

FERRIITTINEN RUOSTUMATON TERÄS SYVÄVETOPROSESSISSA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2011
Kyösti Oksanen

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Technology

OKSANEN, KYÖSTI ALBERT

Ferritic stainless steel in deep drawing
Stala Oy, Finland

Bachelor's Thesis in Mechatronics (40 pages, 2 appendices)

Spring 2011

ABSTRACT

This bachelor's thesis is about ferritic stainless steels in a deep drawing process. This bachelor's thesis was made for Stala Oy Finland. The purpose of this thesis was to find out the opportunities of more price friendly ferritic stainless steels compared to the more expensive austenitic stainless steels used currently. The application studied in this thesis was the Stala Oy product P40R-bowl and the type of ferritic stainless steel EN 1.4509.

The first part of the thesis is about Stala Oy as a company, the theory of deep drawing and about the features of the material EN 1.4509. Stala Oy produces kitchen bowls by using deep drawing. Deep drawing is an old manufacturing technology. Product information about the material EN 1.4509 is based on information given by the supplier and the document data sheets. EN 1.4509 is twin stabilized ferritic stainless steel, it contains Niobium and Titan. Micro structure of ferritic stainless steel is similar to the ferritic iron. It has similar physical and mechanical features as carbon steel. The material has much better corrosion resistance due the high levels of Chromium.

The second part describes the experiments and tests that were made during this study. The first test for the material was the Erichsen cup test. In the Erichsen cup test, the test subject is placed in between two test frames and a steel ball presses the cup into the material. Each steel material has its own unique way to act during the test. Two materials were used in this Erichsen cup test, austenitic (AISI 304) and ferritic (EN 1.4509). This second part also includes details about the manufacturing techniques of Stala Oy.

The third part of this thesis is about logistics and how to supply stainless steels at Stala Oy, it also includes details about the prices for stainless steel and discussion on the use of ferritic stainless steels compared the regular austenitic stainless steel. This bachelor's thesis appointed that using ferritic stainless steel in deep drawing process is not possible yet. Using ferritic in deep drawing requires investments and development of manufacturing tools.

This bachelor's thesis includes details about Stala Oy and Stala's manufacturing details and thus this thesis is declared to be confidential material. The thesis is censored. Key words: Ferritic stainless steel, deep drawing, EN 1.4509

YLEISESTI KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET

DEKO = Ohutlevyn pinta on kuvioitu valssaamalla

LME = London Metal Exchange, Lontoon metallipörssi

QFD = Quality function deployment, asiakaslähtöinen tuotekehitys

R ó arvo = Plastinen muodonmuutos suhde, eli anisotropiaparametri

R_m = Materiaalin murtolujuus

Roping ó pintavika = Syvävedetyissä tuotteissa syntyvät vassaussuunnan mukaiset viivat ja harjanteet

R_p = Materiaalin myötölujuus

RST = Ruostumaton teräs

Toimitusluokka 4N = Hiottu pinta

Toimitusluokka 2B = Pintakäsittelemätön syvävetomateriaali

Toimitusluokka DB = Harjattu pinta

SISÄLLYS

YLEISESTI KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET	3
1. JOHDANTO	5
1 YRITYS	6
2 FERRIITTISEN RUOSTUMATOMAN TERÄKSEN OMINAISUUDET JA TEORIA MENETELMIIN	7
2.1 Ferriittiset ruostumattomat teräokset	7
2.2 Ferriittisen ruostumattoman teräksen stabilointi	7
2.3 RST EN 1.4509 ominaisuudet ja standardit	8
2.4 Syväveto	9
2.5 Vetotyökalut	9
2.6 Vetäminen	10
2.7 Taguchi ó parametrien valintaperusteet	10
3 ERICHSENVETOKOE EN 1.4509 MATERIAALILLE	12
3.1 Erichsenvetokokeen alkutilanne ja työnkuvaus	12
3.2 Kokeen suoritus	15
3.3 Tulokset ja tulosten arvionti	17
4 FERRIITTINEN RUOSTUMATON TERÄS SYVÄVETOPROSESSISSA	19
5 HANKINTA JA LOGISTIIKKA	20
5.1 Saatavuus	20
5.2 Hintakehitys	20
6 YHTEENVETO JA POHDINTAA	21
LIITTEET	23

1. JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee ferriittisen ruostumattoman teräksen soveltamista syvävetoprosessiin, erityisesti EN 1.4509 standardin mukaista ruostumatonta terästä. Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Stala Oy:n kanssa ja tulee näin ollen Stala Oy:n tuotannon käyttöön. Opinnäytetyö sisältää menetelmäkuvauksia Stala Oy:n liiketoiminnasta ja menetelmistä, joten tästä syystä tämä opinnäytetyö on julistettu salaiseksi.

Nikkelin hinnan vaihtelu viime vuosina on vaikuttanut suuresti ferriittisen ruostumattomien teräksien käyttöön eri teollisuuden aloilla. Tavoitteena on selvittää mahdollisuus käyttää hinnaltaan huomattavasti halvempaa ruostumatonta teräslautaa syvävetoprosessissa. Ferriittinen ruostumaton teräs eroaa ominaisuuksiltaan ja kemialliselta koostumukseltaan huomattavasti yleisemmin käytetystä austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä. Yleisesti ottaen ferriittisissä ruostumattomissa teräksissä on vähemmän, tai ei ollenkaan, nikkeliä. EN 1.4509 on vain yksi laatu monista ferriittisistä ruostumattomista teräksistä. Siitä käytetään nimitystä öSyvävetolaatu. Materiaalin toimittajana on Outokumpu Oy. Tästä syystä kyseinen materiaali on valikoitu tämän opinnäytetyön perustaksi.

Sovelluskohteeksi on valittu Stala Oy:n P-40R allas. Tämä siitä syystä, että kyseinen komponentti on merkittävä tekijä allasvalmistuksessa. Kyseistä komponenttia valmistetaan vuosittain kymmeniä tuhansia kappaleita. Allaskomponentti valmistetaan syvävetämällä RST-ohutlevystä.

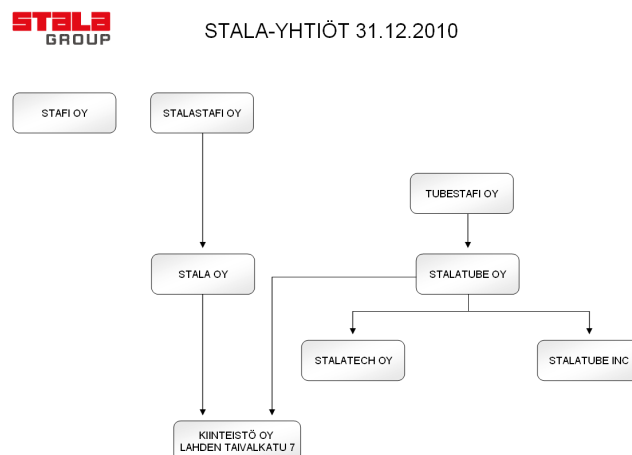
1 YRITYS

Stala Oy on suomalainen vuonna 1972 perustettu yritys. Yrityksen perusti Reino Rajamäki. Tällä hetkellä yrityksen toimitusjohtajan toimii Ismo Roponen, hän aloitti tehtävässä 1.1.2011. Stala Oy valmistaa kotitalouksien käyttöön tarkoitettuja keittiötasoja ja 6 altaita ruostumattomasta teräksestä. Lisäksi muita tuotteita ovat jätelajitteluvaunut ja postilaatikot. Stala Oy:n tuotteet ovat hyvin tunnettuja ympäri Suomea. Markkinat koostuvat 70 % kotimaisista asiakkaista ja 30 % ulkomaisista asiakkaista. (Stala 2010.)

Stala Oy:n tuotantolaitokset sekä pääkonttori sijaitsevat Lahdessa, lisäksi Stalalla on myyntiedustajia mm. Ruotsissa ja Venäjällä. Työntekijöitä on noin 75. (Stala 2010.)

Samalla tontilla toimii myös ruostumattoman putken valmistamiseen erikoistunut Stalatube Oy. Stalatube on perustettu vuonna 1972, toimitusjohtajana toimii Jukka Nummi. (Stalatube 2010.)

Stalatech aloitti toimintansa toukokuussa 2009, toimitusjohtajana toimii Kenneth Söderberg. Stalatech valmistaa jatkojalosteita ruostumattomasta teräsputkesta. Päätuotteina koneiden ja laitteiden rungot, kuljetusvälineiden rakenteet ja rakennusteollisuuden tuotteet.



KUVIO 1. Stala Group - organisaatio

2 FERRIITTISEN RUOSTUMATOMAN TERÄKSEN OMINAISUUDET JA TEORIA MENETELMIIN

2.1 Ferriittiset ruostumattomat teräkset

Kemialliset ominaisuudet

Ferriittisellä ruostumattomalla teräksellä tarkoitetaan yleisesti sellaisia teräksiä, jotka ovat rautapohjaisia (Fe) seoksia, joihin on lisätty kromia (Cr) 10,5 ó 30 %. Ferriittisiin ruostumattomiin teräksiin ei yleensä seosteta lainkaan nikkeliä (Ni). Seosaineina käytetään alumiinia (Al), titaania (Ti), molybdeenia (Mo), niobia (Nb) ja piitä (Si). Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat hyvin niukkahiilisiä (C), tyypillisesti noin 0,01- 0,09 %. (Aspegren, 2010.)

Ferriittisten ruostumattomien terästen kiderakenne on raudan ferriitti, ja niiden fysikaaliset ominaisuudet ja myös usein niiden mekaaniset ominaisuudet ovat lähellä hiiliterästä. Korroosionkestävyys on hiiliteräksiä parempi. (Konetekniikan Materiaalioppi, 146.)

2.2 Ferriittisen ruostumattoman teräksen stabilointi

Ferrittisiin ruostumattomiin teräksiin muodostuu austeniittia lämpökäsittelyn yhteydessä, joka voi aiheuttaa ei-toivottuja ominaisuuksia. Tällaisia ei-toivottuja ominaisuuksia ovat mm. karkeneminen jäähtymisen yhteydessä, joka voi johtaa haurausongelmiin. Herkistyminen kromikarbidiin erkanemisen vuoksi, kromiköyhät vyöhykkeet. Austeniitin on määrä riippuvainen erityisesti vapaan hiilen (C) ja typen (N) määrästä. Hiili ja typpi pyritään sitomaan erkaumiin seostamalla vahvoja karbidin / nitridin muodostajia (Ti, Nb, Zr).

Stabilointi vaikuttaa lopulliseen teräslaatuun. Hitsattavuus paranee, karkenemista ei tapahdu teräksessä. Muovattavuudessa saavutetaan paremmat R ó arvot, mikä vai-

kuttaa syvävedettävyyteen. Myös Roping-pintavika ominaisuus vähe-
nee.(Aspegren, 2010.)

2.3 RST EN 1.4509 ominaisuudet ja standardit

EN 1.4509 ominaisuudet

EN 1.4509
Outokumpu
X2CrTiNb18
Kemiallinen koostumus

EN	C	Cr	Mn	Ni	Ti+N b	Fe Ba I
1.4509	0,02	18,0	-	-	0,6	

KUVIO 2. EN 1.4509 Outokumpu kemiallinen koostumus (Aspegren, 2010.)

Materiaalitodistus on liitteessä 1.

EN 1.4509 on kaksoisstabiloitu ferriittinen ruostumaton teräs. Stabilointiaineina käytetään titaania ja niobia. Käyttökohteita ovat mm. autoteollisuuden ja prosessi-
teollisuuden sovellukset, hissien ja ovien kehykset, rakenneteräkset ja keittiö- ja
kodinkonesektori.

Korkea kromipitoisuus mahdollistaa normaalin austeniittisen ruostumattoman te-
räksen korvaamisen, kunhan käyttökohde on tarkkaan valikoitu. (Aspegren, 2010.)

Taulukko 1. EN 1.4509 lujuudet		
Lujuus	Arvo	Yksikkö
Myötölujuus Rp 0,2	Min. 250 (300...350)	Mpa
Murtolujuus Rm	430...630	Mpa
Murtovenymä A80 (%)	Min. 18 (27...32)	mm

Materiaaliin EN 1.4509 liittyviä standardeja ovat EN 1.4509, USN S43940, UNS
S43932, EN 10088-2-2005 ja ASTM A 240 ó 08.

2.4 Syväveto

Syveto suoritetaan siten, että tasaiselle aihiolle annetaan työkalujen, vetorenkaan, vetopainimen ja levynpidättimen avulla erilaisia muotoja. Vetoon saattaa kuulua useita työvaiheita kappaleen muodon mukaan. Kappaleen muoto määrää myös sen, tapahtuuko veto venyttämällä vai supistamalla. (Levytyötekniikka 1, 151.)

Aineiden veto-ominaisuuksien tärkeimmät tekijät ovat:

- vetolujuus ja muovattavuus
- pinnan laatu ja pinnoitusominaisuudet
- valssaustapa ja ó suunta
- vanhenemisominaisuudet
- hitsattavuus

Levyn valmistaja on taulukoinut sen veto-ominaisuudet ja jo tuotteen suunnitteluvaiheessa selvitetään ja valitaan sopivin laatu. Teräslevyä toimitetaan nauhana tai arkkeina. (Levytyötekniikka 1, 151.)

2.5 Vetotyökalut

Vetotyökalun pääosia ovat:

- vetorengas
- levynpidätin
- vetopainin

Vetopuristimet, joilla vetoliikkeet suoritetaan, ovat joko mekaanisia tai hydraulisia. Mekaanisen puristimen haittapuolena on vetonopeuden säätö liikkeen aikana. Siksi on rakennettu ns. monivaihepuristimia, joissa on useita työvaiheita peräkkäin. Hydraulisessa puristimessa voidaan vetonopeus säätää halutun suuruiseksi sekä lisätä ja vähentää vetovoimaa. (Levytyötekniikka 1, 151.)

2.6 Vetäminen

Työn kulku tapahtuu seuraavasti: Nauhasta tai arkista leikataan halutun kokonon aihio. Aihioon kiinnitetään erillinen vetokalvo, jollei sitä ole jo. Materiaalin toimittaja toimittaa tarvittaessa arkin tai nauhan halutulla vetokalvolla. Aihio siirretään rasvaukseen, jossa levitetään aihon pinnalle vetorasva. Tämän jälkeen aihiolle suoritetaan tarvittava määrä työvaiheita, jotta saatu kappale on halutun mallinen.

Tavallisessa syvävedossa on tärkeää levyn hallitseminen vedon aikana. Tavoitteena on saada aikaan sileä ja virheetön kappale, vaikka ei ihan tarkkaan tiedetä, miten levy liikkuu. Tulokseen vaikuttavat levyn laadun lisäksi

- vetonopeus
- levynpidättimen paine
- vetotyökalun konstruktio
- kappaleen voitelu
- työvaiheiden lukumäärä

(Levytyötekniikka 1, 152.)

2.7 Taguchi ó parametrien valintaperusteet

Kohdassa 4.3.1 sivulla 23 käsitellään Taguchi ó parametrejä. Japanilainen tohtori Genichi Taguchi kehitti 1950 ó luvulla menetelmän, jolla voidaan parantaa tuotteiden laatua. Vetoprosessia varten hyödynnettiin Taguchin määrittelemää parametrisuunnittelua, jossa toiminnoille määritellaan muuttujat ja näillä muuttujilla pyrittiin hakemaan optimitilannetta.

Taguchi ajattelussa hävikki mitataan aina rahassa, joten määritelmä antaa myös uuden asiakaslähtöisen ulottuvuuden laatukustannuksiin. Taguchi erottaa toisistaan tuotteen ominaisuudet ja laatuominaisuudet. (Tuotteiden ja toiminnan laadun kehittäminen, 121 ó 122.)

Jotta laadun aikaansaaminen olisi taloudellista, se on suunniteltava tuotteisiin. Laadua ei voi saavuttaa pienin kustannuksin tarkastamalla ja valitsemalla. Suunnittelu tapahtuu kolmen portaan kautta:

- systeemisuunnittelu, jolla määritellään funktio
- parametrisuunnittelu, jolla haetaan funktiolle optimi ja tavoitearvo
- toleranssisuunnittelu, jolla asetetaan toleranssit

Todellinen suunnittelu käynnistyy systeemisuunnittelulla, jolla valitaan ne tuotteen ominaisuudet, joita ihmiset arvostavat. Taguchi näkemyksen mukaan tähän suunnittelun vaiheeseen on vaikea kehittää matemaattista systematiikkaa. Asiakaslähtöinen tuotekehitys (QFD) tarjoaa erään ei-matemaattisen lähestymistavan. Systeemisuunnittelussa insinööritiedon, kokemuksen ja intuition avulla valitaan 2-3 tapaa, joilla tuotteen ominaisuudet pyritään saavuttamaan.

Seuraava vaihe on parametrisuunnittelu, jolla valittuja malleja testataan, ominaisuuksien parametreille haetaan optimiarvot ja tehdään tuote epäherkiksi ulkoisille häiriöille (poikkeamille tavoitearvosta). Taguchin mukaan suunnittelu alkaa oikeastaan vasta parametrisuunnittelusta.

Parametrisuunnittelun tavoitteena on valita optimitilanne (parametrit) niin, että tuote on mahdollisimman epäherkkä häiriöille. Häiriöt voidaan jaotella esimerkiksi seuraavasti:

- sisäiset häiriöt, joita on kuluminen, kitka jne.
- ulkoiset häiriöt, jotka juontavat juurensa tuotteen ulkopuolelta (lämpötilat, kosteus, jne.)
- tuotteen funktionaaliset häiriöt, joita ovat mm. vialliset osat ja aineet

(Tuotteiden ja toiminnan laadun kehittäminen, 124-125.)

3 ERICHSENVETOKOE EN 1.4509 MATERIAALILLE

3.1 Erichsenvetokokeen alkutilanne ja työnkuvaus

Erichsenin kokeella tutkitaan materiaalien venymismuovattavuutta.

Erichsenin kokeessa painetaan hydraulipuristimella (KUVA 1.) teräskuulaa vastinrenkasta vasten (KUVA 2.). Kuulan ja vastinrenkaan väliin asetetaan testattava kappale (KUVA 3.). Teräskuula painaa testikappaletta tasaisella voimalla, jolloin materiaali venyy. Testattavan kappaleen tulisi säilyä ehjänä kokeen aikana, jotta testituloksia olisi mahdollisimman tasainen. Kokeessa syntyneen painauman syvyys mitataan työntömitalla ja kirjataan ylös. Erichsenkokeen olennaisin osa on juuri tuo syntyneen painauman syvyys. Käytetyllä voimalla ei yleensä ole merkitystä, mutta tällä kertaa kokeessa halusimme kirjata ylös myös käytetyt voimat, koska tuloksia voidaan käyttää havainnollistamaan tarvittavia parametreja Stala Oy:llä suoritettavassa P-40 allas koesarjavedoissa.



KUVA 1: Vetokoelaitteisto, johon on asennettu Erichsenkoelaitteisto, kuula ja vastinrenkas.



KUVA 2: Erichsenkokeessa käytettävät kuulu (alempi osa) ja vastin rengas.

Kokeelle asetettiin kaksi tavoitetta:

1. selvittää kahden eri materiaalin käyttäytyminen Erichsenkokeessa
2. tarvittavan voiman suhde austeniittinen vs. ferriittinen materiaali.

Hypoteesiarviona oli, että austeniittiset koekappaleet venyvät paremmin. Syntyvä venytyskuppi on syvämpi, koska austeniittisella teräksellä on ominaisuus muokauslujittua. Vastaavasti ferriittiselle koemateriaalille arvio oli, että venytyskoe synnyttää matalamman kupin ja tarvittava toima on vähäisempi.

Koetta varten valmistettiin 30 koekappaletta kumpaakin materiaalia. Austeniittiset koekappaleet leikattiin P-40 allasaihiosta ja ferriittiset koekappaleet levystä. Koekappaleiden koko on 100 mm * 100 mm. Molempien koeaihioiden paksuus on 0,8 mm.

3.2 Kokeen suoritus

Erichsenkokeet suoritteen Lahden ammattikorkeakoulun tiloissa, metallintyöstölaboratoriossa Ståhlberginkatu 10:ssä. Koe-erän suuruudeksi valittiin 10kpl kumpaa-kin materiaalia. Tämän katsottiin olevan riittävän suuri koe-erä.

Koekappaleet voideltiin ennen koneeseen asettamista. Samoin kuula voideltiin jokaisen venytyksen välissä. Ennen kokeen aloitusta poistettiin suojakalvot koekappaleen pinnalta (Kuva 3.).



KUVA 3: Koekappale asennettuna paikalleen, voideltu puoli alaspäin.

Venytyksen aikana tarkkailtiin koneessa olevaa voimamittaria, jotta koe voitaisiin keskeyttää ennen kuin koekappale repeää. Jokaisella materiaalilla on omat myötörajansa, jotka voidaan havaita Erichsenkokeessa hyvin helposti. Testilaitte painaa koekappaletta (Kuva 4.) tasaisella voimalla siihen pisteeseen asti, jolloin materiaalin myötöraja tulee vastaan. Tällöin testilaitteessa oleva voimamittari hidastuu selkeäs-

ti ja voidaan jopa sanoa, että viisari pysähtyy. Tällöin tulee koe keskeyttää, esimerkiksi vähentämällä puristusvoimaa. Käytimme kuitenkin tällä kertaa nopeampaa ja tehokkaampaa tapaa ja pysäytimme hydraulipumpun moottorin. Koekappaleen säilyessä ehjänä saavutetaan paras mahdollinen koetulos. Koekappaletta saattavat myös revetä kokeen aikana (Kuva 5..). Tämä repeämä aiheuttaa testin mittaustuloksiin lievää virhettä, suuruusluokka on +0,1- 0,3 mm.



KUVA 4: Erichsenkoe käynnissä, kuvasta havaitaan hyvin selkeästi, miten materiaali käyttäytyy kokeen aikana.



KUVA 5: Suoritettu koe, koekappaleeseen syntynyt pieni repeämä.

3.3 Tulokset ja tulosten arviointi

Taulukko 2. Testitulokset, kupin syvyys mm ja tarvittu voima kN

	Ehricsen koe	16.9.2010					
	Kupin syvyys	mm			Vetovoima	kN	
	Austeniittinen	Ferriittinen	Erotus		Austeniittinen	Ferriittinen	Erotus
1.	11,65	8,50	3,15		27	18	9,00
2.	11,32	8,13	3,19		28	17	11,00
3.	11,54	8,81	2,73		26	17	9,00
4.	11,51	8,25	3,26		26	18	8,00
5.	11,34	8,10	3,24		26	18	8,00
6.	11,31	8,18	3,13		26	18	8,00
7.	11,47	8,16	3,31		26	18	8,00
8.	11,21	8,45	2,76		26	18	8,00
9.	11,61	8,61	3,00		26	18	8,00
10.	11,04	8,18	2,86		26	17	9,00
	Keskiarvo:	Keskiarvo:	Keskiarvo:		Keskiarvo:	Keskiarvo:	Keskiarvo:

11,40	8,34	3,06	26,3	17,7	8,60
-------	------	------	------	------	------

Virherviot tuloksille:

1. kupin syvyys $\pm 0,1 \text{ ó } 0,3 \text{ mm}$
2. voima $\pm 1,0 \text{ kN}$

Taulukko 2:n mukaan voidaan todeta seuraavaa: Austeniittisella koekappaleella on syvempi venytyskuppi verrattuna ferriittiseen laatuun. Ero on useita millimetrejä. Samoin käytetty venytysvoima on huomattavasti suurempi, kuin vastaava voima ferriittisellä koemateriaalilla. Tämä tukee teoriaa, jonka mukaan austeniittisella materiaalilla on taipumus muokkauslujittua vetoprosessin aikana. Vastaavasti ferriittisellä materiaalilla saavutetaan syvempi vetokuppi vähemmällä voimalla.

4 FERRIITTINEN RUOSTUMATON TERÄS SYVÄVETOPROSESSISSA

Sensuroitu tästä eteenpäin.

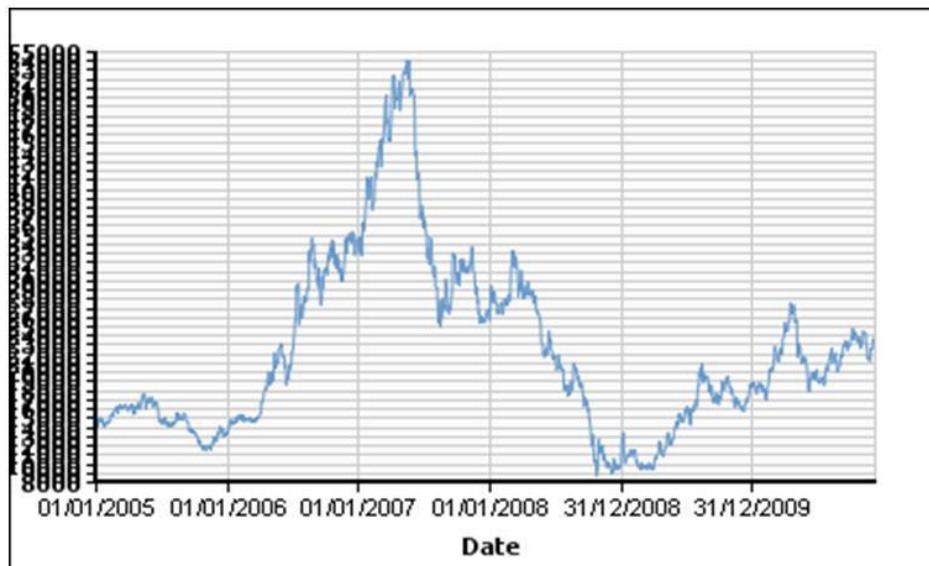
5 HANKINTA JA LOGISTIIKKA

5.1 Saatavuus

Materiaalin toimittaja: Outokumpu Oy, Suomi

5.2 Hintakehitys

Ruostumattoman teräksen hintaan suurin tekijä on nikkelin hinnan kehitys. Nikkelin hinta on vaihdellut viime vuosina merkittävästi (Kuvio 4.).



KUVIO 4: Nikkelin hinnan kehitys vuosina 2005 ó 2010 (London metal exchange, 2010.)

Sensuroitu tästä eteenpäin.

6 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä on tulevaisuudessa suurta kysyntää. Ei ai-noastaan EN 1.4509:lla, vaan myös kaikki muut tarjolla olevat laadut. Nikkelin hinta jatkaa kohoamistaan. Perusaine rauta on halpa raaka-aine. Voi olla, että tulevaisuudessa materiaalitekniikasta löytyy vielä uusia ratkaisuja korvaamaan nikkeliä ominaisuuksiltaan.

Sensuroitu tästä eteenpäin.

Lähteet

Laitinen, E., Koivisto K., Koskimäki, J., Niinimäki M., Tianen, T. & Tillikka, P., 2008. Konetekniikan materiaalioppi 12. painos, EDITA.

Katainen H. & A., Mäkinen, 1980. Kone- ja metallitekniikka Levytyötekniikka 1, WSOY.

Salminen P., 1990, Tuotteiden ja toiminnan laadun kehittäminen, Metalliteollisuuden kustannus.

London metal exchange, 2010, LME Nickel price graphs, www.lme.com, 8.12. 2010. http://www.lme.com/nickel_graphs.asp.

Aspegren P., 2010, Stabiloidut ferriittiset ruostumattomat teräkset, Outokumpu 14.4. 2010.

Manninen T., 2010, Ferriittisten ruostumattomien terästen muovattavuus, Outokumpu 14.4. 2010.

LIITTEET

LIITE 1

Outokumpu, Product information April, 2009

LIITE 2

P-40R allas päämitat