



EXTENSOMETRIN PROTOTYYPIN SUUNNITTELU

Ville-Veikko Virolainen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät

VIROLAINEN, VILLE-VEIKKO: Extensometrin prototyypin suunnittelu

Opinnäytetyö 26 s., liitteet 2 s.
Huhtikuu 2011

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Tampereen ammattikorkeakoulun tuotekehityslaboratorion käyttöön extensometrin prototyyppi. Extensometrin käyttötarkoituksen ymmärtämiseksi opinnäytetyössä perehdytään aluksi vetokokeeseen. Sen lisäksi tutkitaan erilaisia extensometrejä. Teoriaosuuden jälkeen perehdytään extensometrin suunnittelun eri vaiheisiin. Suunnittelutyö alkoi materiaalin valinnalla, jonka jälkeen alkoi extensometrin kiinnityksen sekä geometrian suunnittelu.

Vetokoe on tärkein materiaalin ominaisuuksien selvittämiseen käytettävä menetelmä, jossa koesauvaa venytetään, kunnes se katkeaa. Vetokokeen tuloksena saadaan jännitys-venymäpiirros, josta selviää tärkeitä materiaalin ominaisuuksia, kuten myötölujuus. Extensometrillä eli hienovenymäanturilla mitataan koesauvan venymää vetokokeen aikana. Extensometrit voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: koskettaviin extensometreihin sekä koskettamattomiin extensometreihin.

Suunnitteluvaihe alkoi materiaalin valinnalla. Tärkein materiaalilta vaadittava ominaisuus on myötölujuus, sillä extensometrin on kestävä sille vetokokeessa aiheutuvat rasitukset. Materiaalivaihtoehdot olivat alumiini, jousiteräs sekä pallografiitti rauta, joista materiaaliksi valikoitui jousiteräs. Tämän jälkeen suunniteltiin extensometrin kiinnitys sekä geometria.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi ehdotus extensometrin prototyypistä. Ajan puutteen vuoksi sitä ei kuitenkaan ehditty valmistaa tämän työn puitteissa, joten suunnitellun extensometrin toimivuus jäi arvoitukseksi. Tällä hetkellä vaikuttaa kuitenkin varsin todennäköiseltä, että suunniteltu extensometrin prototyyppi on päätetty valmistaa.

Avainsanat: Extensometri, hienovenymäanturi, prototyyppi, suunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied sciences
Machining and Production technique
Modern production systems

VIROLAINEN, VILLE-VEIKKO: Designing Extensometer Prototype

Bachelor's thesis 26 pages, appendices 2 pages
April 2011

The purpose of this thesis was to design extensometer prototype for R&D center in Tampere University of Applied sciences. To understand extensometers function, this thesis has theory about tensile test and about different extensometers. After this theory part it is all about that design project. Starting with material selection and then designing attachment for extensometer and then designing extensometers geometry.

Tensile test is the most important method to test quality of material. In tensile test, tensile test machine stretches testing material until it breaks and for result it gives stress-strain diagram. From stress-strain diagram you can see many important features of material, like yield limit. Extensometer measures strain of material during that test. You can deal extensometers to two different types: Contacting extensometers and Non-contacting extensometers.

Designing chapter began with material selection. Selected material need to have enough high yield limit to take all stress that comes against it in tensile test. Material selection was made among aluminium, special steel and special iron, where special steel was chosen from. After that extensometers attachment and geometry were designed.

As result of this thesis the final proposal of extensometers prototype design was made. Because of limited time for this project, it was not possible manufacture this prototype to test the feasibility of use in practice.

Keywords: Extensometer, prototype, designing

ESIPUHE

Aloitin tämän opinnäytetyön tekemisen jo keväällä 2010, mutta juuri työn alettua sain upean mahdollisuuden lähteä töihin Shanghain maailmannäyttelyyn ja päätin tarttua tähän tilaisuuteen. Niinpä tämän opinnäytetyön valmistuminen kesti poikkeuksellisen kauan, sillä Shanghaissa opinnäytetyöni tekeminen olisi ollut poikkeuksellisen haastavaa. Tästä johtuen opinnäytetyöni tekemiseen tuli noin vuoden pituinen tauko.

Haluankin kiittää työn tilaajaa Jani Katajistoa mahdollisuudesta lykätä tämän työn tekoa vuodella, jotta pääsin turvallisesti lähtemään Shanghaihin ilman pelkoa opinnäytetyön peruuntumisesta.

Haluan myös kiittää perhettäni, joka on tukenut minua upeasti koko opintojeni ajan, jotta opintoni sujuisivat mahdollisimman vaivattomasti.

Tampereella 7.huhtikuuta 2011

Ville-Veikko Virolainen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TEORIA	7
2.1 Vetokoe	7
2.2 Extensometri	9
2.2.1 Koskettava extensometri	9
2.2.2 Koskettamaton extensometri	10
2.3 Venymäliuska	11
3 EXTENSOMETRIN SUUNNITTELU	13
3.1 Tuotekehityslaboratorion tarpeiden kartoitus	13
3.2 Extensometrin materiaalin valinta	14
3.2.1 Alumiini	15
3.2.2 Jousiteräs	16
3.2.3 Pallografiitti rauta	16
3.3 Extensometrin geometrian ja kiinnityksen suunnittelu	17
3.3.1 Extensometrin kiinnityksen suunnittelu	17
3.3.2 Extensometrin geometrian suunnittelu	19
3.4 Venymäliuskojen kytkentä	20
3.5 Extensometrin valmistussuunnitelma	21
4 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24
LIITTEET	25

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee extensometrin prototyypin suunnittelua. Työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun tuotekehityslaboratoriolle keväällä 2011.

Tämän opinnäytetyön tavoite on suunnitella TAMK: n tuotekehityslaboratoriolle mahdollisimman käytännöllinen extensometri oppilaskäyttöön.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään alussa vetokokeen teoriaan sekä tarkemmin extensometriin. Teoriaosuuden jälkeen alkaa varsinaisen suunnitteluprojektin esittely, joka aloitetaan tuotekehityslaboratorion nykyisen tilanteen kartoituksella, sekä extensometriä koskevien vaatimusten esittelyllä.

Selvitystyön jälkeen tulee suunnittelutyön osuus, jonka alussa valitaan sopivin materiaali. Materiaalinvalinnan jälkeen alkaa suunnittelemani extensometrin geometrian sekä valitsemani kiinnitystavan esittely.

2 TEORIA

Tässä teoriaosuudessa käsitellään vetokokeen sekä extensometrin teoriaa. Aluksi käsitellään vetokokeen teoriaa, jotta extensometrin käyttötarkoitus tulisi mahdollisimman selväksi. Lisäksi tutustutaan venymäliuskaan, joka on suunniteltavan extensometrin toiminnalle varsin oleellinen komponentti. Tämän jälkeen perehdytään varsinaiseen opinnäytetyön aiheeseen eli extensometriin.

2.1 Vetokoe

Aineenkoestuksen avulla tutkitaan materiaalin ominaisuuksia, jotta voidaan olla varmoja, että ne täyttävät halutut vaatimukset. Aineenkoestusta tarvitaan myös materiaalitutkimuksissa sekä uusien materiaalien kehitystyössä.

Aineenkoestuksessa vetokoe on yksi käytetyimmistä materiaalin koestusmenetelmistä ja sen myötä myös tärkein. Vetokokeessa käytetään apuna koesauvaa, joka sijoitetaan vetokoneen (kuva 1) leukojen väliin ja sitä vedetään pituusakselinsa suuntaisesti vakionopeudella, kunnes koesauva katkeaa. Vetokokeen aikana seurataan vetokoneen vetovoimaa, sekä koesauvan pituussuuntaista venymää.

(Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomikoski, 2008,16,17.)



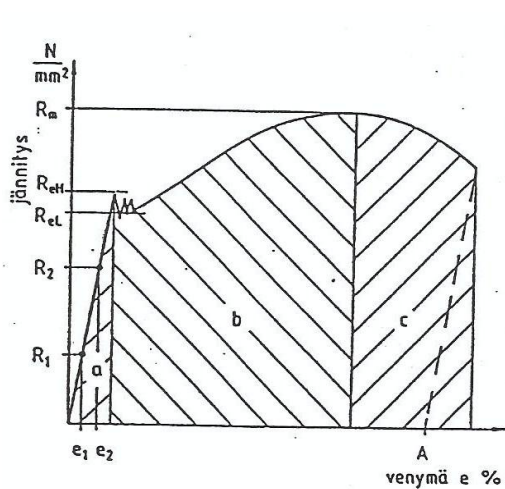
Kuva 1. Vetokone MTS 810.23 (Kuva: Steelpolis).

Vetokokeesta saadaan aluksi tuloksena voima- venymäpiirros. Jotta tuloksista olisi mahdollisimman paljon hyötyä, tulee saatujen mittaustulosten avulla piirtää jännitys-venymäpiirros (Kuvio 1). Vetokoe on standardoitu menetelmä, jonka standardi on SFS-EN 10002-1.

Vetokokeessa käytetty voima F jaetaan koesauvan alkuperäisellä poikkipinta-alalla S_0 , jolloin saadaan vetosauvassa vallitseva jännitys R kaavan (1) mukaisesti. Lisäksi koesauvan pituuden muutos muutetaan suhteelliseksi kaavan (2) avulla, missä L on koesauvan pituus vetokokeen lopussa ja L_0 on Koesauvan alkuperäinen pituus. (Koivisto ym. 2008, 17.)

$$R = \frac{F}{S_0} \quad (1)$$

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$



Kuvio 1. Jännitys-venymäpiirros.

Vetokokeesta saatujen tulosten avulla voidaan tutkittavasta materiaalista määrittää useita eri ominaisuuksia:

- Ylempi ja alempi myötöraja
- Murtolujuus
- Murtovenymä
- Kurouma
- Kimmokerroin.

Näitä ominaisuuksia hyödynnetään aina tilanteen ja tarpeen mukaan. Tässä työssä oleellisin arvo on ylempi myötöraja, sillä jännitysten pysyessä ylemmän myötörajan alapuolella materiaali kestää sille aiheutuvat rasitukset ja palaa alkuperäiseen muotoonsa koestuksen jälkeen. Mikäli raja ylitetään, materiaali ei palaudu enää alkuperäiseen muotoonsa, jolloin siihen syntyy pysyvä muodonmuutos. Extensometrin materiaalin myötörajan tulee siis olla korkeampi kuin koestettavien koesauvojen materiaali, jotta vältetään extensometrin hajoaminen vetokokeen aikana

2.2 Extensometri

Extensometri eli hienovenymäänturi on mittalaite, jolla mitataan koesauvan pituuden muutosta eli venymää vetokokeen aikana. Extensometrin avulla voidaan mitata todella pieniä, jopa $0,25\mu\text{m}$:n suuruusluokkaa olevia muutoksia koesauvan pituudessa. Extensometrejä on useita erilaisia mutta ne voidaan karkeasti jakaa kahteen eri tyyppiin: Koskettaviin extensometreihin (Contacting extensometers) ja koskettamattomiin extensometreihin (Non-contacting extensometers). (www.en.wikipedia.org, Luettu 3.2.2010.)

2.2.1 Koskettava extensometri

Kosketuksen kautta toimivat extensometrit (Kuva 2), ovat nimensä mukaisesti kosketuksissa koesauvaan. Näissä extensometreissä on kaksi mittakärkeä, jotka kiinnitetään koesauvan pinnalle vetokokeen ajaksi. Mittakärkien kiinnitykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta kärjet eivät pääse liikkumaan vetokokeen aikana.



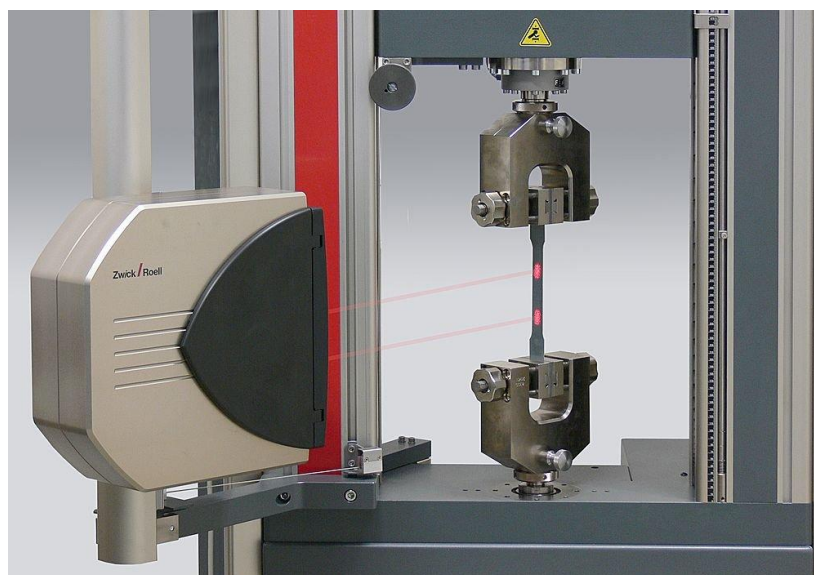
Kuva 2. Koskettava extensometri (Kuva: Instron).

Näiden extensometrien mittaustoiminta voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Koskettava extensometri voi mitata kärkiensä välisen etäisyyden muutosta, jolloin saadaan suoraan selville koesauvan venymä. Toinen tapa, jolla voidaan mitata venymää, on extensometrin sisäisen jännityksen muutoksen tutkiminen. Tämä toteutetaan esimerkiksi venymäliuskan avulla, joka kiinnitetään extensometrin pintaan ja venymäliuskan avulla mitataan koesauvan jännityksien muutosta. Saadut tulokset muunnetaan tietokoneen avulla koesauvan venymäksi.

Koskettavien extensometrien käytössä on oltava erityisen huolellinen, jotta sen mittakärjet eivät joudu vetokokeen aikana liian kauaksi toisistaan ja aiheuta extensometrin hajoamista. (U.S. Department of Defense, 2002, Chapter 6.4.4.3.)

2.2.2 Koskettamaton extensometri

Ilman kosketusta toimivat extensometrit (Kuva 3) eivät ole kosketuksissa koesauvaan vetokokeen aikana. Näissä extensometreissä mittakärjet on korvattu lasersäteiden avulla. Vetokokeen alussa lasersäteet kohdistetaan koesauvassa oleviin pisteisiin. Kokeen aikana säteet seuraavat tunnistamiaan pisteitä ja kokeen päättyessä saadaan selville koesauvan venymä.



Kuva 3. Koskettamaton extensometri (Kuva: Zwick Roell).

Koskettamattoman extensometrin etuja koskettavaan extensometriin verrattuna ovat turvallisuus sekä parempi tarkkuus. Koskettamattoman extensometrin hinta puolestaan on moninkertainen verrattuna koskettavaan. (www.tensiletest.com, Luettu 2.3.2010.)

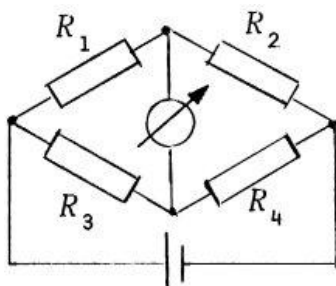
2.3 Venymäliuska

Venymäliuskan (Strain gage) (kuva 4) avulla mitataan materiaalin venymistä. Se on erittäin herkkä anturi, jonka toiminta perustuu sen sisällä olevan kuparilangan vastusarvon muuttumiseen. Vetokokeessa venymäliuska venyy, jolloin sen sisällä olevien kuparilankojen poikkipinta-ala pienenee ja tällöin langan vastus kasvaa. Tämä vastusarvon muutos vastaa liuskaan kohdistunutta venymää ja näin ollen saadaan selville koesauvan venymä.



Kuva 4. Venymäliuska (Kuva: Kompo 2010).

Venymäliuskat reagoivat hyvin pieniinkin muutoksiin ja ne kytketään usein Wheatstonen siltaan (kuvio 2), jossa on neljä vastusta. Kun venymäliuska kytketään jonkin näistä vastuksista tilalle, saadaan mitattua vastusarvon muutos ja näin ollen venymä. Venymäliuskoja kytketään usein useamman vastuksen tilalle, jolloin saatavista tuloksista tulee tarkempia.



Kuvio 2. Wheatstonen silta.

Kun käytetään venymäliuskoja vastusten tilalla, niin silloin puhutaan kokosillasta, ½-sillasta tai ¼-sillasta. Kokosillassa kaikki vastukset on korvattu venymäliuskoilla, ½-sillassa käytetään kahta venymäliuskaa ja ¼-sillassa on yksi venymäliuska.

Materiaaliin voi vaikuttaa useita eri tekijöitä aineen koestuksen aikana kuten lämpötila, normaalivoima, taivutusmomentti sekä vääntömomentti. Venymäliuskojen kytkentätapa riippuu siitä, mitä voimia materiaaliin kohdistuu aineen koestuksen aikana.

Venymäliuskojen kytkennällä saadaan eliminoidua nämä tekijät tuloksista, siksi on hyvin tärkeää tuntea suoritettavassa koestuksessa vaikuttavat voimat. Tässä työssä täytyy tarkastella extensometriin kohdistuvia voimia vetokokeen aikana, sillä venymäliuskoilla mitataan jännityksen (vastusarvon) muutosta extensometrissä vetokokeen aikana. Näiden jännitysmuutosten (=vastusarvon muutos) avulla extensometrissä saadaan sitten selville koesauvan venymä. Liitteessä 1 olevista kytkentätavoista valitaan käyttötarkoitukseen sopivin menetelmän.

Koska jännitteen muutokset näissä mittauksissa ovat usein varsin pieniä, käytetään usein vahvistimia, joilla saadaan tätä jännitteen muutosta vahvistettua ja näin ollen sen havainnoinnista tulee tarkempaa. (www.oulu.fi/teknokas, Luettu 23.2.2011. www.kyowa-ei.co.jp/english/pdf/whats.pdf, Luettu 22.3.2011.)

3 EXTENSOMETRIN SUUNNITTELU

Tämä osio käsittelee extensometrin suunnittelua Tampereen ammattikorkeakoulun tuotekehityslaboratorion tarpeisiin. Suunnittelutyö aloitetaan laboratorion tarpeiden kartoituksella, jotka esitellään seuraavana.

Kartoituksen jälkeen alkaa varsinainen suunnittelutyö, jossa ensin valitaan sopivin materiaali extensometrille. Tämän jälkeen ryhdytään suunnittelemaan extensometrin geometriaa ja kiinnitystä koesauvaan. Lisäksi valitaan venymäliuskojen määrä sekä kytkentämenetelmä. Tässä osiossa esitellään myös ehdotus mahdollisesta extensometrin valmistusmenetelmästä.

3.1 Tuotekehityslaboratorion tarpeiden kartoitus

Extensometrin suunnittelu aloitettiin kartoittamalla Tampereen ammattikorkeakoulun tuotekehityslaboratorion tarpeet ja toiveet suunniteltavaa extensometriä koskien. Laboratoriolla on tällä hetkellä käytössään extensometri (Kuva5), joka on kuitenkin varsin vaikeasti käytettävissä pienen kokonsa ja hankalan kiinnityksen takia. Näin ollen suunnittelemani prototyypin tulisi olla mahdollisimman helppokäyttöinen. Lisäksi tämä em. extensometri on käytössä ainoastaan toisella aineenkoestuskoneella.



Kuva 5. Tuotekehityslaboratorion käytössä oleva extensometri.

Extensometrin prototyypin mittaustekniikka on tarkoitus toteuttaa venymäliuskojen avulla, joten extensometristä tulee kosketukseen perustuva. Extensometrin tulee siis olla riittävän leveä näiden liuskojen kiinnitykseen. Mittakärkien etäisyyden toisistaan toivottiin olevan noin 50mm.

Laboratorion vetokokeissa käytetään koesauvojen materiaaleina kahta eri terästä: S235 ja S355. Extensometrin materiaalina tulisi olla näiden terästen koestamiseen soveltuva materiaali, tärkeimpänä ominaisuutena käytetään myötörajaa. Suunniteltavan extensometrin materiaalin tulee kestää sille aiheutuvat rasitukset vetokokeen aikana.

Kiinnityksen suunnittelun kohdalla tulee kiinnittää huomiota siihen, että extensometrillä tullaan mittaamaan eri halkaisijan omaavia koesauvoja. Sauvojen halkaisijat liikkuvat välillä 10...20 mm, joten kiinnityksen tulee soveltua tälle alueelle.

Laboratorion toiveet ja vaatimukset:

- Helppokäyttöinen
- Koskettava extensometri
- Mittakärkien etäisyys toisistaan vähintään 50mm
- Extensometrin on kestettävä teräksen vetokokeesta aiheutuvat rasitukset
- Kiinnityksen sovelluttava halkaisijaltaan 10...20 mm koesauvoille
- Riittävän leveä venymäliuskojen kiinnittämiseen
- Mittaustekniikka: Venymäliuska.

3.2 Extensometrin materiaalin valinta

Tampereen ammattikorkeakoulun tuotekehityslaboratorio ei asettanut materiaalin suhteen toivomuksia. Luonnollisesti valittavan materiaalin tulee kestää sille vetokokeessa aiheutuvat rasitukset. Tärkeimpänä tarkasteltavana ominaisuutena pidetään materiaalin myötörajaa.

Laboratoriossa suoritettavissa vetokokeissa käytetään koesauvojen materiaalina kahta eri terästä: S235 ja S355. Tästä johtuen valittavan materiaalin myötörajan tulee olla yli 355 Mpa.

Valittu materiaali ei kuitenkaan saa olla liian lujaa, sillä extensometrin materiaalin tulee muuttaa muotoaan vetokokeen aikana, jotta venymäliuskoilla suoritettava mittaus onnistuu.

Päädyn valitsemaan materiaalin seuraavasta materiaalijoukosta, jotka esittelen tarkemmin. Vertailuun valitut materiaalit ovat: Jousiteräs, alumiini sekä pallografiittirauta. Materiaalien ominaisuuksia voi tarkastella taulukosta 1.

Taulukko1. Vertailtavien materiaalien ominaisuuksia (Outinen & Salmi, 2004, 429,434)

Materiaali	Myötöraja (Mpa)	Murtolujuus (Mpa)	Standardi
Ruostumaton jousiteräs 1.4310	-	1700-1900	EN 1.4310
Alumiini EN AW – AlCu4SiMg-T651	390	440	SFS- EN485-2
Pallografiittirauta GPR 600	380	600	SFS 2113

3.2.1 Alumiini

Alumiini on kevyt, luja, korroosion kestävä, kulutuksen kestävä, sitkeä sekä hyvin lämpöä ja sähköä johtava metalli. Alumiinia pystytään muokkaamaan samalla tavalla kuin terästäkin, joskin jotkin menetelmät ovat selvästi työläämpiä.

(<http://www.teknologiateollisuus.fi>, Luettu 7.2.2011.)

Tähän työhön alumiini soveltuu hyvin lujuutensa, sekä kulutuksen kesto ominaisuuksiensa ansiosta, kun taas alumiinin keveydestä ei ole juurikaan hyötyä, sillä suunniteltava extensometri on varsin pieni, eikä painolla näin ollen ole lainkaan merkitystä.

3.2.2 Jousiteräs

Jousiteräs on luja teräslaatu, joka valmistetaan seostusten sekä lämpö- ja/tai kylmäkäsittelyn avulla. Jousiteräs on suhteellisen helppo muokata haluttuun muotoon ja se kestää hyvin vetokokeen aiheuttamaa rasitusta.

(<http://wikikko.info/wiki/Metallit#Jousiter.C3.A4s>, Luettu 7.2.2011.)

Tähän työhön jousiteräs soveltuu mainiosti lujuuksensa sekä muovattavuutensa ansiosta. Vaikka jousiteräkselle ei ilmoiteta myötölujuusarvoa, pitäisi sen Ruukki Oy:n mukaan kestää vetokokeen aiheuttamat rasitukset.

3.2.3 Pallografiittirauta

Pallografiittiraudalla on hyvät lujuus-, sitkeys- sekä väsymisominaisuudet. Yleisesti ottaen pallografiitti raudan ominaisuudet ovat varsin lähellä perus rakenneteräksen ominaisuuksia. Pallografiittirautaa käytetäänkin nykyisin rakenneteräksen korvaajana.

(<http://www.valuatlas.fi>, Luettu 7.2.2011.)

Tässä työssä pallografiittirauta ei ole kovinkaan käytännöllinen, vaikka se materiaalin ominaisuuksien puolesta kelpaisikin. Pallografiittirauta häviää ominaisuuksiltaan sekä muovattavuudeltaan jousiteräkselle.

Kuten taulukosta 1. näemme niin kaikki valittavat materiaalit täyttävät tarvittavat materiaalilta vaadittavat ominaisuudet. Varsin tärkeä kriteeri materiaalin valinnassa on ominaisuuksien lisäksi materiaalin muovattavuus. Muovattavuudessa jousiteräs on selvästi alumiinia sekä pallografiittirautaa parempi.

Tästä valitusta materiaalijoukosta paras materiaali extensometrin materiaaliksi on jousiteräs, sillä se on ominaisuuksiltaan sekä muovattavuudeltaan sopivin tähän tarkoitukseen.

3.3 Extensometrin geometrian ja kiinnityksen suunnittelu

Extensometrin geometrian- sekä kiinnityksen suunnitteluun annettiin tuotekehityslaboratoriolta varsin vapaat kädet. Kiinnityksessä tuli ottaa huomioon että vetokokeessa tutkittavan sauvan halkaisija vaihtelee välillä 10...20 mm, joten kiinnityksen tulee soveltua tähän tarkoitukseen.

Extensometrin geometrialle ei asetettu kuin yksi vaatimus eli mittakärkien etäisyyden toisistaan tulee olla 50mm. Geometrian suunnittelussa tulee kuitenkin ottaa huomioon että extensometri on tarpeeksi leveä, jotta siihen voidaan kiinnittää venymäliuska/venymäliuskoja.

Extensometrin suunnittelu aloitettiin kiinnityksestä ja tämän jälkeen siirryttiin suunnittelemaan geometriaa. Lisäksi valittiin venymäliuskojen kiinnitystapa sekä mahdollinen valmistustapa extensometrille. Tässä osiossa esitellään työn tulokset.

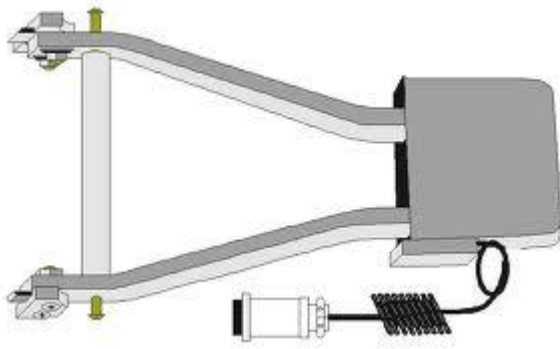
3.3.1 Extensometrin kiinnityksen suunnittelu

Kiinnityksen tulee siis soveltua pyöreään koesauvaan, jonka halkaisija vaihtelee välillä 10...20mm. Lisäksi toivottiin että extensometri olisi mahdollisimman helppo kiinnittää koesauvaan.

Extensometrin kiinnityksen suunnittelu aloitettiin tutkimalla jo olemassa olevia kiinnityksiä (kuvat 6 ja 7), tältä pohjalta lähdettiin sitten suunnittelemaan omaa kiinnitysjärjestelyä.



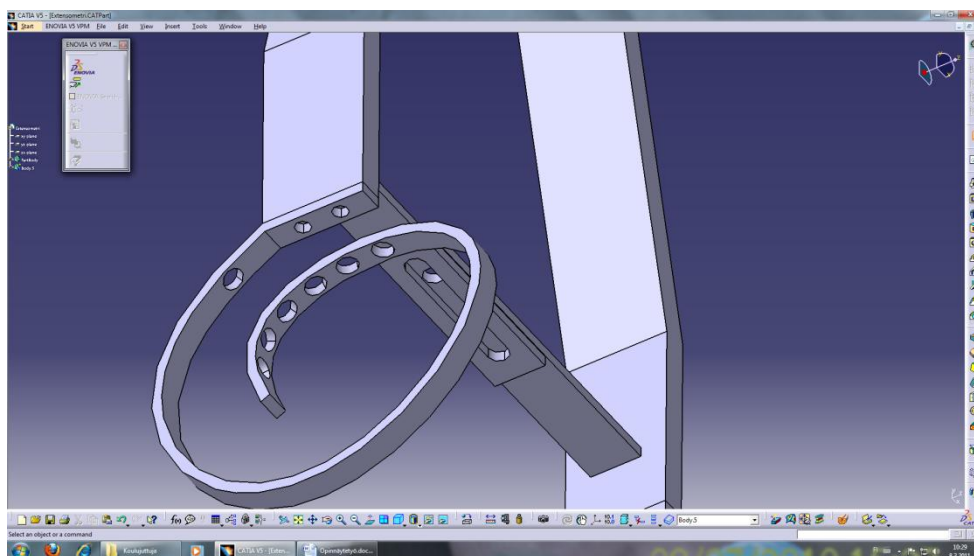
Kuva 6. Jousiratkaisu kiinnityksessä (Kuva: MTS systems corporation).



Kuva 7. Kiinnitys koesauvan päistä (Kuva: Laryee Technology Co.).

Kuten kuvista 6 ja 7 näemme, niin kiinnityksen voi suunnitella varsin erilaisilla tavoilla. Nämä kaksi ratkaisua olivat mielestäni parhaiten toteutettavissa. Kuvan 7 ratkaisu vaatisi kuitenkin varsin suuren rakennelman, joten päädyttiin suunnittelemaan kuvan 6 kaltaista ratkaisua.

Kuvassa 8 on nähtävillä suunniteltu kiinnitysratkaisu. Kiinnityksessä on säädettävä pyöreähkö kiinnike, jossa on kuusi eri säätöreikää 2,5 millimetrin välein. Kiinnitysrengas on 27,5 millimetriä pitkä. Säätöreikiä on myös helppo porata lisää tarvittaessa, jotta saadaan kiinnitys sopivalle kireydelle. Extensometri kiinnitetään koesauvaan ruuvilla sopivan säätöreiän kohdalta. Suunniteltu kiinnitys soveltuu käytettäväksi koesauvoille, joiden halkaisija on 10...22,5mm. Kiinnityspala kiinnitetään extensometrin alaosaan kahdella ruuvilla.

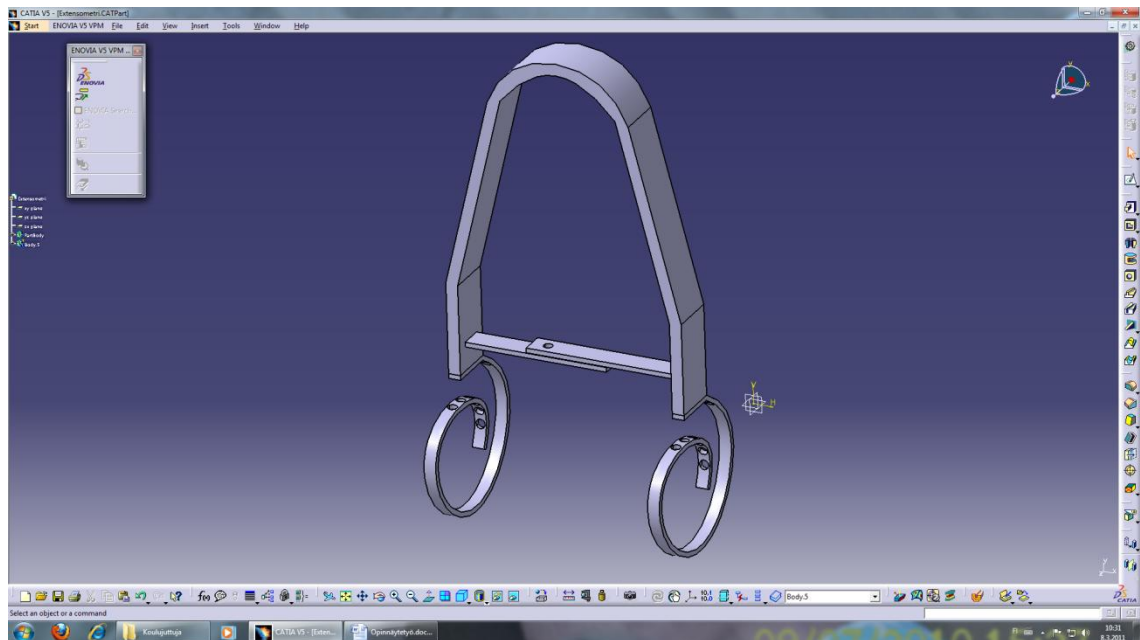


Kuva 8. Kiinnitysratkaisu.

3.3.2 Extensometrin geometrian suunnittelu

Geometrian suunnittelussa lähdettiin liikkeelle samalla tavalla kuin kiinnityksenkin suunnittelussa eli tutkittiin ensin jo olemassa olevia ratkaisuja. Extensometrin geometrialle on olemassa useita erilaisia sovelluksia, joista kaksi on nähtävissä kuvista 6 ja 7.

Geometrisesti kuvan 7 tapainen U-muoto on mielestäni varsin helposti toteutettavissa ja se kestää hyvin vetokokeen aiheuttamaa rasitusta, joten päädyttiin suunnittelemaan tämän kaltaista ratkaisua. Suunniteltu extensometrin prototyyppi on nähtävissä kuvassa 9.



Kuva 9. Extensometrin prototyyppi.

Extensometrin geometriana päädyttiin käyttämään U-muotoa, sillä sen avulla pystytään välttämään teräviä kulmia, jotka rasituksessa pettävät helposti. Extensometrin piirustukset ovat liitteessä 2.

Extensometriin on myös suunniteltu turvajärjestelmän, jolla extensometriä estetään taipumasta liikaa vetokokeen aikana. Turvaviritys sijaitsee extensometrin alaosassa ja se koostuu kahdesta levyistä. Alemmassa levyssä on 13millimetriä leveä lovi ja ylemmässä levyssä on reikä. Ylemmän levyn läpi työnnetään sokka, joka menee alemman levyn loveen, sokan tarkoitus on pysäyttää extensometrin toiminta maksimissaan 13 millimetrin laajenemisen jälkeen.

Turvamekanismi voidaan kiinnittää extensometriin esimerkiksi neljällä ruuvilla. Turvapalojen materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi ruostumatonta terästä.

Extensometrin valmistumisen jälkeen se vaatii vielä paljon testausta ennen kuin se on valmis oppilaskäyttöön. Ennen testausten suorittamista on mahdotonta arvioida kuinka hyvin suunniteltu extensometri tulee toimimaan. Mielestäni suunnitellun extensometrin prototyypin hinta ei ole kovinkaan suuri, joten se antaa hyvät mahdollisuudet testaamiseen pienelläkin budjetilla.

3.4 Venymäliuskojen kytkentä

Venymäliuskojen määrä sekä kytkentätapa tulee valita extensometriin vetokokeen aikana kohdistuvien voimien mukaan. Liitteessä 1 on nähtävillä erilaisia kytkentätapoja. Vetokokeessa extensometriin kohdistuu taivutusmomentti, jolloin tulee käyttää kytkentätapaa 4 tai 8 (Liite 1). Taivutusmomentin huomioiminen edellyttää siis kahden tai neljän venymäliuskan käyttöä. Kahta venymäliuskaa käytettäessä toinen liuska asetetaan extensometrin yläpinnalle ja toinen sen alapuolelle liitteestä 1 nähtävän kuvan mukaisesti (Kytchentätapa 4). Neljää venymäliuskaa käytettäessä liuskat asetetaan pareittain vastaavalla tavalla extensometrin ylä- sekä alapuolelle liitteestä 1 nähtävän kuvan mukaisesti (Kytchentätapa 8).

Extensometrin leveys asettaa rajoituksia venymäliuskojen määrälle, joten tässä tapauksessa on selvää että on käytettävä kytkentätapaa 4, sillä extensometrin leveys ei salli kahden venymäliuskan kiinnittämistä vierekkäin. Extensometriin tulee siis kaksi venymäliuskaa, jotka kiinnitetään extensometrin yläosaan kytkentätapaa 4 noudattaen eli venymäliuskat sijoitetaan extensometrin ylä- ja alapinnalle. Nämä liuskat poistavat mittaustuloksista taivutuksen aiheuttaman jännitysmuutoksen, jolloin saadaan mitattua ainoastaan vastusarvon muutosta ja näin ollen venymää.

Venymäliuskat tulisi myös suojata, jottei niitä kosketeltaisi liikaa extensometriä käsiteltäessä ja näin ollen vältetään mahdolliset epätarkkuudet mittauksissa. Suojana voidaan käyttää esimerkiksi jonkinlaista muovista koteloa, joka kiinnitetään extensometriin venymäliuskojen asentamisen jälkeen.

3.5 Extensometrin valmistussuunnitelma

Extensometrin valmistuksessa lähdetään liikkeelle materiaalin hankinnasta.

Extensometrin materiaali on siis jousiteräs, jota on saatavilla teräsvalmistajilta.

Jousiterästä myydään yleensä keloina, joten kerralla saadaan materiaalia useammankin extensometrin valmistamiseen. Lisäksi tarvitaan ruostumatonta terästä aihio, josta voidaan valmistaa turvamekanismi. Turvamekanismia varten tarvitaan myös pieni sokka, jolla mekanismi lukitaan. Valmistuksessa tarvitaan myös vähintään kymmenen M1 ruuvia, jotta osat saadaan kiinnitettyä toisiinsa.

Extensometrin geometrian valmistamiseksi tarvitaan muotti, johon on kaiverrettu extensometrin geometria. Tähän muottiin leikataan sopivan kokoinen pala jousiterästä joka taivutellaan muottiin. Tässä vaiheessa jousiteräksen hyvästä muovautuvuus ominaisuudesta on paljon iloa. Tämän jälkeen muotti tulee laittaa uuniin, jossa jousiteräs kuumennetaan hehkuvaksi. Hehkuessaan jousiteräs omaksuu uuden geometriansa ja hitaalla jäähtytyksellä se saadaan pysymään muodossaan.

Kiinnitysrenkaiden valmistamiseen ei todennäköisesti tarvita hehkutus-toimenpidettä, sillä jousiteräs on helppo taivuttaa vaadittavaan muotoon ja ruuvien avulla rengas saadaan pidettyä muodossaan. Tarvittaessa voidaan kuitenkin käyttää vastaavaa menetelmää, jota käytettiin geometrian valmistamiseksi.

Turvamekanismin valmistus teräsaihiosta alkaa vähintään kahden palan leikkaamisella. Tämä leikkausoperaatio riippuu tietysti aihion koosta, mikäli aihio on varsin suuri, niin se kannattaa ensin paloittaa pienemmiksi osiksi. Mutta mikäli aihio on pieni, voidaan se vain ns. puolittaa, jolloin saadaan valmistettua turvamekanismin tarvitsemat kaksi palaa. Turvamekanismin palat voidaan valmistaa varsin helposti jyrshintä käyttäen. Jyrshintä saadaan myös tehtyä toiseen palaan tarvittava railo.

Kaikki tarvittavat reiät voidaan sitten tehdä viimeisenä. Tässä tapauksessa ei tarvita kuin yksi terä, jolla voidaan tehdä kaikki reiät, sillä ne ovat samanlaisia ja samankokoisia. reiät pitäisi olla mahdollista tehdä esimerkiksi käsiporalla, jolloin tarvitaan lisäksi kiristyspenkki, johon porattavat osat kiinnitetään.

Lopuksi osat kiinnitetään toisiinsa ruuveilla ja extensometri on valmis. Tämän jälkeen voidaan asentaa venymäliuskat extensometrillä pinnalle ja aloittaa vetokokeen suorittaminen.

4 YHTEENVETO

Extensometrin prototyypin suunnittelu oli kaiken kaikkiaan varsin mielenkiintoinen ja haastava projekti. Tiedon saatavuus extensometreistä on varsin niukkaa ja se lisäsi työn haastavuutta runsaasti. Extensometri ei ollut minulle myöskään tuttu mittausväline ennen tätä opinnäytetyötä, joten sen toiminnan selvittämiseen kului jonkin verran aikaa. Tämän projektin avulla pystyin kehittämään erityisesti suunnittelutaitojani, sillä noin puolet tähän opinnäytetyöhön käytetystä ajasta kului 3D-suunnitteluohjelmaa käyttäessä.

Työn tarkoituksena oli suunnitella extensometrin prototyyppi ja kuten prototyypit yleensä ne vaativat usein vielä hienosäätöä valmistumisen jälkeenkin. Tälle projektille varatun ajan puitteissa emme kuitenkaan ehdi valmistaa suunniteltua extensometriä, joten sen toimivuudesta en tähän työhön liittyen saa informaatiota. Toivon kuitenkin saavani tietoa, mikäli tämä ehdotukseni päätetään toteuttaa. Mutta tällä erää extensometrin toiminta jää siis vain arvailujen varaan.

Toivon tämän extensometrin tarjoavan mahdollisuuden edulliseen mittausratkaisuun Tampereen ammattikorkeakoulun tuotekehityslaboratoriolle, jos verrataan markkinoilla oleviin vaihtoehtoihin. Kenties tämä opinnäytetyöni tarjoaa jollekin toiselle oppilaalle mahdollisuuden opinnäytetyöhön esimerkiksi extensometrin valmistus- ja testausvaiheessa.

LÄHTEET

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., Tuomikoski, J. 2008. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kyowa. 2004. How to form strain-gage bridges. Luettu 6.4.2011.
<http://www.kyowa-ei.co.jp/english/products/gages/index.htm>.

Kyowa. 2005. What is a strain gage. Introduction to strain gages. Luettu 22.3.2011.
<http://www.kyowa-ei.co.jp/english/pdf/whats.pdf>.

Orkas, J., Heinämäki, J. 2007. Valunhankinta tarjouspyynnöstä tarjoukseksi. Valuraudat. Seminaari. 15.–16.3.2007. Valimoinstituutti. Tampere. Luettu 7.2.2011.
http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/seminaarit/Orkas_Valuraudat.pdf.

Outinen, H., Salmi, T. 2004. Lujusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy.

Settimi, T. 1997–2003. Optical extensometry: It's here to stay. United calibration corp. California. Luettu 2.3.2010.
http://www.tensiletest.com/products_services/laserext.htm.

Teknologiakasvatus NYT!. 2007. Virtuaalimateriaalia opettajalle. Luettu 23.2.2011.
<http://www oulu.fi/teknokas/tehtavakortit/venymaliuska.pdf>.

Teknologia teollisuus ry. 2011. Alumiini materiaalina. Luettu 7.2.2011.
<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/alumiini-materiaalina.html>.

U.S. Department of Defense, 2002 USA. Department of defence handbook, Composite materials handbook, volume1. Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials. (Knovel)

Wikikko. 2011. Wikikko - Koko kansan taitopankki. Metallit. Luettu 7.2.2011.
<http://wikikko.info/wiki/Metallit#Jousiter.C3.A4s>.

Wikipedia. 2010. Wikipedia, the free encyclopedia. Extensometer. Luettu 3.2.2010.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Extensometer>.

1			$\varepsilon = \varepsilon_n + \varepsilon_b = \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B} - \varepsilon_g$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	1	1	1	0
T	F	M _b	M _d									
1	1	1	0									
2			$\varepsilon = \varepsilon_n + \varepsilon_b = \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	0	1	1	0
T	F	M _b	M _d									
0	1	1	0									
3			$\varepsilon = \varepsilon_n + \varepsilon_b = \frac{1}{(1+\mu)} \cdot \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1+μ</td> <td>1+μ</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	0	1+μ	1+μ	0
T	F	M _b	M _d									
0	1+μ	1+μ	0									
4			$\varepsilon = \varepsilon_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	0	0	2	0
T	F	M _b	M _d									
0	0	2	0									
5			$\varepsilon = \varepsilon_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B} - \varepsilon_g$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	2	2	0	0
T	F	M _b	M _d									
2	2	0	0									
6			$\varepsilon = \varepsilon_n + \varepsilon_b = \frac{1}{2(1+\mu)} \cdot \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>2(1+μ)</td> <td>2(1+μ)</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	0	2(1+μ)	2(1+μ)	0
T	F	M _b	M _d									
0	2(1+μ)	2(1+μ)	0									
7			$\varepsilon = \varepsilon_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	0	2	0	0
T	F	M _b	M _d									
0	2	0	0									
8			$\varepsilon = \varepsilon_b = \frac{1}{4} \cdot \frac{4}{k} \cdot \frac{U_A}{U_B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T</th> <th>F</th> <th>M_b</th> <th>M_d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>4</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	T	F	M _b	M _d	0	0	4	0
T	F	M _b	M _d									
0	0	4	0									

table 1: = active SG = passive SG or resistor

= SG for temperature compensation

T=temperature, F=normal force, M_b=bending moment, M_t=torque

