

Metamorfoosi

Lahden Ammattikorkeakoulu
Muotoilunkoulutusohjelma
Taideteollisuuden suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
Syksy 2009

Tekijä: Kalle Kulmala
Ohjaava opettaja: Pekka Koponen
Opponentti: Lauri Eno

Lahden Ammattikorkeakoulu
Muotoilu- ja taideinstituutti

KALLE KULMALA: Metamorfoosi

Taideteollisuuden suuntautumisvaihtoehdon opinnäytetyö, 35 sivua + liitteet

Syksy 2009

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käsittelen muistimateriaaleja. Muistimateriaalit ovat niin sanottuja älymateriaaleja, jotka reagoivat ympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Työ sisältää tutkimusta muistimateriaalien historiasta ja tulevaisuuden näkymistä, sekä pohdintaa niiden mahdollisuuksista koruallalla. Kerron myös omien kokeilujen pohjalta nitinol-nimisen muistimetallin ominaisuuksista ja työstötavoista. Valmistin hiuskorun, jonka mekanismissa käytin Nitinolmuistimetallia. Koru on hopeinen kukka, joka reagoi lämpötilan muutokseen avautumalla lämpötilan noustessa.

asiasanat: muistimetalli, älymateriaalit, korumuotoilu

Lahti University of Applied Sciences
Institute of Design

KALLE KULMALA: Metamorfoosi

Bachelor`s thesis of Orientation of Arts and Crafts, 35 pages + appendix

Autumn 2009

ABSTRACT

This thesis covers shape memory materials. Shape memory materials are so called smart materials that can change their shape significantly by external stimuli from their environment.

This thesis is a study of the history and the future prospects and opportunities of shape memory materials. Thesis also reflectes of the possibilities of using shape memory materials in jewelry design industry. This thesis also describes the features and methods of using a shape memory material called Nitinol on the basis of my own experiences and experiments. I prepared a hair jewelry, which has nitinol in its mechanism. This piece of jewelry is a flower made of silver which reacts to the changes of temperature by opening up then the temperature rises.

descriptors: memory metal, smart material, jewellery design

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1	5. Korun suunnittelu	18
2. Muistimateriaalit	2	5.1 Luonnostelu	20
2.1 Muistimateriaalien historia	3	5.2 Mekanismin suunnittelu	22
2.2 Nykyajan sovellutukset	6	6. Korun valmistus	24
3. Nitinol	8	7. Markkinointi	30
3.1 Nitinolin ominaisuudet	9	8. Pohdinta	32
3.2 Työstäminen	10	Lähteet	34
3.3 Nitinolin mahdollisuudet korumuotoilussa	12	Liitteet	
4. Materiaalikoikeilut nitinolilla	14		
4.1 Miten metalli muistaa?	15		
4.2 Älyklipsi	16		
4.3 Kaarilanka	17		

Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutustutan lukijan korualalla tuntemattomaan materiaaliryhmään. Muistimateriaaleja on käytetty mitä erilaisimmissa sovellutuksissa 1960-luvulta lähtien. Teknologian kehittyminen luo kuitenkin jatkuvasti uusia mahdollisuuksia näille materiaaleille. Näin ollen muistimateriaalit ovat nousemassa myös suuren yleisön tietoisuuteen. Tässä työssä tutkin muistimateriaalien mahdollisuuksia korumuotoilussa.

Työ sisältää tutkimusta ja kokeilua Nitinol-nimisestä muistimetallista ja sen mahdollisuuksista korumuotoilussa. Tietolähteinäni olivat pääasiassa Internet, Tampereen teknillisen yliopiston tutkija Erkki Itävuori sekä hänen vuonna 1991 kirjoittamansa raportti muistimetalleista. Raportin lisäksi muita suomenkielisiä painettuja julkaisuja aiheesta ei ole.

Kokeilujen pohjalta valmistin myös lämpötilan muutokseen reagoivan korun, jonka mekanismi on valmistettu Nitinolista. Koru on hopeinen nappu, joka puhkeaa kukaksi lämpötilan noustessa. Pyrkimykseni oli saada aikaiseksi koru, joka myös sulkeutuu itsestään lämpötilan laskiessa.

2. Muistimateriaalit

Muistimateriaalit ovat niin sanottuja älymateriaaleja. Älymateriaaleiksi kutsutaan materiaaleja, jotka reagoivat ympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Materiaaleja, jotka muistavat yhden tai useamman muodon johon ne pystyvät palautumaan tietyn ärsykkeen voimasta, kutsutaan muistimateriaaleiksi. Tällaisia ärsykejä saattavat olla lämpötilan, magneettikentän, valon tai sähkövirran muutos.

Muisti-ilmiö perustuu kiderakenteessa tapahtuvaan muutokseen, ei suinkaan lämpölaajenemiseen.

Yleisimpiä käytössä olevia materiaaleja ovat muistavat metallit ja muovit. Näiden materiaalien pohjalta kehitellään myös monenlaisia sovellutuksia, kuten muistikankaita ja vaahtoja.

2.1 Muistimateriaalien historia

Muistimateriaalien historia juontaa juurensa 1930-luvulle. Fyysikko A. Olander havaitsi kullan ja kadmiumin seoksen pseudoelastiset ominaisuudet vuonna 1932. Greninger ja Mooradian havaitsivat vuonna 1938, että eräät messinkiseokset saavat martensiittisen muodon jäähtyessään ja menettävät sen lämmitessään. Varsinaista termoelastista muisti-ilmiötä tutkivat myöhemmin tarkemmin Kurdjumov ja Khandros (1949) sekä Chang & Read (1951).

Kaupallisesti merkittävin muistimetalli, nikkelin ja titaanin seos kehitettiin Naval Ordnance Laboratoryssä vuosina 1961-1963. Tämä seos sai kaupanimen Nitinol, joka on siis lyhenne sanoista Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratories. Nitinol on yleisin kaupanimike nikkeliä ja titaania sisältäville seoksille. Muita kaupanimikeitä ovat mm. Titanflex ja Flexinol.



Eräiden teorioiden mukaan 1970-luvulla kohua herättänyt taikuri Uri Geller oli valmistuttanut aterimensa nitinolista. Uri Geller väänteli aterimia ”ajatuksen voimalla”.



Toinen melko yleinen muistimetalliyhdiste on sinkin ja kuparin seos. Tämän seoksen etuna on edullisuus ja etenkin kultasepän alalla se, että materiaalia on helppo seostaa itse. Materiaalin tekniset ominaisuudet eivät kuitenkaan ole verrattavissa nitinolin ominaisuuksiin. Tästä syystä materiaali ei olekaan saavuttanut nitinolin vertaista suosiota. Myös kupari- alumiini- nikkeli seoksia käytetään teollisuudessa.

Tässä työssä käsittelen pääasiassa nitinolia. Sinkki- kupari seoksista on kuitenkin paljon hyvää tietoa mm. opinnäytetyöni liitteenä olevassa Erkki Itävuoren Muistimetallit - raportissa.

Muistimateriaaleja käytettiin aluksi lähinnä ase- ja avaruusteknologiassa. 1980-luvulla Nitinolien käyttö yleistyi lääketieteessä. Nitinolista valmistetaan mm. implantteja, joilla tehdään pallolaajennuksia nauloja, joilla katkenneet luut saadaan uudelleen kiinnittymään sekä hammasrautojen kaarituksia. Näiden toimintaperiaate perustuu ruumiinlämmössä tapahtuvaan muisti-ilmiöön.

Yleisempään käyttöön muistimateriaalit tulivat vasta 1990-luvulla, jolloin etenkin nitinolia ryhdyttiin käyttämään mm. silmälaseissa ja push up-rintaliivien kaarituksissa. Kaarituen vääntyessä sen saa palautumaan alkuperäiseen muotoonsa pesemällä liivit pesuohjeen mukaisessa lämpötilassa. Kasvihuoneiden lämmönsäätely tapahtuu usein nitinolilla toimivien luukkujen avulla. Myös lämpötilaan reagoivat katkaisimet ja venttiilit, putkiliittimet, erilaiset kiinnittimet, tiiviit lukitukset sekä lämpötilaohjautuvasti avautuvat venttiilit ja kannet yleistivät 1990-luvulla.

Magneettisesti ohjattavat muistimetallit ovat uusin tunnettu materiaalityyppi muistimetallien joukossa. Vakio­lämpötilassa tapahtuva magneettisesti ohjattava muisti-ilmiö (MSM) keksittiin suomalais-amerikkalaisessa yhteistyössä 1990-luvulla



Nitinolia ei käytetä pelkästään sen muistiominaisuuden tähden, vaan lisäksi se on erittäin vetolujaa, kylmänä helposti muokattavaa ja erinomaisen korroosiokestävä. 2000-luvulla muistimateriaalit ovat yleistyneet monenlaisissa harrastuksissa. Perhokalastajien perukkeissa ja seinäkiipeilijöiden kiinnittimissä käytetään nitinolia lähinnä sen sitkeysominaisuuksien vuoksi.

Myös muistimuovit ovat vallanneet monia aloja. Muovien muutosominaisuudet voivat olla huomattavasti suurempia kuin metalliseosten. Muovit voivat muistaa useampia muotoja ja niitä on helppo soveltaa esimerkiksi tekstiiliteollisuudessa. Englannissa D3O-lab niminen yritys valmistaa laskettelijoille aivan tavallisen näköisiä villapipoja, joiden vuori on pehmeää kumia. Kumi on käsitelty d3o- nimisellä geelillä, joka on erittäin joustavaa, mutta kovettuu välittömästi iskun voimasta, jolloin pipo toimii siis kypäränä. Yritys tuottaa myös muita suojuksia pääasiassa erilaisiin harrastuksiin, mutta myös sotilas käyttöön.



D3O-labin tuotteita

2.2 Nykyajan sovellutukset

Muistimateriaalien tärkeimmät käyttökohteet ovat edelleen lääketieteessä ja aseteollisuudessa. Muistimateriaaleja tutkitaan ja kehitetään kuitenkin jatkuvasti monella alalla. Elektroniikan kehittyminen ja pieneneminen sekä langaton tiedonsiirto vauhdittavat kehitystä ja tuovat jatkuvasti uusia käyttökohteita.

Etenkin uusilta magneettikentän muutoksiin perustuville muistimetalleilta- ja metallivaahdoilta odotetaan paljon mm. energian tuotannossa. Muutaman sentin vahvuinen msm-tanko riittää jopa sadankilon massan nostamiseen. Nämä metallit ovat rakenteeltaan nikkeli-mangaani-galliumseoksia.

Tampereen teknillinen yliopisto kehittää tälläkin hetkellä älyvaatteita. Tuotteissa yhdistyvät elektroniikka sekä materiaalit, joiden ominaisuudet muuttuvat ympäristön muutoksien mukaan.

Vaatteet muuttavat rakennettaan esim. lämpötilan, kosteuden tai mikroprosessorin antaman käskyn mukaan. Mikroprosessorin antama käsky on yleensä sähköinen ärsyke. Tällaiset sovellutukset mahdollistuvat ja yleistyvät nimenomaan langattoman tiedonsiirron ansiosta.

(<http://www.tek.fi/tek-lehti/TEK404/404s14-18.pdf>)



Italialaisen Grado Zero Spaceyhtiön paita, jonka hihat kääriytyvät lämpötilan noustessa. Hihoissa on käytetty nitinol-lankaa.

Ehkä tunnetuin älyvaatteisiin panostava yritys on Adidas, joka on tuonut markkinoille älykkään lenkkikengän. Jalkineen kantapäässä oleva tunnistin mittaa puristuksen voimaa ja arvioi pohjalle sopivan kovuuden. Mikroprosessori säätelee kengän pohjan kovuutta pohjan ollessa ilmassa. Kengän kanta ei välttämättä sisällä muistimateriaalia, mutta se on erinomainen esimerkki toimivasta älyvaatteesta. (Marko Mannila, IT-viikko. 3.4.2005)

Matkapuhelinteollisuudessa on suunniteltu muistimateriaali ruuvien käyttöä. Ruuvien kierteet poistuvat tietyssä lämpötilassa. Näin ollen matkapuhelimen purkaminen olisi helppoa, tai mahdollisesti puhelin purkautuisi jopa itseksensä. Näin osien kierrättäminen helpottuisi huomattavasti.

Raskaassa teollisuudessa muistimateriaaleja yritetään kehittää energiantuotantoon. Nitinolilla voidaan saada erittäin suuria voimia aikaiseksi. Jopa rakennuksia on purettu asentamalla kantaviin rakenteisiin nitinol-kiiloja, jotka lämmön tai sähköön vaikutuksesta laajenevat ja rikkovat rakenteen. Myös monenlaisia nostokoneita on tehty nimenomaan samalla periaatteella.



Adidaksen "älykäs" lenkkari

3. Nitinol

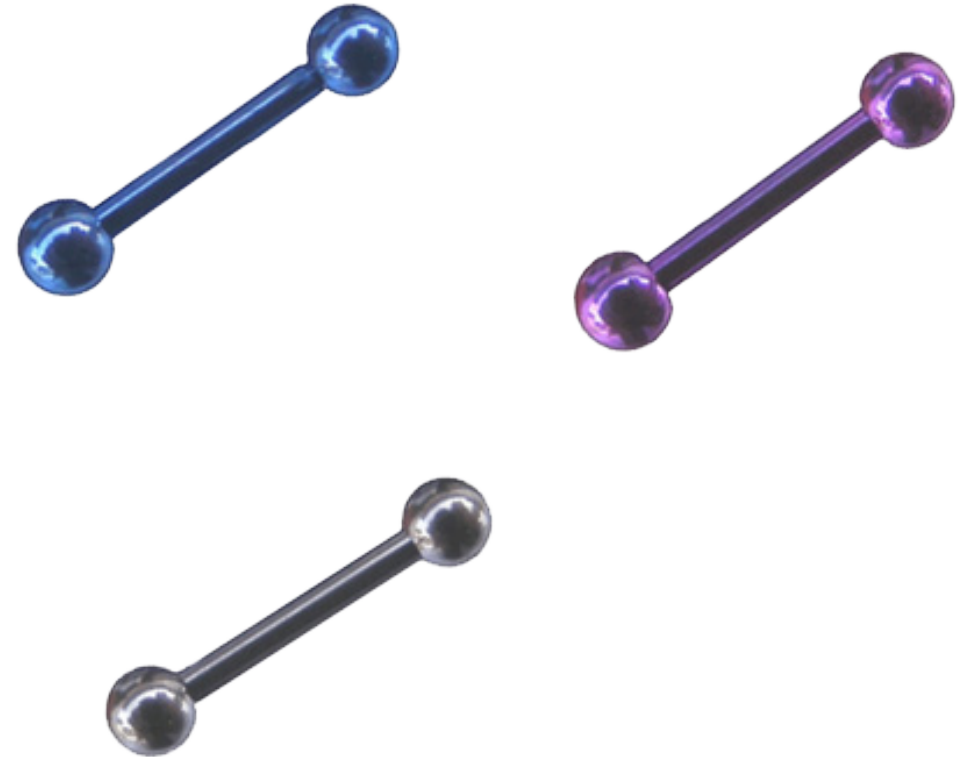
Legendan mukaan nitinolin muisti-ilmiö huomattiin osittain vahingossa. Tutkijat yrittivät kehittää epämagneettista, kovaa ja korroosionkestävää materiaalia lähinnä käsiaseita varten. Erään kokouksen aikana laboratoriossa esiteltiin kappaletta, jota oli väännetty alkuperäisestä poikkeavaan muotoon useita kertoja. Muuan paikalla olleista teknisistä johtajista, David S. Muzzey kokeili, mitä tapahtuu jos hän kuumentaa kappaletta pitämällä piippua sen alla. Kaikkien hämmästykseksi se palautui alkuperäiseen muotoonsa.

Nitinol on siis nikkelin ja titaaniin seos. Seosten suhde on noin puolet kumpaakin. Suhdetta muuttamalla voidaan vaikuttaa muutosvyöhykkeen lämpötilaeroihin. Nikkelin lisääminen pienentää muutoslämpötilojen eroja. Myös raudan lisäämisellä voidaan pienentää muutosvyöhykettä. Kuparilla on päinvastainen vaikutus kuin raudalla.

3.1 Ominaisuudet

Nitinolin ominaisuudet riippuvat aina seos suhteesta. Yleisesti voi sanoa, että nitinol on epämagneettista, erittäin sitkeää ja korroosiokestävää. Kylmänä nitinol on superelastista. Muistimuutos saadaan aikaiseksi joko lämmöllä tai sähköllä. Muistimuutoksella voidaan saada aikaan suuriakin voimia, jopa 800 MPa. Kappaleen muodonmuutos saattaa olla peräti 8 %. Muistimuutos voi olla yksi- tai kaksisuuntainen. Yksisuuntainen muutos voi olla huomattavasti kaksisuuntaista suurempi. (Itävuori, Muistimetallit)

Muistimetalleja käytetään paljon myös niiden pseudoelastisten eli vale-elastisten ominaisuuksien vuoksi. Vaikka kappale vääntyisi kuinka, jännityksen poistuttua se palaa alkuperäiseen muotoonsa.



Nitinolin ulkoisista ominaisuuksista on hyvä mainita titaani seoksille ominaiset päästöväriominaisuudet. Värjäys saattaa silti sekoittaa mahdollista muotomuistia. Nitinol on hieman raskaampaa, mutta muuten melko saman oloista metallia kuin puhdas titaani.

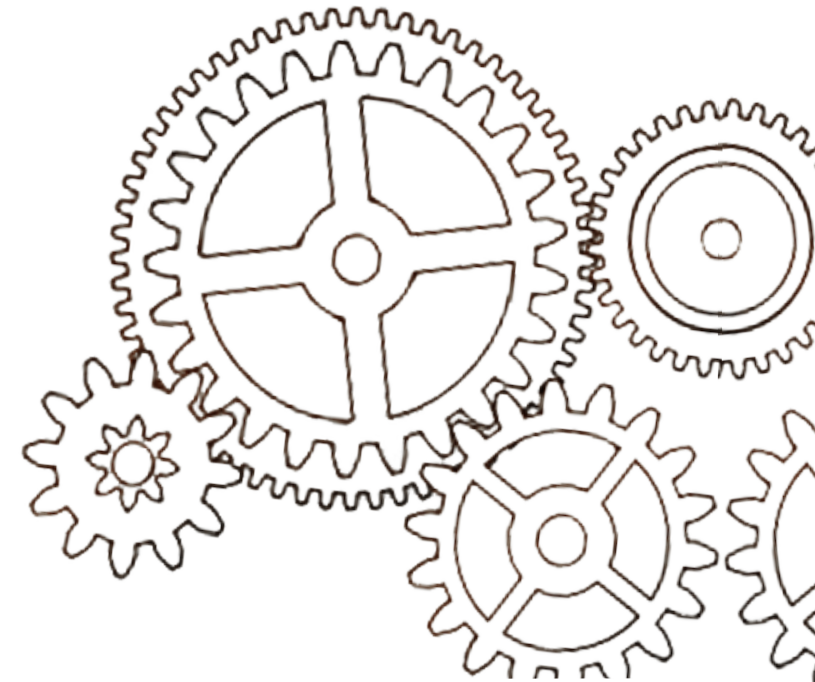
Nitinolin sisältämä titaani muodostaa kappaleen pinnalle oksidikerroksen, jonka vuoksi nitinol ei vapauta nikkeliä. Vaikka pinta vaurioituisi, uusi kerros muodostuu pintaan niin nopeasti, ettei nikkeliä ehdi vapautua. Tästä johtuen Nitinolia voidaan käyttää myös kirurgiassa. Oksidikerros kestää hyvin myös mietoja happoja, mikä mahdollistaa nitinolin käytön myös hammasraudoissa. Korujen nikkelpitoisuuksia käsittelevä lainsäädäntö puuttuu nykyisin ainoastaan vapautuvan nikkelin määrään. Näin ollen nitinolin käytölle koruissa ei löydy laillisia esteitä.

3.2 Työstäminen

Käytännössä Nitinolin hiominen ja lastuaminen vastaa puhtaan titaanin työstämistä. Materiaalien suurin ero on siinä, että jo huoneenlämmössä Nitinol on kovaa ja vaikeasti taottavaa, mutta kylmässä materiaali on kumimaisen pehmeää.

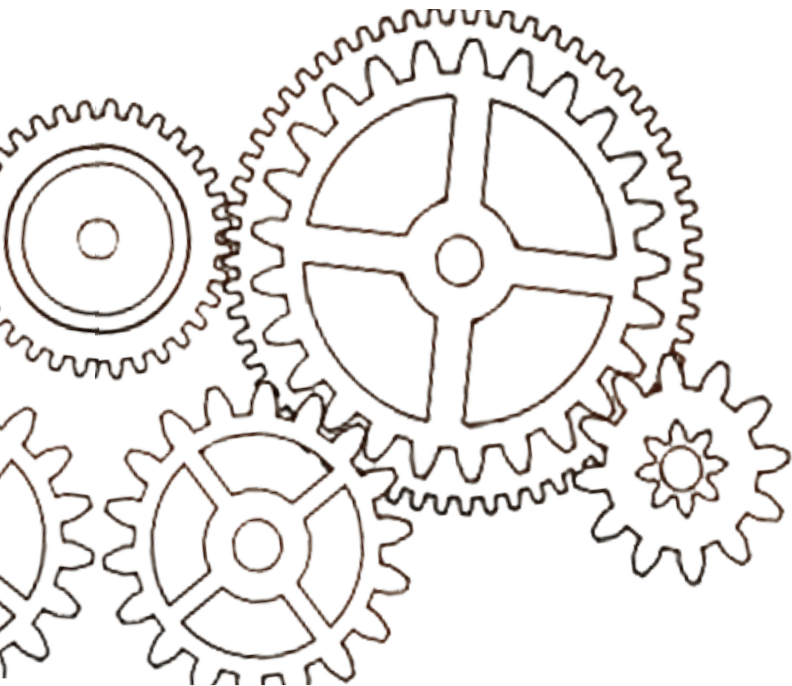
Nitinolin kovuuden vuoksi työkalut vaurioituvatkin erittäin helposti. Materiaalin valsaaminen on mahdollista, mutta telat saattavat vaurioitua ellei työtä tehdä erittäin varovasti ja rauhallisesti. Koneistus kuluttaa työkaluja nopeasti. Runsas jäähdytysnesteiden käyttö ja hitaat kierrosnopeudet ovat erittäin suotavia.

Nitinolia valetaan kuten titaania, aina hapettomassa tilassa. Yleensä valuissa käytetään keraamisia muotteja, koska Nitinolin sulamispiste on erittäin korkea. Muotoonsa valetulla nitinol - kappaleella voi muodostua ongelmaksi lämmön epätasainen leviäminen kappaleessa. Kappaleen ydin voi olla vielä kylmä, kun sitä ympäröivä muoto on jo saavuttanut muutoslämpötilansa. Näin siis ydintä ympäröivä muoto saattaa toimia paikoin ei-toivotusti lämmöneristeenä. Tästä syystä nitinolia käytetään yleensä lankana. Lanka on tasaisen paksua ja lämpö leviää siinä tasaisemmin kuin valetuissa kappaleissa. Jos muutos aiheutetaan sähköllä, tätä ongelmaa ei ole. Sähkö kulkee kappaleen läpi nopeasti ja näin ollen myös muutos on erittäin nopea.



Nitinolia on mahdollista hitsata samalla tavalla kuin titaania. Titaanin tavoin myös nitinol reagoi typen kanssa, joten se on hitsattava typettömässä suojakaasussa. Mahdollisia menetelmiä ovat ainakin tig-, puk-, laser- ja plasma-hitsausmenetelmät. Hyvin hitsattu sauma menettää noin 30 prosenttia lujuudestaan. Nitinolin juottaminen on erittäin vaikeaa, koska pinnalle syntyy lämmitettäessä kova oksidikerros.

Monet rautaa ja kuparia sisältävät seokset saattavat menettää muistiominaisuutensa kuumentuessaan yli 400 C°:een. Tätä ilmiötä kutsutaan amnesiaksi. Tämä ilmiö on syytä muistaa myös silloin kun kappaletta on tarkoitus hitsata, etenkin jos sauma tulee kovin lähelle muistavaa kohtaa. Tällaisissa tilanteissa suosittelen käyttämään valokaarijuotinta tai muuta konetta, joka ei lämmitä itse kappaletta. Myös kappaleen suojaaminen voi monessa tapauksessa auttaa.



3.3 Nitinolin mahdollisuudet korumuotoilussa

Tekemistäni taustatutkimuksista huolimatta en ole saanut selville, onko muistimateriaaleja koskaan hyödynnetty korualalla. Internetistä löytyy muutamia sormuksia joissa nitinolia on käytetty päästövärien vuoksi, mutta muistiominaisuutta ei näissä koruissa ole käytetty. Tästä voisi päätellä että muistimateriaalit ovat tällä alalla vähintään harvinaisia.

Nitinolia voisi käyttää monenlaisissa teknisissä sovelluksissa, kivien istutuksista leikki-mielisempiin ideoihin. Koru voisi reagoida vaikka sykemittarin kautta, jolloin koru toimisi sydämen sykkeen tahdissa. Tämän tyyppistä ajatusta onkin jo kokeiltu vaatesuunnittelus-sa. Ääni-, hämärä- tai liiketunnistimen avulla voisi myös saada vaikka mitä hauskaa aikai-seksi.

Nitinolista tehdystä istukasta kiveä voisi vaihtaa helposti vaikka hiustenkuivaajaa apuna käyttäen. Näin kiven voisi vaihtaa aina puvun värin tai muun tarpeen mukaan. Tämän kaltaiset ratkaisut saattaisivat helpottaa myös kultasepän korjaustöitä. Sormusten koon-muutokset olisivat myös mahdollisia vaikka kotikonstein.



Concordia yliopistossa, Montrealissa tehtyjä vaatteita Kukkia & Vilkas projektista. Toisen mekon kukat aukeavat ja toisen helma nousee sähkön avulla. Mekanismi on valmistettu nitinolista.





Suurin ongelma nitinolin käytössä on sen vaikea saatavuus pieninä määrinä. Suuremmissa erissä se ei ole edes kovin kallista, etenkin jos hintaa verrataan moniin muihin koruvalalla käytettyihin materiaaleihin. Levyjä ja lankoja on saatavilla nettikaupoista, jos vain jaksaa etsiä. Suurempina erinä hankittaessa nitinolille löytyy jopa maahantuontiyritys.

Toinen ongelma on pakkanen. Nitinol muuttuu kylmässä lähes kumimaisen pehmeäksi, jolloin esimerkiksi koruun nitinolin avulla istutetut kivet saattavat irrota helposti ulkoisen rasituksen voimasta. Paksumpi materiaali voisi kestää kohtalaista rasitusta, mutta koruissa käytetyt ohuet rakenteet eivät. Todennäköisesti myös autoteollisuus painii tämän ongelman kanssa.

Ongelmaksi voi nousta myös ihmisten ennakoasenteet uutta materiaalia kohtaan. Muistimateriaalit ovat suurelle yleisölle tuntemattomia ja esimerkiksi nitinol sisältää runsaasti nikkeliä, jota pidetään terveydelle haitallisena. Koruliikkeiden myyjä olisi syytä valistaa jos nitinol koruja aikoo tuoda yleisemmin myyntiin.

Uskon, että paras tapa tuoda muistimetallitekniikka kuluttajien tietoisuuteen on ratkaisu, jossa varsinainen koru on jotain perinteistä jalometallia ja vain mekanismi on muistimateriaalia.



Triton Jewellryn sormus jota kiertää nitinol vaijeri. Vaijerilla ei kuitenkaan ole minäänlaista mekaanista merkitystä.

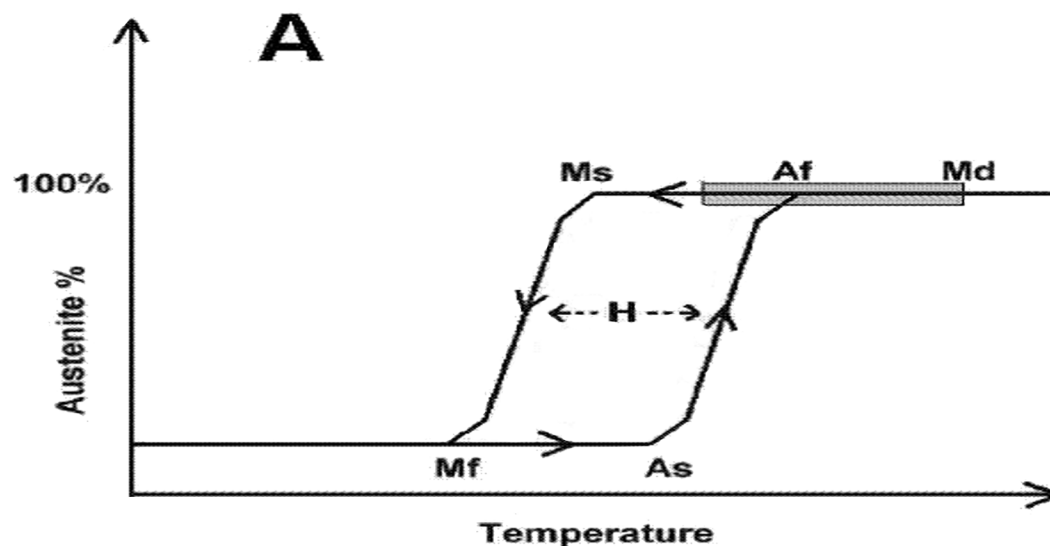
4. Materiaalikoikeilut nitinolilla

Tarvitsin tähän työhön nitinolia, jonka muutos tapahtuisi mahdollisimman pienellä muutosvyöhykkeellä. Lääketieteen käytössä olevat tuotteet vastaavat tätä tarkoitusta. Lääketieteessä nitinolikomponentteja käsitellään yleensä huoneenlämmössä ja tarvittava muutos tapahtuu ruumiinlämmön vaikutuksesta. Nämä olivat juuri minun tarkoitukseeni sopivia ominaisuuksia. Muutos on mahdollista saada tapahtumaan jopa 15-25°C:n lämpötila eroilla.

Sain hankittua kahta erilaista ja eri tarkoitukseen tehtyä seosta. Ensimmäinen materiaali oli ortopedien käyttämä ”älyklipsi”. Toinen materiaali oli hammaslääkäreiden käyttämä hammasrautojen kaarilanka.

4.1 Miten metalli muistaa?

Muisti-ilmiö johtuu kiderakenteen muutoksesta. Korkeammassa lämpötilassa kiderakenne on austeniittisessa muodossa. Lämpötilan laskiessa rakenne muuttuu martensiittiseksi. Kiderakenne muuttuu pintakeskisestä kuutiollisesta tilakeskiseksi kuutiolliseksi



Muutos alkaa lämpötilassa Ms (martensite start) ja loppuu tilassa Af. (austenite finish). Martensiittia voi muodostua myös austeniittisessä tilassa, ulkopuolisen rasituksen voimasta. Md tarkoittaa korkeinta lämpötilaa jossa kiderakenne voi muuttua martensiittiseksi ulkoisen jännityksen aiheuttamana. Pelkästään nikkeliä ja titaania sisältävät seokset vaativat yleensä ns. vanhennuskuumennuksen.

Tämä kuumennus suoritetaan noin 400-500 C:ssa. Vanhennuskuumennus nolaa materiaalin muistin.

(Itävuori 1990.) (<http://herkules oulu.fi/isbn9514252217/html/x317.html>)

4.2 ”Älyklipsi”

Ensimmäinen saamani Nitinol-kappale oli kirurgien käyttämä ”älyklipsi”. Sain materiaalin kirurgeille ja ortopeideille työkaluja ja komponentteja myyvistä tukusta. Komponentti asennetaan luiden murtumakohtaan poraamalla murtuman molemmille puolille reiät. Ruumiin lämmön vaikutuksesta U:n muotoinen naula kiristää luut yhteen. Komponentin päiväys oli vanhentunut, päiväys tosin koski steriiliä pakkausta ei klipsiä. Yritys oli valmis myymään vastaavia päiväysvanhoja klipsejä 50 euron kappalehintaan, ovh:n ollessa 200 euroa kappaleelta siis huomattavasti kultaakin kalliimpaa. Sain kuitenkin yhden näytekappaleen ilmaiseksi.

Kappaleen nikkeliipitoisuus oli pakkauksen mukaan 55 % (± 1 %) ja titaanin osuus puolestaan 45 %. Koululla tehdyn röntgenkokeen mukaan kappaleet sisälsivät kuitenkin 0,5 % rautaa, 11,8 % kuparia, 55 % nikkeliä ja vain 37,5 % titaania. Kokeen tulokset eivät tosin vaikuttaneet materiaalivehitykseni, sillä sain ne vasta myöhemmin päädyttyäni muista syistä toiseen materiaaliin.

Muutosalue oli pakkaustiedon perusteella sopiva noin 20-25 °C. Kappale oli noin 3 cm:n pituinen ja 1,5 mm:n paksuinen ”määlynauha”. Kappaleen valmiiksi ohjelmoitu muutostoiminto oli yksisuuntainen. Kappaletta voitiin muotoilla ja työstää huoneenlämmössä, mutta se palautui ruumiinlämmössä opetettuun muotoonsa.

Ensimmäisen yllätyksen minulle aiheutti materiaalin hauraus. Kaikessa keräämässäni materiaalissa oli puhuttu materiaalin superelastisuudesta ja sitkeydestä. Tämä materiaali kuitenkin katkesi taitekohdastaan välittömästi, kun väänsin sitä pihdeillä.

Koska materiaalia oli vähän ja se oli suhteellisen paksua 1,5 mm, kokeilin jotällä kappaleella aineen työstettävyyttä. Vasarointi tuntui täysin turhalta, mutta valssaus onnistui yllättävän helposti. Valssaus tulee kuitenkin tehdä erittäin hitaasti ja varovasti, jotta valssin telat eivät vaurioituisi.



Kokeilin materiaalin opetusta vedessä niin sanotulla SME-syklauksella. Tässä menetelmässä kappale jäädytetään Mf-lämpötilan alapuolelle ja jossa muokkaus tapahtuu. Muoto palautetaan lämmittämällä kappale Af-lämpötilan yläpuolelle. Tätä toistetaan kymmeniä kertoja.

Täytin kaksi ämpäriä vedellä, toisen lämpötila oli hiukan alle 30 °C ja toisen lähes nolla-asteista. Lisäsin toiseen ämpäriin lämmintä vettä, mikäli lämpötila meinasi laskea ja vastaavasti toiseen ämpäriin lunta, jos lämpötila meinasi nousta. Ämpäreihin olin kiinnittänyt pienet lämpömittarit, joiden avulla lämpötilojen seuraminen onnistui helposti.

Aloitin kokeen suorittamalla koepalalle vanhennuskuumennuksen. Olin ymmärtänyt, että tarvittava lämpötila ei ole kovin tarkka, kunhan raja ylittyy ja kiderakenne palautuu alkuperäiseen järjestykseensä.

Kaikki seokset eivät tätä kuitenkaan kestä, vaan kadottavat muistiominaisuutensa. Tämä johtuu nimenomaan seoksessa olevista muista aineista kuten raudasta ja kuparista. Tätä ilmiötä kutsutaan ”amnesiaksi”.

”Älyklipsin” kanssa mikään ei oikein tuntunut onnistuvan. Vanhennuskuumennus kovetti kappaleen. Materiaali olikin yllättävän haurasta ja hupeni käsiin. Myöhemmin tehty röntgenanalyysi selvittikin, että materiaali sisälsi runsaasti kuparia. Tämä aiheutti materiaalille amnesiaa ja haurautta.

4.3 Kaarilanka

Toinen kokeilemani materiaali oli hammaslääkärien käyttämä hammasrautojen kaarilanka. Langat hankin hammasteknikoiden työkaluja ja tarvikkeita myyvältä tukusta. Lankoja oli saatavilla useita erilaisia ja useita eri vahvuuksia. Myyjät eivät tienneet materiaalin ominaisuuksista oikeastaan mitään, joten ainoat päätelmät seoksista saattoi tehdä nettisivuilla olevan katalogin lujuuustaulukoista. Kaarilangan hinta oli ”älyklipsiin” nähden huomattavasti edullisempi. Myyntipakkauksessa oli 10 kappaletta noin 15 cm pitkiä ja halkaisijaltaan 0,45 mm lankoja, tällainen pakkaus maksoi 29 € Langoilla oli jo valmiiksi kaksisuuntainen muisti-ilmiö, mutta se ei ollut riittävän suuri tarkoituksiini.

Lanka tuntui soveltuvan tarkoituksiini täydellisesti. Muutos tapahtui huoneenlämmössä juuri sopivan hitaasti. Itse asiassa muutosvauhti oli täydellinen tarkoituksiini. Väntelin lankaa satoja kertoja solmuun ja vain tuijotin sen avautumista, siinä oli jotain taianomaista.

Opetin materiaalia aluksi samalla tavalla kuin ”älyklipsiä” eli ns. SME-syklauksella. Opetus onnistui helposti, mutta muutos ei silti ollut riittävä. Toinen mahdollinen menetelmä on niin kutsuttu SIM (stress induced martensite) -syklus. Tässä menetelmässä kappaletta muokataan Ms-lämpötilan yläpuolella, jonka jälkeen jännitys vapautetaan lämmitämällä kappaletta. SIM-syklauksella voidaan saada huomattavasti suurempi muutos aikaiseksi kuin SME-syklauksella.

Hammasteknikoiden käyttämiä kaarilankoja.



Otin siis langan ja väänsin pyöröpihdeillä niin paljon kuin materiaali vääntyi. Materiaali palautui vain hieman jääden lähes väännettyyn pisteeseen. Tämä seos on huoneen lämmössä sopivasti Ms-lämpötilan yläpuolella. Kappale on siis austeniittinen, mutta jännitys synnyttää siinä martensiittiä. Ulkoisen jännityksen jälkeen kappale lämmitetään Af-tilan yläpuolelle ja jännitys vapautuu. Tämä prosessi toistetaan kymmeniä kertoja. Tässä materiaalissa jännityksen poistoon riitti kuuma vesi.

Muutos oli tekemäni SIM-syklauksen jälkeen huomattavasti suurempi kuin SME-syklauksen jälkeen. Nyt muutos riitti tarkoituksiini erinomaisesti. Tässä menetelmässä suosittelen jonkunlaisen jigin käyttöä, jotta materiaali taipuisi joka kerta saman verran ja mahdollisimman lähelle äärirajaansa.



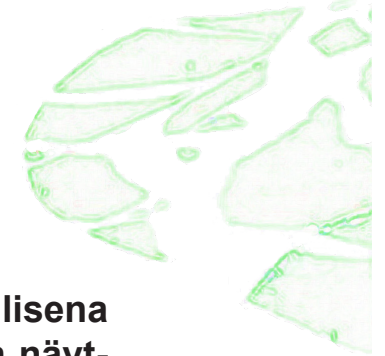
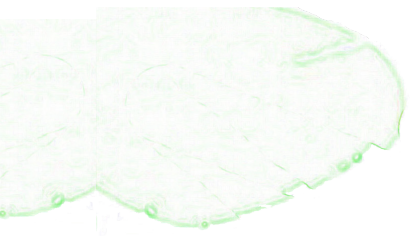
5. Korun suunnittelu

Ajatukseni ”elävästä” korusta syntyi vuosia sitten. Ylen avoimen yliopiston fysiikkaa ja kemiaa käsittelevässä opetusohjelmassa esiteltiin nitinol-langasta väännettyjä silmälaseja. Tutkija lämmitti laseja kuumailmapuhaltimella, jolloin lasit suoristuivat pitkäksi langaksi. Vuosien jälkeen löysin tämän ohjelman vanhojen VHS-kasettien joukosta ja ajatukseni heräsivät uudelleen.

Alusta asti on mielessäni pyörinyt kasviaihe. Valmiista korusta tulisi siemen tai nappu, joka puhkeaisi lämpötilan noustessa kukkaan. Moneen kertaan yritin hajottaa ajatuksiani, mutta annoin lopulta periksi juuri sen tähden, että tämä ajatus oli tuntunut oikealta niin kauan. Ajatus elävästä korusta kiehtoi minua myös symbolisesti. Tavoitteenani tässä työssä on synnyttää jotain uutta alallani, ajatuksen siemenestä kasvaisi siis kukka.

Alun perin tarkoitus oli tehdä ulkokuori kokonaan Nitinolista. Materiaalin vaikean saatavuuden, korkean hinnan ja allergiaepäselvyyksien vuoksi päädyin kuitenkin ratkaisuun, jossa vain osa korun mekaniismista on nitinolia. Näin ollen valitsin materiaaliksi hopean.

Hopea on riittävän kevyt ja ainakin minulle helpoiten käsiteltävä materiaali. En nähnyt perusteluita lisätä korun arvoa materiaalin arvolla. Tavoitteenani on tehdä koru, jollaista ei ole ehkä ennen tehty. Mielestäni siinä on jo tarpeeksi tavoitetta.



Lähdin etsimään muotoa kasvikirjoista ja Internetistä. Kansallisromanttiselle tyylilleni uskollisena etsin suomalaisia kasveja. Lumme toimii tarkoituksessani täydellisesti. Lumpeenkukka on näyttävä, eikä terälehtien muodon tarvitse muuttua muutoksessa nupusta kukkaan. Alkuperäinen ajatukseni oli, että tekisin useita kukkia jotka avautuisivat hieman eri lämpötiloissa. Suunnittelin valmistavani jonkunlaisen vartalokorun tai riipuksen.

Yksi kriteeri korun toimivuuden kannalta on, että se on jollain tavalla eristetty ihosta, jotta saadaan riittävän suuria lämpötilaeroja aikaiseksi. Vaihtoehtona voi siis olla että mekanismi eristään jollain materiaalilla ihosta tai korua käytetään sellaisessa paikassa jossa se ei joudu ihokosketukseen. Riipus ja vartalokorut ovat yleensä kylmällä ilmalla takin alla, mutta hiuskorun päälle ei hattua yleensä laiteta ja hiukset toimivat myös hyvänä lämmön eristeenä. Päätin siis lopulta tehdä hiuskorun.

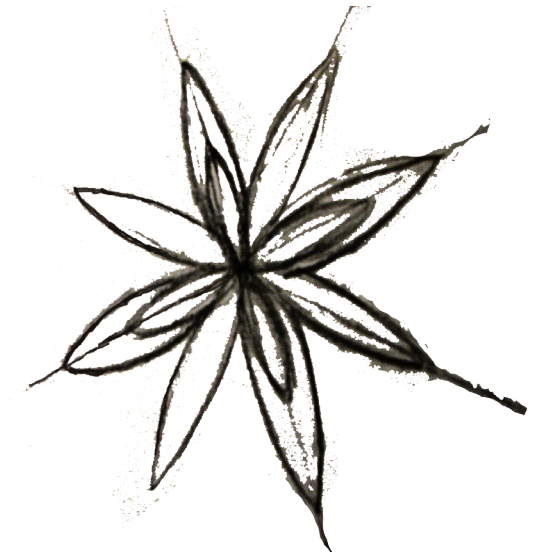
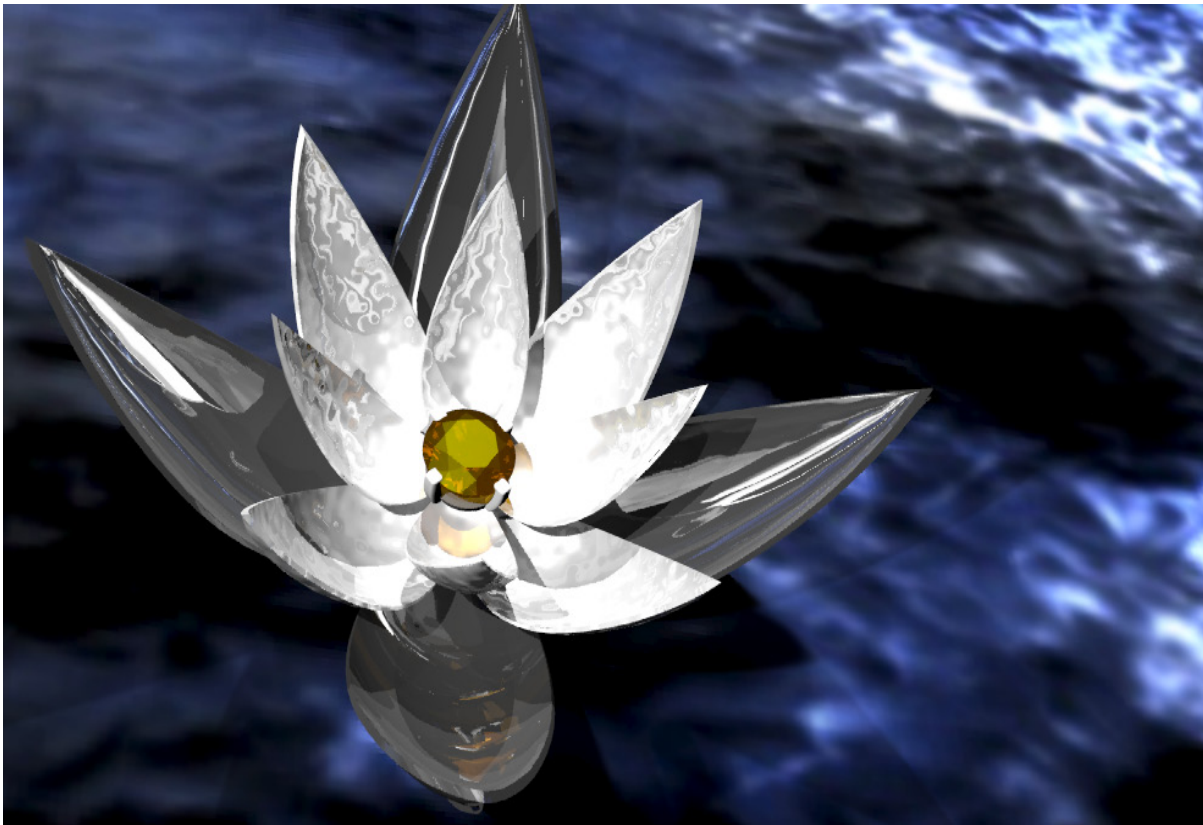
Tarkoitukseni oli tehdä laajempaakin tutkimusta hiuskoruista. Nyt siihen ei kuitenkaan ollut aikaa. Keskustelin kuitenkin aiheesta tutun kampaajan kanssa ja tutkin Internetistä hiuskorujen mekanismeja. Ehdottomaksi suosikikseni nousi erittäin yksinkertainen spiraalimainen mekanismi. Koru on helposti kiinnitettävissä ja irrotettavissa. Mekanismi on myös erittäin helppo valmistaa.

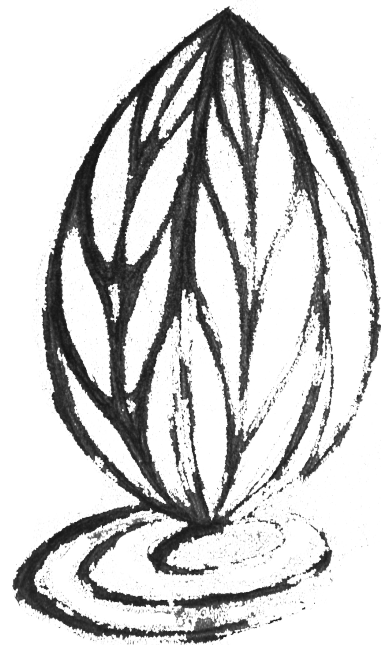
5.1 Luonnostelu

Luonnostelussa Rhinoceros 3D-ohjelma oli erinomainen apuväline. Löydetyäni mieleiseni muodon en enää juurikaan luonnostellut paperille. Rhinolla pystyin kokeilemaan mahtuvatko sisällä olevat lehdet varmasti sisälle ja pääsevätkö osat varmasti kääntymään.

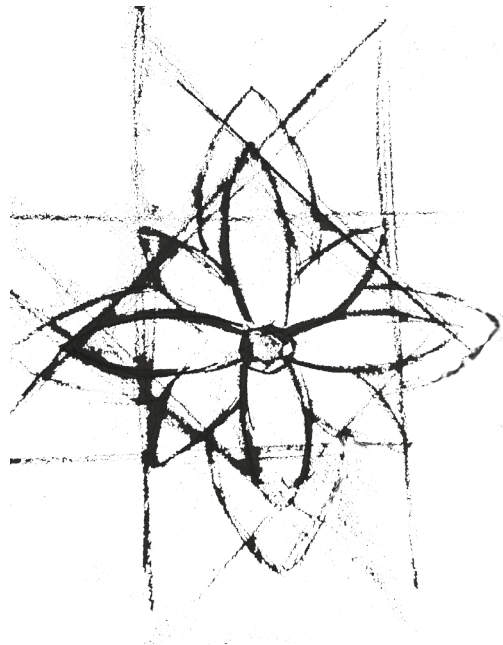
Siirryin tietokoneella mallintamiseen varsin varhain myös siksi, että mekanismin suunnittelusta tuli tärkeä osa suunnitteluprosessia. Mekanismin mittoja ja ainevahvuuksia oli tässä vaiheessa huomattavasti helpompi hahmottaa koneen avulla.

Varsinaisessa luonnosteluvaiheessa uskoin vielä tekeväni koko kuoren tai ainakin osan siitä Nitinolista. Päätettyäni, että ainoastaan mekanismi tulee Nitinolista, nupun muoto muuttui melkoisesti.





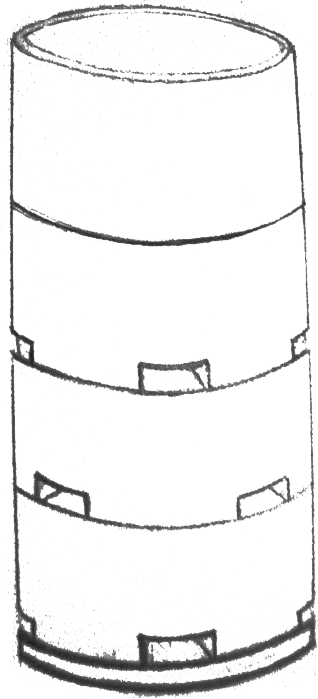
Kun en vielä ollut päättänyt tuleeko korusta riipus, vartalokoru vai jotain ihan muuta ajattelin, että koru voisi olla nupussa enemmän siemenen kaltainen. Myöhemmin ymmärsin, että nupun piti näyttää hyvältä myös silloin jos kukka ei avaudu tai sulkeudu kokonaan. Lopulliseen muotoon vaikutti myös korun käyttötarkoitus. Päätettyäni tehdä korusta hiuskorun, muuttui muoto melkoisesti. Aluksi suunnittelin siemenen päälle lehden ruoteita, mutta hylkäsin kuitenkin ajatuksen ja päätinkin lopulta muuttaa itse lehden muotoa.



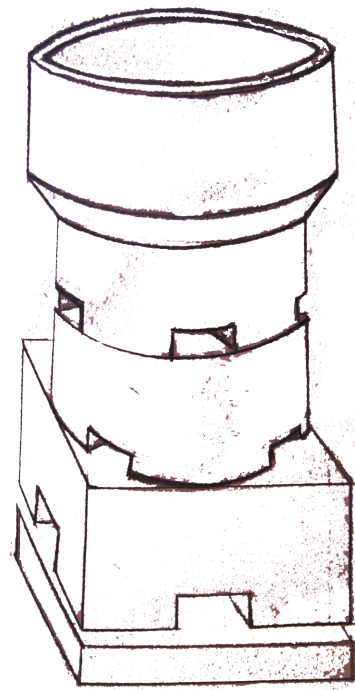
5.2 Mekanismin suunnittelu

Mekanismin suunnittelussa ratkaisevaa oli oikean materiaalin löytäminen. Lanka on helpoiten muokattava ja toimintavarmin ratkaisu. Koska nitinolin käsittely on huomattavasti haastavampaa kuin esimerkiksi hopean, tulee nitinol-osien olla mahdollisimman yksinkertaisia. Tavoite oli saada mekanismi toimimaan kaksisuuntaisesti, eli kylmässä kukan oli tarkoitus sulkeutua ja lämpimässä avautua.





Piirsin mekanismin luonnoksia Rhinolla, joka vaikutti jälleen erinomaiselta apuvälineeltä. Myöhemmin ilmeni ongelmia, joista on syytä ottaa oppia. Kun todellisuudessa erittäin pientä kappaletta katsoo suureta näytöltä, tulee mittasuhteille sokeaksi. Hyvänä esimerkkinä voisin mainita, että yhdeksän 0,4 mm reiän poraaminen halkaisijaltaan kolmen millimetrin kiekkoon on Rhinolla erittäin helppoa. Lopullinen mekanismin suunnittelu tapahtui pitkälti kokeilujen ja erehdysten kautta.



6. Korun valmistus

Halusin korusta visuaalisesti mahdollisimman herkän. Halusin myös varmistua, ettei mekanismi väsy. Näiden ajatusten pohjalta päädyin tekemään terälehdet melko ohuesta noin 0,6 mm hopealevystä.



-Leikkasin lehdille sabluunat paksusta paperista, jolla piirsin kuvat levyille. Sahasin lehdet levystä ja viilasin keskenään samankokoisiksi.



-Löin lehtien muodon pallopunsselilla tukin päällä. Toistin saman kaikille lehdille. Lehtiä oli kolmea eri kokoa, neljä kappaletta kutakin kokoa.



-Mekanismia varten juotin lehtiin kiinnikkeet, jotka leikkasin ja vään- sin noin 0,3 mm levystä. Alimpiin lehtiin tuli kaksi kiinnityslenkkiä lehden päälle ja sisempiin lehtiin yhden lehden alle. Alimpiin laitoin kaksi lenkkiä, koska ne tarvitsivat eniten voimaa. Halusin piilottaa mekanismin ja siksi laitoin lenkit uloimmissa lehdissä niiden sisäpuo- lelle. Vaikka lehtien kiinnitys tuntui heiveröisiltä ja mekanismi saat- taisi helposti jopa vääntyä, on sen korjaus helppoa pseudoelastisten ominaisuuksien ansiosta. Korjaus tapahtuisi lämmittämällä kappa- letta esimerkiksi kuumassa vedessä, jolloin jännitys poistuisi ja koru palaisi alkuperäiseen muotoonsa.

Mekanismin suunnitteluun tuotti haastetta myös se seikka, että nitinol ei taivu kovin pienelle mutkalle. Vaikka kylmänä materiaali taipuu helposti, mutkat oikenevat välittömästi joutuessaan kontaktiin läm- pimän ihon kanssa. Jokainen sormen kosketus kovettaa ja oikaisee materiaalia.

Toteutin mekanismin rungon hopeasta. Aluksi kokeilin Rhinolla suunnittelemani mallia. Tein reiät poraamisen sijasta sahaamalla ja juottamalla vanteen koko rakenteen ympärille. Tämä mekanismi ei kuitenkaan kestänyt, vaan kova lanka leikkasi itsensä ohuesta ho- peavanteesta läpi.

Lupaavista materiaalikokeiluista huolimatta en saanut myöskään opetettua nitinol-langalle riittävän suurta liikerataa. Oli siis vaihdetta- va suunnitelmaa.

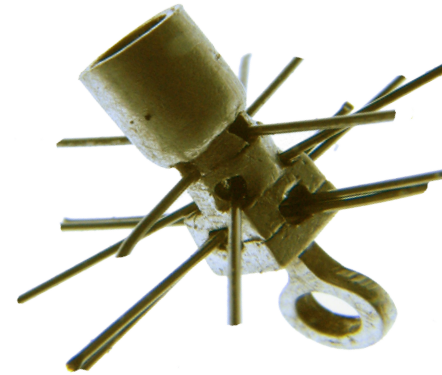


Pehmeä hopea ei kestänyt kovaa nitinol-lankaa.

Seuraavan version suunnittelin samoille lehdille. Rakensin mekanismin viidestä kerroksesta.

- sahasin kappaleisiin urat lankoja varten ja juotin osat päällekkäin.

Tämäkään mekanismi ei lopulta toiminut riittävän hyvin ja hylkäsin tämänkin vaihtoehdon.

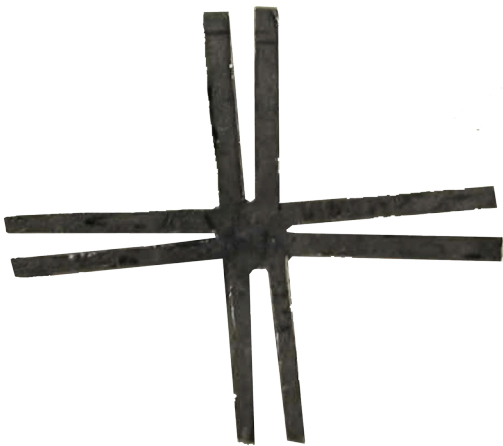


Ainoa mahdollisuus saada mekanismi toimimaan oli keksiä mekanismi, jolla olisi mahdollisimman hyvä hyötysuhde. Miten saisin pienellä muutoksella mahdollisimman suuren liikkeen aikaiseksi? Tässä vaiheessa keksin käyttää vain yhtä Nitinolista väännettyä lenkkiä. Lenkki puristaisi kylmässä lehdet nupulle ja vapauttaisi ne lämpimässä.

Kolmannessa mallissa kokeilin hiukan monimutkaisempaa saranamekanismia. Lehdet olivat edelleen samoja kuin aikaisemmissakin kokeiluissa.

- Sahasin hopealevystä ristin.

- Taivutin ristin sakarat lenkeiksi.



- Lehtiin juotin langat joiden molemmissa päissä oli lenkit. Lenkin toinen pää oli saranaa ja toinen pää nitinol lenkkiä varten. Kylmässä lenkki kutistuu ja lämpimässä laajenee, jolloin siis terälehdet aukeavat. Tämä malli vaikutti jo paljon paremmalta, mutten vieläkään ollut tyytyväinen etenkin muotoiluun.

Tässä vaiheessa ymmärsin, etten välttämättä saisi nuppua täysin sulkeutumaan. Korun pitäisi näyttää hyvältä vaikka se jäisi raolleen. Päätin muuttaa lehtien muotoa ja vähensin niiden määrän yhdeksään.

- Lehtiä varten tein jälleen paperi sabluunat. Leikkasin lehdet 0,6 mm paksuisesta levystä.
- Taivutin lehden reunoja lattapihdeillä hiukan koholleen.
- Löin lehdet kupille pallopunselilla tukkia vasten.
- Siistin lehdet kumilaikoilla.
- Sahasin ja viilasin kuuden suurimman lehden päähän loven. Loven päähän juotin poikittain 0.8 mm hopealangan
- Sahasin kolme Y:n muotoista kappaletta. Nämä kappaleet juotin suurimpien ja pienimpien lehtien väliin.

-Mekanismin valmistin sahaamalla 1 mm ja 1,3 mm:paksuisesta levystä kaksi kolmisakaraista kappaletta, jotka juotin päällekkäin.



-Taivutin sakaroita pyöröpihdeillä ja asettelin lehdet paikoilleen. Puristin sakarat lehtiin kiinni pihdeillä.



- Tein perinteisen kynsi-istukan 3 mm hopeaputkesta. Juotin istukan pohjaan 0,8 mm langan, jonka juotin mekanismin päälle.



-Väänsin 1,5 mm hopealangasta spiraalin jonka juotin mekanismin pohjaan.



-Kiillotin osat kumi ja huopalaikoilla. Lopuksi mattasin lehtien ulkopinnat viilankärjellä raapimalla.



-Kruunuistukkaan istutin 6 mm synteettisen violetin spinellin.



-Lopuksi pujotin nitinolista tehdyn lenkin, sille tarkoitettuihin reikiin.



Koru on nyt valmis ja avautuu kauniisti, mutta kylmänä nitinol ei jaksaa vääntää terälehtiä kiinni. Käytännössä muisti-ilmio on nyt yksisuuntainen vaikka itse lenkki osaakin palautua.

Tämän ongelman voisi ehkä ratkaista pujottamalla mekanismiin nitinol-lenkin kanssa jousi- tai kumilenkin. Tämä lenkki puristaisi mekanismia jatkuvasti kiinni. Jousen pitäisi olla riittävän heikko, että nitinol-lenkki jaksaisi avata kukan.



7. Markkinointi

Uuden materiaalin tuomisessa korumarkkinoille saattaa ilmaantua monenlaisia haasteita. Vaarana saattaa olla, että koru otetaan vastaan vain hauskana leluna. Tästä syystä uskon, että korussa on hyvä käyttää jotain perinteistä jalometallia, joka tuo korulle ainakin symbolista arvoa. Vaikka hopea on melko edullinen materiaali, nauttii se ainakin nuorison keskuudessa melkoista arvostusta. Toisaalta etenkin nuorten keskuudessa materiaalien arvostus on vähentynyt. Koru ei ole missään nimessä nuorelle sijoitus, vaan koriste jonka tarkoitus kertoo kantajan mausta, tyylitajusta tai ajatusmaailmasta. Tätä todistavat halpavaateketjujen notkuvat koruhyllyt, sekä muotilehtien tyylikonsulttien palstat. Toisaalta tällä tavalla nuoret oppivat käyttämään näyttäviä koruja.

Markkinointi saattaisi olla ehkä helpompaa, jos kohderyhmänä olisivat miehet. Miehet ovat yleensä kiinnostuneempia uusista teknisistä ratkaisuista. Miehet myös ostavat koruja naisille. Tämä voisikin olla käyttökelpoinen lähestymismalli markkinoinnissa.

Tulevaisuudessa tulen todennäköisesti valmistamaan myös suuremmissa erissä koruja, joissa käytän muistimateriaaleja. On kuitenkin tärkeää tutkia materiaalia ensin käytössä. Tähän astisten kokemusten perusteella en uskalla vielä myydä korua, jossa käytän kyseistä materiaalia.

Aluksi tarkoitukseni on valmistaa uniikki korusarja, jonka lanseeraan mahdollisesti ensi keväänä Tampereella pidettävillä design-alan messuilla. Asiasta on alustavasti keskusteltu erään messujärjestäjän kanssa, jolta ehdotus alun perin tuli. Toinen hyvä vaihtoehto lanseeraamiselle olisi häämessut.

Tulevaisuudessa olen ajatellut vuokrata näitä koruja kampaamoiden ja pukuvuokraamoiden kautta, jolloin pääasiallinen kohderyhmä olisi morsiamet. Tässä konseptissa markkinointikulut jäävät minimaalisiksi eikä varsinaista liiketilaa välttämättä tarvita. Myös palvelun laajentaminen useampiin kaupunkeihin on helppoa. Markkinointi kohdistuisi suoraan haluttuun kohderyhmään. On hyvä muistaa myös, että asiakas on korua käyttäessään yleensä juhlissa keskipisteenä. Näin koru saa lisää ilmaista mainosta.

Kysynnän mahdollisesti kasvaessa voin kasvattaa myös mallistoa pikkuhiljaa. Suuria varastoja ei tarvita, kun samaa korua voisi ”myydä” useita kertoja. Myös nettisivut olisi hyvä olla, pelkästään jo korujen katselua varten.

Suomesta puuttuvat korujen vuokrauspalvelut käytännöllisesti katsoen kokonaan. Jo nopea katsaus hää-aiheisten keskustelupalstojen sivuhistoriaan osoittaa, että palvelulle olisi kysyntää. ”Jotain lainattua” voisi siis olla ”jotain vuokrattua”. Myös muunlaiset näyttävät juhlit ovat yleistyneet. Nykyään näissä juhlissa uskalletaan ja halutaan erottua.

On hyvä muistaa, että kyseessä on korualalle uusi materiaali. Pidän erittäin tärkeänä, että huolto- ja tarkastustoimia voi suorittaa usein. Vuokrakorujen kohdalla tämä seuranta toimisi helposti. Näin riski, että mekanismi mahdollisesti väsyä eikä esimerkiksi vuoden päästä toimikaan pienee. Maineen tärkeyttä ei voi yrittäjä liioitella.

8. Pohdinta

Tämä työ on ollut kuin hiihtoa umpihangessa. Kaikki on ollut uutta ja tuntematonta. Välillä into on meinannut sokaista ja välillä tosiasiat ja fysiikan lait ovat synkistänyt taivalta.

Sain tärkeää apua Tampereen teknillisen yliopiston tutkijalta Erkki Itävuorelta. Vaikka hän on muistimateriaalitutkimuksen pioneeri Suomessa, hänellä ei siitä huolimatta ollut materiaalista käytännön kokemusta. Käytännön ohjeita oli siis oikeastaan mahdotonta saada. Kaikki materiaalikokeilut oli sovellettava kirjallisista lähteistä, joista tärkeimmät oli siis kirjoittanut mies, joka ei ollut materiaalia käsitellyt.

Myös materiaalin etsintä oli melko työlästä. Tutkija neuvoi etsimään materiaalia nimenomaan hammaslääkäreiden kautta, sillä heidän käyttämät seokset olisivat eniten minun tarkoituksiini sopivia. Myös valuasioissa tutkija neuvoi kääntymään hammasproteesien valmistajien puoleen. Molemmat neuvot osoittautuivatkin hyviksi. Löysin hämeenlinnalaisen hammasteknikon, joka oli erittäin kiinnostunut kokeilemaan valamista, jos päätyisin käyttämään valettuja osia. Sekä hammasteknikko että Itävuori olivat sitä mieltä, ettei esteitä materiaalin valamiselle ole. Hammasteknikko tiesi kyllä nitinolin ja mihin sitä käytetään, muttei hänelläkään ollut käytännön kokemusta materiaalin käsittelystä. Tämä kontakti on hyvä muistaa tulevaisuudessakin.

Materiaalikoikeilut olivat ehkä projektin mielenkiintoisin osa. Ne vaativat koko lähdeaineiston referoimista ja paljon kekseliäisyyttä. Kaiken ydin oli kuitenkin usko onnistumiseen. Olin varma työn onnistumisesta, koska tutkija Itävuori vakuutti korun olevan toteutettavissa. Mielestäni tämä työ onnistuikin kokonaisuudessa hyvin, vaikka toteuttamani koru aiheuttikin jossain määrin pettymyksen ainakin itselleni. Uskon silti yhä, että se on täysin mahdollista toteuttaa. Uskon myös, että muistimateriaaleja tullaan vielä koruualalla näkemään.

Suunnittelemani korun ja opinnäytetyön aiheen innoittamana annoin koko projektille kreikankielisen nimen metamorfoosi. Nimi tarkoittaa muodonmuutosta. Metamorfoosi voi kasvitieteessä tarkoittaa esimerkiksi tapahtumaa, jossa siemenestä kasvaa kasvi tai nupusta kukka. Nimi kuvaa mielestäni täydellisesti tätä projektia.

LÄHTEET:

PAINAMATTOMAT

Itävuori, E. 1990
MUISTIMETALLIT
Raportti 18/1990
Tampereen teknillinen korkeakoulu

Karjalainen, T. 2007
Paniikki... ja kuinka siitä syntyi silmälasit
Opinnäytetyön dokumentointi osa. Lahden ammattikorkeakoulu,
Muotoiluinstituutti.

Söderström, P. 2004
ANTUREIDEN JA AKTUAATTOREIDEN INTEGROINTI
KUITUKOMPOSIITTIRAKENTEESEEN
Diplomityö. Espoon Teknillinen Korkeakoulu 9.9.2004.

SUULLISET

Keskustelut TTY:n tutkija Erkki Itävuoren kanssa 28.1.2009

Puhelin keskustelut TTY:n tutkija Erkki Itävuoren kanssa

Puhelin keskustelut hammasteknikko Kari Syrjäsen kanssa 20.2.2009

Keskustelut kampaaja Riina Kyrölän kanssa 15.6.2009

INTERNET

http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/article30624.ece	29.9.2009
http://www.tekniikkatalous.fi/tk/article53791.ece	10.9.2008
http://www.tekniikkatalous.fi/kemia/article279667.ece	3.5.2009
http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_titanium	22.10.2009
http://fi.wikipedia.org/wiki/Muistimetalli	15.3.2009
http://www.edu.fi/oppimateriaalit/teknologia/html/06-7-1.html	9.9.2009
http://www.ele.tut.fi/teaching/ele-7100/vuosi07-08/luennot/luento_4/luento_4_0708.pdfvaat	10.9.2008
http://www.hilavitkutin.com/tag/almateriaali/	15.3.2009
http://www.hilavitkutin.com/2008/02/27/mainio-muistimetallidemo/	10.9.2008
http://rmseura.tkk.fi/rmlehti/2007/nro1/RakMek_40_1_2007_1.pdf	10.9.2008
http://herkules.oulu.fi/isbn9514252217/html/x317.html	15.7.2009
http://www.memry.com/nitinolfaq/nitinolfaq.html	10.9.2009
http://www.titanical.com/index.php?doc=index	3.5.2009
http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050494	
http://www.tek.fi/tek-lehti/TEK404/404s14-18.pdf	30.10.2009
http://www.itviikko.fi/muu/2005/03/04/proessori-ohjaa-adidaksen-lenkkikenkaa/20051163/7	30.10.2009
http://www.tiede.fi/arkisto/artikkeli.php?id=324&vl=2002	

KUVALÄHTEET

uk.memometal.com
www.gadgetroad.com
www.carolinafamilyvision.com
www.xslabs.net/kukkia&vilkas/video.php
www.preisroboter.de
www.coolbusinessideas.com
www.jrjewelers.com/.../Product_srk/Triton_drk/
<http://www.kolikot.com/img/markat/arvokuvat/5mk.jpg>
http://69.89.31.93/~rollerne/rn2/20080402_d3o.jpg
http://www.faqs.org/photo-dict/photofiles/list/557/3533wedding_rings.jpg

LIITTEET

Annettu Helsingissä 22 päivänä kesäkuuta 2005

Valtioneuvoston asetus

nikkeliä ja sen yhdisteitä sisältäviä tuotteita koskevista kielloista ja rajoituksista annetun valtioneuvoston päätöksen liitteen muuttamisesta

Valtioneuvoston päätöksen mukaisesti, joka on tehty sosiaali- ja terveysministeriön esittelystä,

muutetaan nikkeliä ja sen yhdisteitä sisältäviä tuotteita koskevista kielloista ja rajoituksista 13 päivänä tammikuuta 2000 annetun valtioneuvoston päätöksen (2/2000) liite seuraavasti:

Tämä asetus tulee voimaan 1 päivänä syyskuuta 2005.
Komission direktiivi 2004/96/EY; EYVL N:o L 301, 28.9.2004, s. 51

Helsingissä 22 päivänä kesäkuuta 2005

Peruspalveluministeri
Liisa Hyssälä

Neuvotteleva virkamies
Juha Pyötsiä

Liite

Nikkeli (CAS No 7440—0-20, EINECS No 2311114) ja sen yhdisteet

Nikkeliä ja sen yhdisteitä ei saa käyttää eikä luovuttaa markkinoille

1. missään ensiasennuskoruissa tai niiden osissa, jotka on tarkoitettu pidettäväksi lävistetyissä korvissa ja muissa ihmiskehon osissa, ellei näistä ensiasennuskoruista vapautuvan nikkelin määrä ole alle 0,2 µg/cm² viikossa (migraatoraja),
2. ihon kanssa välittömään ja pitkäaikaiseen kosketukseen tarkoitetuissa tuotteissa kuten esimerkiksi:
 - korvakoruissa,
 - kaulakoruissa, rannerenkaissa ja ketjuissa, nilkkarenkaissa ja sormuksissa,
 - rannekellojen kuorissa, kellon rannekkeissa ja soljissa,
 - silmä- ja aurinkolasien sangoissa,
 - vaatteissa käytettävissä niittinapeissa, soljissa, niiteissä, vetoketjuissa ja metallimerkeissä,

jos ihon kanssa välittömässä ja pitkäaikaisessa kosketuksessa olevista tällaisten tuot-teiden osista vapautuvan nikkelin määrä on suurempi kuin 0,5 µg/cm² viikossa.

3. edellä 2. kohdassa luetellun tyyppisissä tuotteissa, silloin kun ne on päällystetty muulla materiaalilla kuin nikkelillä, ellei päällyste rajoita vapautuvan nikkelin määrää tuotteiden välittömässä ja pitkäaikaisessa ihokosketuksessa olevissa osissa alle 0,5 µg/cm² viikossa tuotteen tavanomaisen, vähintään kahden vuoden käyttöajan aikana.