTAKÄSITTELYMENETELMÄT

Lämpökäsittelyillä parannetaan terästen ja metalliseosten ominaisuuksia. Pintakäsittelyillä on tarkoitus parantaa tuotteiden ominaisuuksia, kuten kestävyyttä ja korroosionkestoa, jotka pidentävät komponenttien käyttöikä. (Bodycote 2018.)

Toolfac Oy:n tuotteissa näistä yleisimpinä ovat hiiletyskarkaisu, Corr-I-Dur®, induktiokarkaisu, hiili- ja mustanitraus. Pinta- ja lämpökäsittelyt yleistyvät jatkuvasti koneistettavissa tuotteissa, koska niiltä vaaditaan jatkuvasti parempia ominaisuuksia. (Honkanen 2018.)

3.1 Hiiletyskarkaisu

Hiiletyskarkaisussa hiiltä johdetaan rautaseokseen korkeassa lämpötilassa määrätyn ajan. Hiiletyksen jälkeen komponentit jäähdytetään, joko ilmassa tai nesteessä, jolloin tuotteen pinta kovettuu. Hiiletyskarkaisua käytetään varsin yleisesti niukkahiilisille teräksille. Hiiletys ei vaikuta varsinaisesti karkaistavan tuotteen ytimeen vaan karkaisu jää tuotteen pintaan. Noin kolmasosa kaikista maailman terästen karkaisuista on hiiletyskarkaisuja. Hiiletyskarkaisulla saadaan kovia ja kulutuksenkestäviä pintoja perusaineen ytimen jäädessä pehmeäksi. Tällä saavutetaan komponentin iskunkestävyyden paraneminen pinnan tullessa kulutusta paremmiin kestäväksi. Tyypillisimpiä hiiletyskarkaisun käyttökohteita ovat suurelle rasitukselle joutuvat komponentit kuten hammaspyörät ja erilaiset akselit. (Bodycote 2018.)

Hiiletyskarkaistuja tuotteita on Toolfac Oy:llä paljon. Hiiletyskarkaisussa mitta- ja muodonmuutokset ovat sen verran suuria, ettei tuotetta voi valmistaa suoraan valmiiseen mittaan ennen lämpökäsittelyä, vaan se täytyy sen jälkeen vielä viimeistelysorvata tai hioa. (Honkanen 2018.)

3.2 Corr-I-Dur®

Corr-I-Dur® on termokemiallinen pintakäsittely rauta-typpi-oksidin avulla, jonka on patentoinut Bodycote. Corr-I-Dur® on ensisijainen valinta komponenteille, jotka altistuvat voimakkaalle kulumiselle ja korroosioiville olosuhteille. Tämä käsittely parantaa sekä korroosionsuojaa, että kulumiskestävyyttä ja on loistava vaihtoehto kovakromi, nikkeli- ja galvaanisille pinnoitteille. Corr-I-Dur® käsittely tuotetaan diffuusioprosessilla, jolloin Corr-I-Dur®-kerrokset kiinnittyvät huolellisesti perusmateriaalin rakenteeseen. Corr-I-Dur®-käsittely tehdään huomattavasti hiiletyskarkaisua matalammissa lämpötiloissa, jolloin muodonmuutokset ovat hyvin pieniä ja tuotteet voidaan koneistaa lopullisiin mittoihin ennen lämpökäsittelyä. Corr-I-Dur®- käsittelyn tyypillisiä käyttökohteita ovat kovalle rasitukselle joutuvat komponentit kuten esimerkiksi; hydrauliset männät, akselit, putket ja kotelot. Tätä pinnoitusmenetelmää voidaan käyttää lähes kaikkiin niukkahiilisiin ja niukkaseosteisiin rautamateriaaleihin, mutta sitä ei suositella käytettäväksi teräksen kromipitoisuuden noustessa yli 20%. (Bodycote 2018.)

3.3 Induktiokarkaisu

Induktiokarkaisu on pintakarkaisumenetelmä, joka parantaa pinnan kovuutta ja kulumiskestävyyttä. Induktiokarkaisulla luodaan kappaleeseen kova pintakerros vaikuttamatta kuitenkaan perusaineen ytimeen. Induktiokarkaisu ulottuu yleensä vain komponentin yhteen kohtaan (kuva 1), ei koko tuotteeseen. Induktiokarkaisu ei paranna tuotteen korroosionkestävyyttä, vaan käsittelyn tarkoituksena on tuottaa komponenttiin äärimmäisen sitkeä ulkokerros. Perusaineen pehmeä ydin parantaa väsymislujutta. Induktiokarkaisun tyypillisiä käyttökohteita ovat voimansiirto-, moottorikomponentit sekä hammasrattaat. Induktiokarkaisu sopii martensiittiselle ruostumattomalle teräkselle, valuraudalle, seosteräksille sekä hiiliteräksille. (Bodycote 2018.)

Induktiokarkaistavia tuotteita Toolfac Oy:llä on muutamia. Induktiokarkaisu vaikuttaa ainoastaan komponentin yhteen tiettyyn kohtaan, jolloin mittamuutoksia ei tuotteessa tapahdu karkaistun kohdan vaikutusalueen ulkopuolella. (Honkanen 2018.)



KUVA 1. Induktiokarkaistu kappale (Lappalainen 2018-10-15j.)

3.4 Hiilitypetys ja nitraus

Nitraus on pintakarkaisumenetelmä, jossa johdetaan typpi- hiili- ja pieni määrä happiatomeita diffuusiolla perusaineen pintaan. Nitrauksella saadaan teräsoosan pintaan samanaikaisesti yhdistekerros ja diffuusiokerros, jotka parantavat komponentin kulumiskestävyyttä, väsymislujuutta sekä korroosi-onkestoa. Nitraus parantaa myös naarmuuntumisen ja kiinnileikkautumisen kestoa. Hiilitypetys ja nitraus tehdään suhteellisen alhaisissa lämpötiloissa, jolloin komponentteihin ei aiheudu juurikaan vääristymiä tai muodonmuutoksia. Hiilitypetyksellä ja nitrauksella käsiteltäviä osia ovat tyypillisesti moottorin osat, kuten kampiakselit ja nokka-akselit, sekä hydrauliset komponentit, hammaspyörät ja metsä- ja maatalouskoneiden osat. Kuvassa 2 esiintyy tyypillisiä hiilitypetettyjä hydrauliiikan komponentteja, jotka ovat koneistettu huomioiden lämpökäsittelystä aiheutuvat muodonmuutokset. Hiilitypetys ja nitraus ovat hyvä vaihtoehto, kun kulutuskestävyyttä ja väsymislujuutta on parannettava edulliseen hintaan. (Bodycote 2018.)



KUVA 2. Nitrattuja tuotteita (Lappalainen 2018-10-15f.)

4 PINTAKÄSITTELYPROSESSIT TARKEMMIN

Tässä luvussa on Toolfac Oy:llä yleisimmin käytettyjen pintakäsittelyjen tarkemmat prosessikuvaukset, useat pintakäsittelyt ovat prosesseiltaan hyvin samankaltaisia. Jokaisella pinta- ja lämpökäsittelyllä on oma käsittelylämpötila ja -aika (Honkanen 2018).

4.1 Hiiletysprosessi

Hiiletyskarkaisu on diffuusioprosessi, jossa niukkahiilisen teräksen pintaan lisätään hiiltä muiden seosaineiden kanssa. Niukkahiilisessä teräksessä on hiiltä alle 0,25 %. Hiiletuksen jälkeen karkaistavan tuotteen pinnassa on 0,7-0,9 % hiiltä. Hiiletyskarkaisussa hiiletuksen syvyys on yleensä maksimissaan 6 millimetriä, jolloin perusaineen sisustaan ei karkaisu vaikuta. Tähän prosessiin kuuluu lopuksi päästövaihe, jolla saavutetaan haluttu kovuuden ja sitkeyden suhde. Hiiletysprosessiin kuuluu kolme vaihetta. (Bodycote 2018.)

- Komponentin kuumennus korkeassa 850 – 1000 °C lämpötilassa.
- Komponentin jäähdytys nopeasti öljyyn, vesi-, polymeeri- tai suolaliuokseen.
- Komponentin päästö tuotteen vaatimuksille sopivassa lämpötilassa.

4.2 Corr-I-Dur®-prosessi

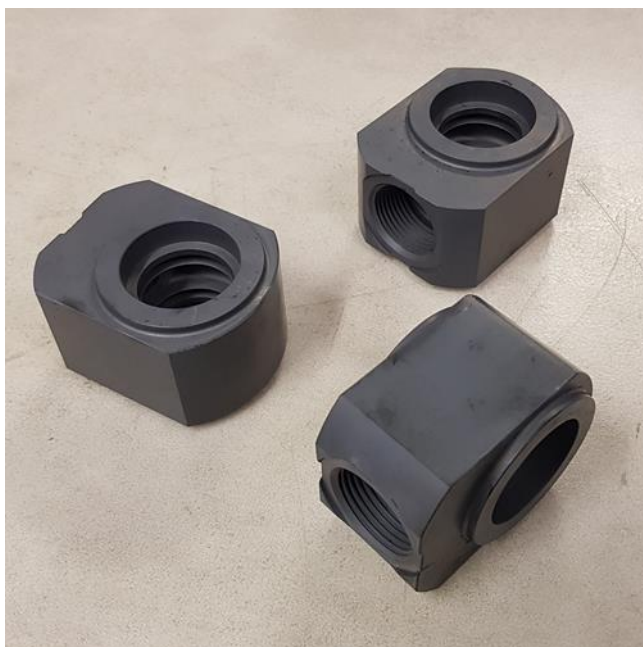
Corr-I-Dur® -käsittely tehdään alhaisessa lämpötilassa johtamalla teräksen pintaan typpeä, hiiltä ja lopuksi happea. Typen ja hiilen diffuusioituessa komponentin pintaan saadaan aikaan yhdistekerros, joka parantaa kulumisenkestoa ja väsymislujuutta. Viimeisen vaiheen hapetuksella saavutetaan tuotteen pintaan yhtenäinen ja tiivis oksidikerros, joka parantaa tuotteen korroosionkestoa huomattavasti. Corr-I-Dur® -käsittely on ympäristöystävällinen menetelmä, koska siinä käytetään vain sähköä ja kaasua. Kaasu hajoaa käsittelyssä vedeksi ja typeksi, eikä menetelmässä käytetä öljyä tai muita liuoksia. Corr-I-Dur®-käsittely muuttaa komponentin muotoa ja mittamuutoksia huomattavasti vähemmän verrattuna muihin korkeammassa lämpötiloissa suoritettaviin pintakarkaisumenetelmiin. (Bodycote 2018.)

4.3 Induktiokarkaisuprosessi

Induktiokarkaisussa käsiteltävä komponentti tai yleisemmin komponentin osa kuumennetaan kuparikäämin avulla. Kuparikäämiin johdetaan vaihtovirtaa, jolloin käämin sisällä oleva teräs alkaa kuumentua vaihtuvan magneettikentän avulla. Halutun lämpötilan saavutettua karkaistava osa sammutetaan välittömästi, jolloin saavutetaan komponentille kova pintakerros ja hyvä kulumiskestävyys. Karkaistavan alueen pinta-alaan vaikutetaan teholla. Karkaisusyvyyyteen vaikuttaa perusaineena käytetyn teräksen karkenevuus. Induktiokarkaisussa voidaan käyttää kaikkia karkeneviä materiaaleja, mutta niiden täytyy olla nuorrutettu tai normalisoitu ennen karkaisua. (Bodycote 2018.)

4.4 Hiilitypetysprosessi

Hiilitypetys suoritetaan kriittisiä lämpötiloja alhaisemmassa noin 570 °C:n lämpötilassa samalla, kun uuniin ohjataan typen lisäksi hiilipitoista kaasua, tästä juontuu nimitys hiilitypetys. Typpi- ja hiilikaa-
sut diffuusioituvat teräksen pintaan, jolloin siihen tulee kulutusta kestävä yhdistekerros. Hiilitypetys tapahtuu tiiviissä kammiouunissa. Mittamuutosten minimoimiseksi komponentit lämmitetään uunissa tasaisesti ja jäädytetään hitaasti. Mustanitraus on hiilitypetyksen muunnos, jossa uuniin johdetaan lopuksi myös happea. Happi muodostaa komponentin pintaan oksidikerroksen, joka parantaa tuotteen korroosionkestävyyttä tehdessä tuotteen pinnasta samalla tummemman (kuva 3). (Bodycote 2018.)



KUVA 3. Mustanitrattuja tuotteita (Lappalainen 2018-10-15e.)

5 YLEISIMMÄT LÄMPÖKÄSITELTÄVÄT PERUSAINHEET

Lämpökäsittelyissä käytetään tiettyjä perus- eli raaka-aineita tiettyjen lämpökäsittelyjen yhteydessä. Toolfac Oy:llä yleisimmät lämpökäsiteltäviä raaka-aineita ovat 42CrMo4, 34CrNiMo6V, 25CrMo4, 20NiCrMo2-2 sekä s355J2 (Honkanen 2018.)

5.1 42CrMo4

42CrMo4 on nuorrutusteräs, joka on seostettu kromilla ja molybdeenillä. 42CrMo4 soveltuu kappaleille, joilta vaaditaan suurta lujuutta ja sitkeyttä. Molybdeeni-seostuksen vuoksi 42CrMo4:llä on pieni taipumus päästöhaurauteen. 42CrMo4 soveltuu hyvin nitrittäväksi ja induktiokarkaistavaksi. 42CrMo4:ää käytetään yleisesti moottoriosissa, akseleissa, aseiden osissa ja piipuissa. (Sten 2018.)

Toolfac Oy:llä on paljon 42CrMo4:stä tehtäviä tuotteita. Näiden tuotteiden yleisimpiä pintakäsittelyjä ovat Corr-I-Dur® sekä nitraus. (Honkanen 2018.)

TAULUKKO 1. 42CrMo4-koostumus (Ovako 2018a.)

TERÄSLAJI	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	Nb%
MoC 410 M /42CrMo4									
min.	0,38		0,60			0,90		0,15	
max.	0,45	0,40	0,90	0,025	0,035	1,20		0,30	

5.2 34CrNiMo6V

34CrNiMo6V on kromi- ja molybdeeniseosteinen nuorrutusteräs ja se soveltuu hyvin komponentteihin, joilta vaaditaan lujuutta ja sitkeyttä. Mo-seostuksen avulla sillä on vähäinen taipumus päästöhaurauteen. 34CrNiMo6V on ominaisuuksiltaan 42CrMo4-teräksen kaltaista, mutta mekaanisilta ominaisuuksiltaan se on kovempaa ja sitkeämpää. (Sten 2018.)

Toolfac Oy:llä on muutamia 34CrNiMo6V:stä tehtäviä tuotteita. Näiden tuotteiden yleisin pintakäsittely Toolfacilla on nitraus. (Honkanen 2018.)

TAULUKKO 2. 34CrNiMo6V-koostumus (Ovako 2018a.)

TERÄSLAJI	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	Nb%
MoCN 315 M /34CrNiMo6									
min.	0,30		0,50			1,30	1,30	0,15	
max.	0,38	0,40	0,80	0,025	0,035	1,70	1,70	0,30	

5.3 25CrMo4

25CrMo4 on nuorrutusteräs, jolla saavutetaan korkea myötö-, murto- ja väsymislujuus. 25CrMo4 on nuorrutusteräksistä niukkahiilisin. (Sten 2018.)

25CrMo4:ää käytetään Toolfacilla yleisimmin hiili- ja mustanitrattuihin tuotteisiin. 25CrMo4 on Toolfacilla käytettävistä nuorrutetuista teräksistä ominaisuuksiltaan pehmeintä ja helpointa koneistaa. (Honkanen 2018.)

TAULUKKO 3. 25CrMo4-koostumus (Ovako 2018a.)

TERÄSLAJI	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	Nb%
MoC 210 M /25CrMo4									
min.	0,22		0,60			0,90		0,15	
max.	0,29	0,40	0,90	0,025	0,035	1,20		0,30	

5.4 20NiCrMo2-2

20NiCrMo2-2 on hiiletysteräs, jotka ovat yleisesti hiiletyskarkaisulla pintakarkaistava teräs. Tällaisia teräksi käytetään yleisesti, kun komponentilta vaaditaan hyvää kulumisenkestävyyttä ja väsymislujutta. Hiiletysteräkset ovat perlitoituja, hehkutettuja tai valssattuja pehmeitä teräksiä, joiden lastuttavuus on erinomainen. (Ovako 2018b.)

Toolfac Oy:llä tätä terästä käytetään paljon ja sitä käytetään pääasiassa hiiletyskarkaisun perusaineena. (Honkanen 2018.)

TAULUKKO 4. 20NiCrMo2-2-koostumus (Ovako 2018a.)

TERÄSLAJI	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%
MoCN 206 M /20NiCrMo2-2								
min.	0,17		0,65			0,35	0,40	0,15
max.	0,23	0,40	0,95	0,025	0,035	0,70	0,70	0,25

5.5 S355J2

S355J2 on rakenneteräs, jonka koneistettavuus on erinomaista. Tämä rakenneteräs on hyvin pehmeää verrattuna muihin Toolfacilla käytettäviin teräslaatuihin, kuten nuorutusteräksiin. S355J2:sta on monia eri tuotenimikkeitä, kuten Hydax 15 tai Imatra 520. Tämä on yleisin teräslatu maailmassa. (Honkanen 2018.)

TAULUKKO 5. S355J2 koostumus (Ovako 2018.)

EN 10027-1 mukainen nimike	Ovakon tuotenimike	C %	Si %	Mn %	S % max.	Cr %	Mo %	Ni %
S355J2	Imatra 520	0.17	0.25	1.20	0.030			

6 KOESARJA TARKEMPAAN ANALYSOINTIIN

Mittamuutosten tarkasteluun on suunnitelmissa tehdä myös koesarja mittakappaleita (liite 1). Koesarjaan tehdään samanlaisia kappaleita eri materiaaleista, jolloin saadaan lisätietoa perusaineen vaikutuksesta mittamuutokseen. Koesarjalla voidaan muun muassa vertailla, minkälaisia eroja mittamuutoksissa on kahden eri karkaisimon lämpökäsittelyillä sekä saman karkaisimon eri uuneilla. Koesarja ei ehtinyt valmistua tuotannon kiireiden vuoksi tähän raportointiin, mutta koesarja toteutetaan myöhemmin tulevaisuudessa.

6.1 Koesarjan suunnittelu

Mittamuutosten tarkasteluun on suunniteltu mittakappale. Mittakappaleessa on sekä sisä- ja ulkopuolisia mittoja, jotka mitataan ennen ja jälkeen pintakäsittelyn 3D-koordinaattimittakoneella. Koesarjaan tehdään samanlaisia tuotteita eri materiaaleista, materiaalit ovat samoja joita Toolfac Oy:llä käytetään pintakäsittelyissä. Lämpö- ja pintakäsittelyjä ovat Corr-I-Dur®, hiiletyskarkaisu, hiilitype-tyt sekä mustanitraus. Kappaleita lähetetään kahteen eri karkaisimoon, Bodycotelle ja Stenille. Lähettämällä tuotteita eri aikaan saadaan tuloksia siitä, miten erilaisia mittamuutokset olisivat olleet eri karkaisuerissä. Koesarjalla voidaan myös vertailla paremmin, minkälaisia eroja mittamuutoksissa on kahden eri karkaisimon lämpökäsittelyillä.

6.2 Koesarjan toteutus

Koesarja sorvataan Puma Doosan TT1800-monitoimisorvilla. Koneistuksen jälkeen tuotteet mitataan 3D-mittakoneella. 3D-koordinaattimittakoneella mitataan kaikki tuotteen mitat ja tallennetaan ne tiedostona. Mittauksen aikana jokainen kappale merkitään omalla numerolla ja tämä numero löytyy myös mittapöytäkirjasta. Mittauksen jälkeen kappaleita lähetetään kahteen eri karkaisimoon ja eri karkaisupanoksiin. Tuotteiden palatessa lämpökäsittelyistä ne mitataan samalla tavalla kuin koneistuksen jälkeen. Mittatuloksia vertailemalla saadaan vieläkin luotettavampaa ja tarkempaa aineistoa mittamuutoksista.

7 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

Aineistoa mittamuutoksista kerättiin mittaamalla kappaleita ennen ja jälkeen pintakäsittelyn. Mittamuutokset kirjoitettiin ylös taulukkoon (liite 2). Tämän aineiston kerääminen kesti kahdeksan kuukautta. Tänä aikana mitattiin useita Toolfac Oy:n lämpökäsiteltäviä tuotteita. Mitattuja tuotteita oli kymmeniä, joista saatiin kattavasti tietoa mittamuutoksista. Suurinta osaa päästiin mittaamaan useasti eri sarjoissa. Tästä saatiin tietoa eri karkaisujen ajankohtien vaihteluista. Havaitsimme, että eri karkaisuerien välillä ei ole mainittavaa vaihtelua. Mutta sen sijaan eri karkaisimojen välillä on todella suuria vaihteluja. Esimerkiksi jos tuotteet olivat normaalisti käyneet Bodycotella, mutta kiireellisuuden vuoksi yksi erä käytettiin Stenillä, mittamuutosten ero oli niin suuri, että tämä sarja jouduttiin hylkäämään liiallisen vaihtelun vuoksi. Tästä opimme, että eri karkaisimon lämpökäsittelyn mittamuutokset eivät välttämättä päde toisen karkaisimon lämpökäsittelyssä. Vaikka lämpökäsittelymenetelmät ovat standardoituja, näyttäisi siltä, että eri uunit, panokset ja lämpökäsittelyasennot vaikuttavat tuotteiden mittamuutoksiin.

7.1 Käytetyt mittavälineet

Mittamuutokset lämpökäsittelyissä kappaleissa ovat sadas- tai tuhannesosia, joten mittavälineiden täytyy olla tarkkoja ja luotettavia. Tässä opinnäytetyössä käytetyt mittavälineet olivat kalibroituja ja ennen käyttöönottoa tarkastettu mittapaloihin. Ulkohalkaisijat on mitattu kaarimikrometreillä (kuva 4). Kaarimikrometrit ovat tarkoitettu ulkopuolisten halkaisijoiden ja pituuksien mittauksiin. Toolfac Oy:llä käytössä olevien digitaalisten kaarimikrometrien näyttö on 0,001 mm jaolla, mutta niiden luotettava tarkkuus on 0,002 mm (Teräskonttori 2018).



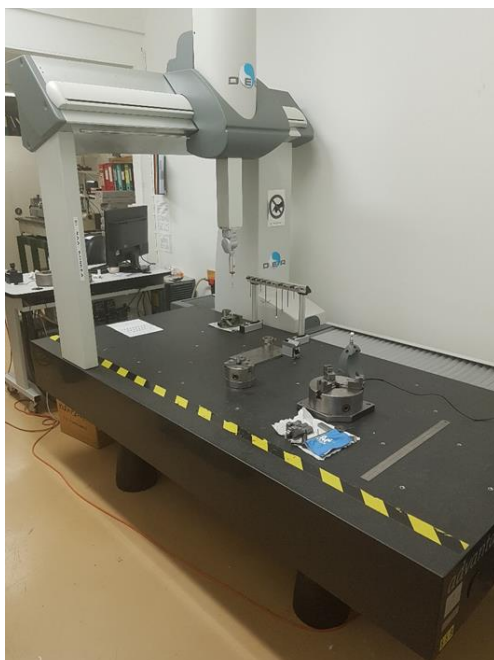
KUVA 4. Kaarimikrometrejä (Lappalainen 2018-10-25h.)

Sisämitat on mitattu kolmipistemikrometreillä (kuva 5). Kolmipistemikrometrejä käytetään kappaleiden sisäpuolisten mittojen tarkkaan mittaamiseen. Kolmipistemikrometrin tarkkuus on $\pm 0,002$ mm. (Mitutoyo2018).



Kuva 5. Kolmipistemikrometrejä (Lappalainen 2018-10-25i.)

Kappaleita on mitattu myös paljon 3D-mittakoneella (kuva 6). Mittakoneella saa selkeän ja luotettavan mittapöytäkirjan (liite 3). Mittapöytäkirjan saa tallennettua automaattisesti tiedostoksi, jolloin ne ovat tallessa mahdollista myöhempää tarkastelua varten. Koordinaattimittauskoneet soveltuvat mitaustehtäviin lähes kaikilla teollisuudenaloilla, joissa edellytetään tarkkuutta, tulosten toistettavuutta ja mittausautomaattikkaa (Hexagon 2018). Toolfac Oy:llä on käytössä kaksi koordinaattimittakoneetta. Koordinaattimittakoneella pystytään todentamaan ja mittamaan mittoja ja muotoja, joita käsimitävälineillä ei pysty todentamaan.

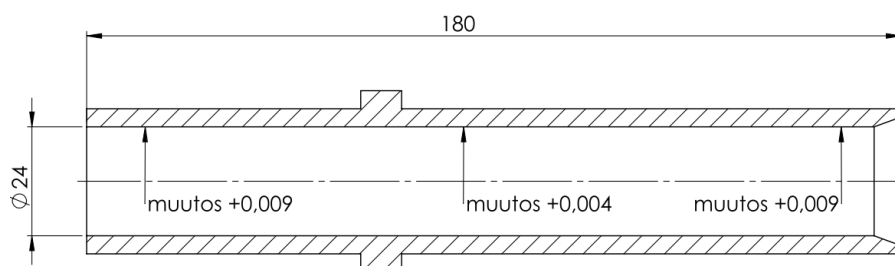


Kuva 6. DEA 3D-mittakone (Lappalainen 2018-10-25g.)

7.2 Havainnot ja huomiot

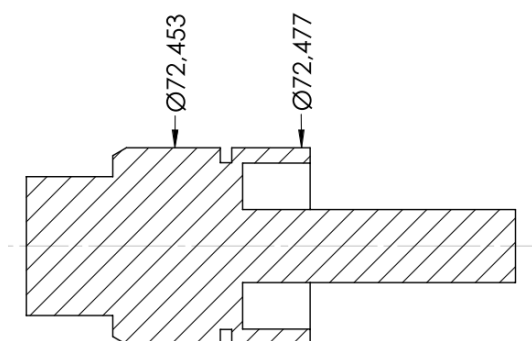
Mittamuutoksista saimme hyvää aineistoa tämän opinnäytetyön aikana. Mittamuutokset tietyillä aineilla ja käsittelyillä käyttäytyivät varsin samanlaisesti ja ennustettavasti. Muutamia poikkeuksia ja huomioita havaittiin aineiston keräämisen aikana.

Nitrauksessa pitkissä rei'issä reiän suun mittamuutos oli voimakkaampaa kuin reiän keskiosassa. Tämä johtuu siitä, ettei yhdistekerros ole yhtä paksu koko matkalla, koska nitrauksessa käytettävät kaasut eivät pääse vaikuttamaan reiän keskiosaan yhtä voimakkaasti kuin suulle (kuva 7).



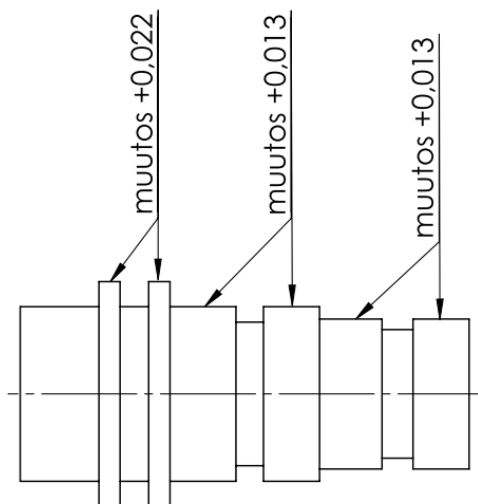
KUVA 7. Havainnekuva pitkäreikäisen kappaleen muutoksista (Lappalainen 2018d.)

Kappaleen muoto ja seinämien vahvuus vaikuttivat myös mittamuutoksen suuruuteen. Nitratun tuotteen ulkohalkaisija muuttui odottamattomasti kappaleen ohuen seinämän kohdalla. Ulkohalkaisijan mittaero paksumman ja ohuemman kohdan välillä oli nitrauksen jälkeen yli 0,02 mm (kuva 8).



KUVA 8. Havainnekuva ohuen seinämän mittamuutoksesta (Lappalainen 2018c.)

Tällainen muutos pitää ottaa huomioon sorvaamalla kyseisessä tuotteessa ohuen seinämän kohdalta ulkohalkaisija pienemmäksi, jotta mittamuutos pysyy toleranssin sisällä lämpökäsittelyn jälkeenkin. Kappaleissa, joissa on ohuempia olakkeita, mitat muuttuivat odottamattomasti (kuva 9). Tällainen muutos on otettava huomioon jo sorvausvaiheessa. Syynä tähän on luultavasti se, että ohuen olakkeen kohdalla perusaine lämpenee voimakkaasti läpi asti ja mittamuutos on siltä kohdalta suurempi.



KUVA 9. Havainnekuva mittamuutoksesta ohuissa olakkeissa (Lappalainen 2018a.)

Eri karkaisimojen välillä havaittiin olevan suuria eroja mittamuutoksiin, vaikka eri pinta- ja lämpökäsittelymenetelmät ovat standardisoituja. Tämä havaittiin, kun tuotesarja lähetettiin kiireen vuoksi toiseen karkaisimoon, mitat muuttuivat niin paljon aiemmasta että toleranssit ylittyivät reilusti. Myös saman karkaisimon uunien välillä on jonkinasteisia eroja mittamuutoksiin, mutta nämä erot eivät kuitenkaan ole suuria.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön aineiston kerääminen sujui aikataulussa. Aineiston kerääminen ei häirinnyt varsinaista työntekoa, koska aineiston kerääminen oli suhteellisen nopeaa ja ajoittui pitkälle ajanjaksolle. Koesarja mittamuutoksista toteutetaan opinnäytetyön jatkona myöhemmin tulevaisuudessa. Kevät ja kesä menivät aineistoa kerätessä. Syksyllä aineisto analysoitiin sekä kirjoitettiin raportti opinnäytetyöstä.

Opinnäytetyön aikana saatiin paljon tietoa mittamuutoksista. Itse opin materiaaleista ja eri pintakäsittelyistä paljon, esimerkiksi mitkä materiaalit soveltuvat mihinkin lämpö- ja pintakäsittelyihin ja minkä vuoksi.

Opinnäytetyöstä oli paljon apua Toolfac Oy:n tuotteiden mittamuutosten ennustamisessa. Aineiston avulla tehtiin suuntaa-antava taulukko (liite 2), josta on helppo arvioida esimerkiksi uuden tuotteen lämpökäsittelyn vaikutukset mittoihin. Taulukkoa täydennetään jatkossakin ja kun aineistoa on riittävästi luotettavaan mittamuutosten ennustamiseen, sen pohjalta tehdään Excel-pohjainen taulukko (kuva 10).

A	B	C	D	E	F	G
	haluttu mitta käsittelyn jälkeen	pintakäsittely	sisä/ulkohalkaisija	perusaine	mittamuutos	koneistetaan mittaan
	24,910	Corr-I-Dur®	ulkohalkaisija	42CrMo4 (Moc410)	+0,030	24,890
		Nitraus				
		Corr-I-Dur®				
		Mustanitraus				
		Blacknite				
		keltapassivointi				

KUVA 10. Havainnekuva mittamuutostyökalusta (Lappalainen 2018b.)

Excel-pohjaisesta taulukosta tehdään pudotusvalikoita hyödyntämällä helppokäyttöinen apuväline, johon syöttämällä perusaine, halkaisijat ja lämpö- tai pintakäsittelymenetelmä saadaan selville ennustettu mittamuutos.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

BODYCOTE 2018. [verkkosivu.] Bodycote. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

<http://www.bodycote.fi/>

HEXAGON 2018. [verkkosivu.] Hexagon. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

<https://www.hexagonmi.com/fi-FI/>

HONKANEN, Pekka 2018-12-14. Tarkastaja. [Haastattelu.] Iisalmi: Toolfac Oy.

LAPPALAINEN, Joni 2018a. Havainnekuva mittamuutoksesta ohuissa olakkeissa [printti]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen valokuva-albumi 2018.

LAPPALAINEN, Joni 2018b. Havainnekuva mittamuutostyökalusta [printti]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen valokuva-albumi 2018.

LAPPALAINEN, Joni 2018c. Havainnekuva ohuen seinämän mittamuutoksesta [printti]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen valokuva-albumi 2018.

LAPPALAINEN, Joni 2018d. Havainnekuva pitkäreikäisen kappaleen muutoksista [printti]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen valokuva-albumi 2018.

LAPPALAINEN, Joni 2018-10-15j. Induktiokarkaistu kappale [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen valokuva-albumi 2018.

LAPPALAINEN, Joni 2018-10-15e. Mustanitrattuja tuotteita [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen sähköiset kokoelmat.

LAPPALAINEN, Joni 2018-10-15f. Nitrattuja tuotteita [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen sähköiset kokoelmat.

LAPPALAINEN, Joni 2018-10-25g. DEA 3D-mittakone [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen sähköiset kokoelmat.

LAPPALAINEN, Joni 2018-10-25h. Kaarimikromikrometrejä [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen sähköiset kokoelmat.

LAPPALAINEN, Joni 2018-10-25i. Kolmipistemikrometrejä [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Joni Lappalaisen sähköiset kokoelmat.

MITUTOYO 2018. [verkkosivu.] Mitutoyo. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

https://www.mitutoyo.fi/files/4514/7990/3727/161010_MitutoyoAutumnPromo_2016_FI_SalesCo02.pdf

OVAKO 2018a. [verkkosivu.] Ovako. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

https://www.ovako.com/Global/Downloads/Product_information/Bar_products/EN/Turenki%20Steel%20Service%20Center%20Varastoluettelo%202013.pdf

OVAKO 2018b. [verkkosivu.] Ovako. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

https://www.ovako.com/PageFiles/6353/OVAKO%20METALS_VARASTOLUETTELO_170705.pdf

STEN 2018. [verkkosivu.] Sten. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

http://www.sten.fi/document/1/27/aea4431/tuote_f8be181_42crmo4.pdf

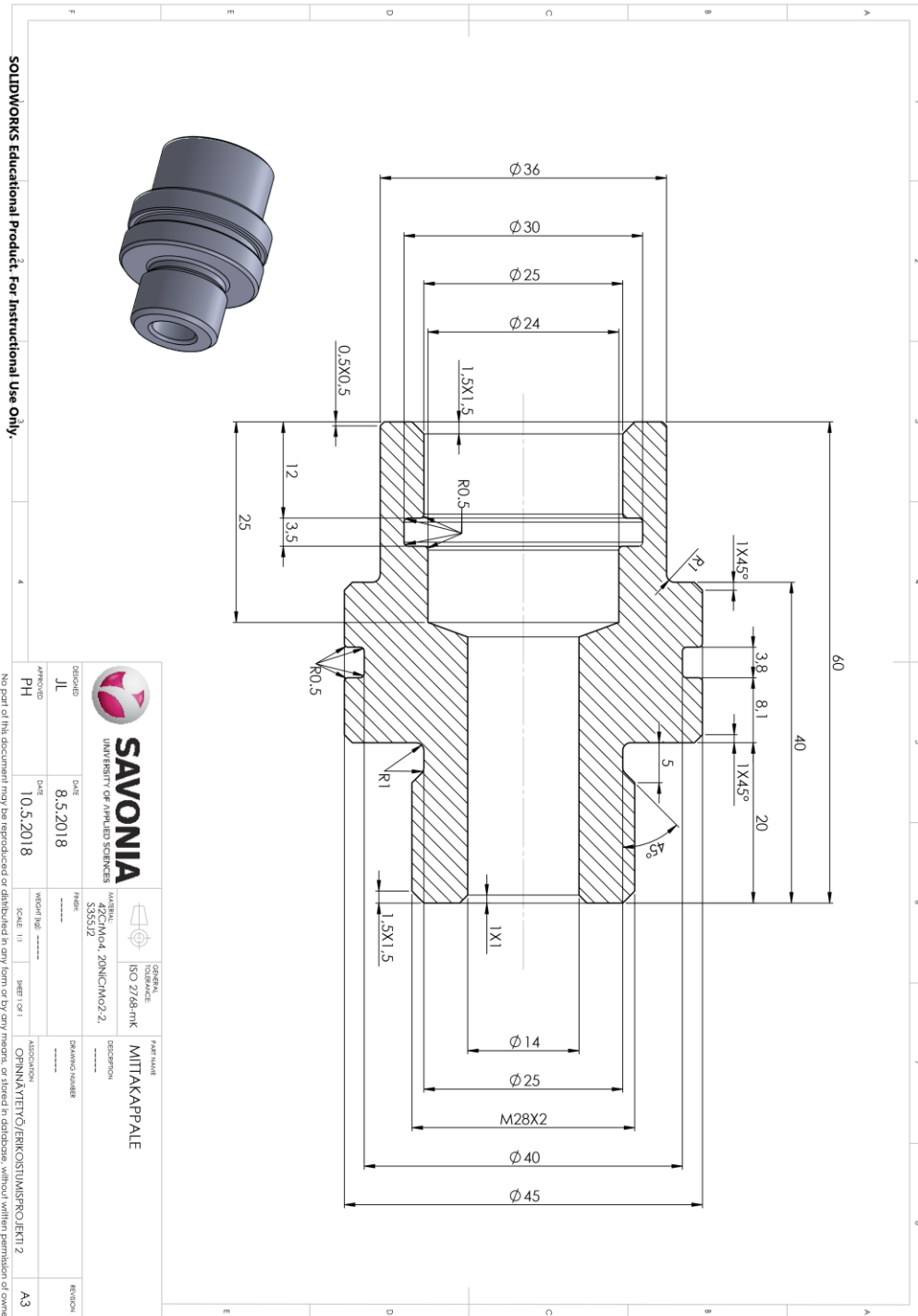
TERÄSKONTTORI 2018. [verkkosivu.] Teräskonttori. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvalineet/Mitutoyo_luettelo_Suomi_sivut_016-099.pdf

TOOLFAC OY 2018. [verkkosivu.] Toolfac Oy. [Viitattu 2018-11-14.] Saatavissa:

<http://www.toolfac.fi/>

LIITE 1: MITTAKAPPALEPIIRUSTUS



				MITTAKAPPALE	
DESIGNED	DATE	DRAWING NUMBER	SCALE	SHEET OF	ASSOCIATION
JL	8.5.2018	42C/MQ4, 20N/C/MQ2.2, 535512	1:1	1 of 1	OPINNÄYTYT/ERIKOSTUMISPROJEKTI 2
APPROVED	DATE	GENERAL TOLERANCE	DESCRIPTION	REGION	
PH	10.5.2018	ISO 2768-mK	MITTAKAPPALE	A3	

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

LIITE 2: MITTAMUUTOSTAULUKKO

	mitta ennen pintakäsittelyä	mitta pintakäsittelyn jälkeen	mitta-muutos	pintakäsittely	sisä/ulkoØ	Raaka-aine
Mitta 1	108,010	108,013	0,003	nitraus	sisäØ	Valu 42CrMo4
Mitta 2	102,013	102,015	0,002	nitraus	sisäØ	Valu 42CrMo4
Mitta 3	91,916	91,928	0,012	nitraus	ulkoØ	s355J0
Mitta 4	87,813	87,814	0,001	nitraus	sisäØ	Valu 42CrMo4
Mitta 5	84,947	84,965	0,018	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 6	84,947	84,965	0,018	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 7	81,927	81,947	0,020	nitraus	ulkoØ	34CrNiMo6V
Mitta 8	80,014	80,012	-0,002	nitraus	sisäØ	Valu 42CrMo4
Mitta 9	73,940	73,946	0,006	nitraus	ulkoØ	s355J0
Mitta 10	72,443	72,453	0,010	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 11	72,443	72,453	0,010	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 12	71,937	71,941	0,004	nitraus	ulkoØ	s355J0
Mitta 13	63,952	63,973	0,021	nitraus	ulkoØ	34CrNiMo6V
Mitta 14	60,510	60,519	0,009	nitraus	sisäØ	34CrNiMo6V
Mitta 15	55,028	55,040	0,012	nitraus	sisäØ	s355J0
Mitta 16	51,143	51,152	0,009	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 17	51,143	51,152	0,009	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 18	48,013	48,022	0,009	nitraus	sisäØ	s355J0
Mitta 19	46,956	46,990	0,034	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 20	46,934	46,972	0,038	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 21	36,981	36,986	0,005	nitraus	sisäØ	42CrMo4
Mitta 22	32,007	32,012	0,005	mustanitraus	sisäØ	25CrMo4
Mitta 23	31,955	31,973	0,018	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 24	31,947	31,960	0,013	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 25	31,945	31,973	0,028	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 26	31,945	31,960	0,015	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 27	31,943	31,963	0,020	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 28	31,922	31,944	0,022	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 29	31,921	31,931	0,010	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 30	31,920	31,943	0,023	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 31	31,487	31,491	0,004	nitraus	sisäØ	34CrNiMo6V
Mitta 32	30,031	30,038	0,007	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 33	30,031	30,042	0,011	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 34	30,030	30,040	0,010	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 35	29,921	29,930	0,009	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 36	29,921	29,931	0,010	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 37	29,918	29,926	0,008	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 38	29,917	29,926	0,009	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 39	26,959	26,971	0,012	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 40	26,956	26,963	0,007	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 41	25,977	25,987	0,010	mustanitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 42	25,969	25,974	0,005	mustanitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 43	24,950	24,963	0,013	mustanitraus	ulkoØ	21CrMoV5-7
Mitta 44	24,890	24,920	0,030	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 45	23,390	23,418	0,028	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4

Mitta 46	21,943	21,957	0,014	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 47	21,942	21,958	0,016	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 48	21,905	21,937	0,032	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 49	21,890	21,925	0,035	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 50	21,882	21,910	0,028	Corr-I-Dur®	ulkoØ	20NiCrMo2-2
Mitta 51	21,876	21,902	0,026	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 52	20,030	20,033	0,003	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 53	20,029	20,041	0,012	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 54	19,967	19,980	0,013	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 55	19,920	19,923	0,003	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 56	19,919	19,929	0,010	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 57	19,640	19,658	0,018	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 58	19,640	19,658	0,018	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 59	18,090	18,100	0,010	Corr-I-Dur®	sisäØ	25CrMo4
Mitta 60	18,072	18,085	0,013	Corr-I-Dur®	sisäØ	42CrMo4
Mitta 61	17,976	17,989	0,013	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 62	17,974	17,986	0,012	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 63	17,971	17,988	0,017	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 64	17,967	17,981	0,014	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 65	17,851	17,869	0,018	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 66	17,847	17,869	0,022	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 67	15,007	15,014	0,007	Blacknite	sisäØ	20NiCrMo2-2
Mitta 68	14,990	15,005	0,015	mustanitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 69	14,975	14,986	0,011	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 70	14,973	14,980	0,007	hiilitypetys	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 71	14,973	14,982	0,009	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 72	14,970	14,988	0,018	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 73	14,090	14,095	0,005	Corr-I-Dur®	sisäØ	25CrMo4
Mitta 74	14,085	14,088	0,003	mustanitraus	sisäØ	21CrMoV5-7
Mitta 75	14,073	14,085	0,012	Corr-I-Dur®	sisäØ	42CrMo4
Mitta 76	13,960	13,970	0,010	Blacknite	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 77	13,943	13,952	0,009	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 78	13,847	13,860	0,013	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 79	13,847	13,860	0,013	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 80	12,467	12,479	0,012	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 81	12,467	12,474	0,007	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 82	12,466	12,476	0,010	nitraus	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 83	12,090	12,103	0,013	Corr-I-Dur®	sisäØ	20NiCrMo2-2
Mitta 84	12,072	12,087	0,015	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 85	12,070	12,094	0,024	Corr-I-Dur®	sisäØ	42CrMo4
Mitta 86	11,845	11,858	0,013	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 87	11,845	11,858	0,013	Corr-I-Dur®	ulkoØ	42CrMo4
Mitta 88	11,238	11,252	0,014	nitraus	ulkoØ	9SMnPb28K
Mitta 89	10,540	10,555	0,015	Blacknite	sisäØ	Imatra520
Mitta 90	9,957	9,966	0,009	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 91	9,954	9,966	0,012	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 92	9,953	9,964	0,011	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 93	9,945	9,955	0,010	nitraus	ulkoØ	25CrMo4
Mitta 94	8,025	7,995	-0,030	keltapassivointi	sisäØ	9SMnPb28K
Mitta 95	7,473	7,482	0,009	nitraus	ulkoØ	42CrMo4

LIITE 3: 3D-MITTAKONEEN MITTAPÖYTÄKIRJA

TOOLFAC		PART NAME : OHJAINRENGAS					elokuu 30, 2018	18:11
		REV NUMBER : 161431 C		SER NUMBER : 013345		STATS COUNT : 1		
⊕	MM	LOC1 - Ø95 Z-4						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
D	94.988	95.000	-0.012	0.000	-0.015	0.000		
RN	0.017	0.000	0.017	0.050	0.000	0.000		
⊕	MM	LOC2 - Ø95 Z-34						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
D	94.988	95.000	-0.012	0.000	-0.015	0.000		
RN	0.005	0.000	0.005	0.050	0.000	0.000		
⊕	MM	LOC4 - D65 YLEMPI						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
D	65.001	65.000	0.001	0.019	0.000	0.000		
RN	0.015	0.000	0.015	0.019	0.000	0.000		
⊕	MM	LOC5 - D65 ALEMPI						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
D	65.003	65.000	0.003	0.019	0.000	0.000		
RN	0.011	0.000	0.011	0.019	0.000	0.000		
⊕	MM	LOC7 - D50 YLEMPI						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
D	50.123	50.000	0.123	0.140	0.120	0.000		
RN	0.014	0.000	0.014	0.020	0.000	0.000		
⊕	MM	LOC8 - D50 ALEMPI						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
D	50.123	50.000	0.123	0.140	0.120	0.000		
RN	0.016	0.000	0.016	0.020	0.000	0.000		
⊙	MM	CONCEN1 - SYL D65 TO CYL95 ELEMENTTI A						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
M	0.003	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000		
⊙	MM	CONCEN2 - SYL D50 TO CYL95 ELEMENTTI A						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
M	0.002	0.000	0.002	0.020	0.000	0.000		
⊥	MM	PERP1 - OTSA TO CYL95 ELEMENTTI A						
AX	MEAS	NOMINAL	DEV	+TOL	-TOL	OUTTOL		
M	0.003	0.000	0.003	0.010	0.000	0.000		