



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiisjärvi Teemu

UUSIEN VIIMEISTELYMENETELMIEN  
KÄYTTÖÖNOTTO PATRUUNAVAL-  
MISTUSTYÖKALUJEN VALMISTUK-  
SESSA

Tekniikka ja liikenne  
2013

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Teemu Tiisjärvi
Opinnäytetyön nimi	Uusien viimeistelymenetelmien käyttöönotto patruunavalmistustyökalujen valmistuksessa
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	63 + 8 liitettä
Ohjaaja	Timo Karhunen

---

Tämä opinnäytetyö on tehty Nammo Lapua Oy:n Lapuan tehtaan työkaluosastolle. Opinnäytetyön aiheena oli uusien viimeistelymenetelmien käyttöönotto patruunavalmistustyökalujen valmistuksessa. Työn tarkoituksena oli kartoittaa ja testata uusia kiillotus- ja pinnoitusmenetelmiä ja pinnoitteita, joilla saataisiin patruunoiden valmistuksessa käytettävien työkalujen käyttöikää parannettua ja kiillotustapaa nykyaikaistettua.

Työ aloitettiin kiillotus- ja pinnoitusmenetelmille asetettujen vaatimusten, sekä pinnoitteelta haluttujen ominaisuuksien määrittelyllä. Vaatimusten ja ominaisuuksien pohjalta, aloitettiin sopivien viimeistelymenetelmien ja pinnoitteiden tutkiminen, sekä työkaluissa käytettäviin materiaaleihin tutustuminen, käyttäen lähteenä alan kirjallisuutta ja internetiä. Opinnäytetyön puitteissa testattiin kolmea uutta pinnoitetta, sekä kahta uutta kiillotusmenetelmää. Kiillotusmenetelmiä testattiin hylsynvalmistukseen tarkoitetuilla työkaluilla ja pinnoitteiden toimivuutta työkaluissa testattiin tuotantolinjoilla. Samalla testattiin myös pinnoitusmenetelmien vaikutusta työkalujen valmistuksessa käytettäviin materiaaleihin, tähän tarkoitukseen suunnitellulla testipuikolla.

Työn tuloksena saatiin tietoa uusista pinnoitteista ja kiillotusmenetelmistä. Testauksissa löydettiin kaksi toimivaa pinnoitetta, joilla saatiin testattujen työkalujen käyttöikää nostettua, lisäksi saatiin tietoa käytössä oleville materiaaleille sopivasta pinnoituslämpötilasta. Tuloksena saatiin myös tietoa markkinoilla olevista kiillotusmenetelmistä, sekä kiillotustuloksia kahdesta uudesta menetelmästä. Työssä tehtyjen testien tuloksia ja tehtyjä havaintoja yritys voi hyödyntää tulevaisuudessa.

## ABSTRACT

Author	Teemu Tiisjärvi
Title	Introduction of New Finishing Methods in Ammunition Manufacturing Tools
Year	2013
Language	Finnish
Pages	63 + 8 Appendices
Name of Supervisor	Timo Karhunen

---

This thesis was made for the tool manufacturing department of Nammo Lapua Oy, Factory Lapua. The topic of thesis was the introduction of new finishing methods in ammunition manufacturing tools. The purpose was to research and test new polishing and coating methods and coatings which could improve the tool life of ammunition manufacturing tools and modernize the method of polishing.

The work was started with defining the requirements for polishing and coating methods and the definition of the desired properties for the coatings. The research for the suitable finishing methods and coatings was started based on the requirements and properties as well as the study of the materials used in tool manufacturing, using literature and the Internet as a source. Three new coatings and two new polishing methods were tested within the framework of this thesis. The functionality of polishing methods was tested on a tool for shell manufacturing and the functionality of the coatings in tools was tested in the production lines. Also the effect of the coating methods on materials used in tool manufacturing was tested at the same time with the test tool designed for this purpose.

As a result of this thesis the company got information about new coatings and polishing methods. Two functional coatings which increase the tool life of tested tools were found as a result of testing, information about suitable coating temperatures for the materials used in tool manufacturing was also obtained. Useful information was also obtained about the polishing methods that are available on the market as well as test results of two new polishing methods. The company can take advantage in the future of the test results and findings are made on this thesis.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYSESITTELY .....	8
	2.1 Historia.....	8
	2.2 Nammo Lapua OY:n Lapuan tehdas.....	9
	2.3 Nammo Lapua OY:n Schönebeckin tehdas .....	9
3	TYÖKALUVALMISTUS .....	10
4	TYÖKALUISSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT .....	11
	4.1 Uddeholm Arne.....	11
	4.2 Uddeholm Calmax .....	13
	4.3 Uddeholm Vanadis 23.....	14
	4.4 Kovametalli.....	15
5	HYLSYISSÄ JA LUODEISSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT.....	18
	5.1 CuZn28 .....	18
	5.2 CuZn5 ja CuZn10 .....	18
6	KIILLOTUSMENETELMÄT.....	19
	6.1 Elektrolyyttinen kiillotus .....	20
	6.2 Laserkiillotus.....	21
	6.3 Vesimikrokiillotus.....	22
	6.4 Drag – viimeistely.....	23
	6.5 Magneettikiillotus .....	24
7	PINNOITUSMENETELMÄT .....	27
	7.1 Kaasufaasipinnoitus .....	28
	7.1.1 Fysikaalinen kaasufaasipinnoitus PVD (Physical vapour deposition).....	29
	7.1.2 Kemiallinen kaasufaasipinnoitus CVD (Chemical vapour deposition).....	31
	7.2 Diarc – pinnoitus.....	33
	7.3 Kovakromaus .....	33

8	KIILLOTUSMENETELMIEN VALINTA JA TESTAUS.....	36
8.1	Kiillotuksen vaatimukset .....	36
8.2	Testattavien kiillotusmenetelmien valinta .....	36
8.3	Kiillotusmenetelmien testaus .....	36
9	PINNOITTEIDEN VALINTA JA TESTAUS .....	37
9.1	Pinnoitteen vaatimukset .....	37
9.2	Pinnoitteiden valinta .....	37
9.3	Testattavat pinnoitteet .....	37
9.4	Testipuikkojen laatutestaus .....	37
9.5	Pinnoitettavat työkalut ja niiden testaus .....	37
10	TULOKSET .....	38
11	YHTEENVETO .....	39
	LÄHTEET .....	40
	LIITTEET	

**LIITELUETTELO****LIITE 1.** Kovuuksien muunnostaulukko**LIITE 2.** Kaavio pinnoitusmenetelmistä

# 1 JOHDANTO

Liikesalaisuuksien suojaamiseksi tämä julkaistu versio opinnäytetyöstä on voimakkaasti lyhennetty versio varsinaisesta opinnäytetyöstä.

Tämä opinnäytetyö tehdään Nammo Lapua Oy Lapuan tehtaan työkaluosastolle. Opinnäytetyön aiheena on tutkia ja testata uusia viimeistelymenetelmiä patruunavalmistustyökalujen valmistuksessa.

Laadukas patruuna vaatii laadukkaat viimeistellyt työkalut, siksi työkalujen kiillotus ja pinnoitus on tärkeässä osassa työkalujen valmistuksessa. Kiiltävällä tasaisella pinnalla ja kestäväällä oikeanlaisella pinnoitteella saadaan työkalun käyttöikä ja toimivuutta kasvatettua moninkertaiseksi.

Nykyisin käytettävissä olevat viimeistelymenetelmät ovat seuraavat: työkalujen kiillotus tapahtuu käsin kiillottamalla timanttitahnojen avulla. Yrityksellä on itsellään laitteet työkalujen pinnoitukseen kromaamalla, lisäksi heillä on käytössä yksi muu pinnoite, joka tulee alihankkijalta Ruotsista. Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa ja testata sitä, että onko yrityksessä nykyisin käytössä olevat kiillotus- ja pinnoitusmenetelmät sekä pinnoitteet parhaat mahdolliset, vai voisiko niitä parantaa ja mahdollisesti korvata uusilla, paremmilla menetelmillä.

Työkaluissa käytettävät materiaalit rajoittavat omalta osaltaan viimeistelymenetelmien kartoitusta, alhaisten päästölämpötilojensa vuoksi. Opinnäytetyötä rajataan niin, että työkaluihin käytettäviä materiaaleja ei tässä työssä aleta uusimaan, vaan kartoitetaan viimeistelymenetelmiä sen pohjalta, että ne sopivat nykyisin käytössä oleville materiaaleille.

## 2 YRITYSESITTELY

### 2.1 Historia

Patruunatehdas perustettiin Lapualle vuonna 1923. Vuonna 1927 viralliseksi nimeksi otettiin Valtion patruunatehdas. Tehtaan toiminta oli sen alkuaikoina varsin vaatimatonta, mutta maailmanpoliittisen tilanteen muututtua ennen toista maailmansotaa sen tuotanto moninkertaistui. Vuonna 1946 patruunatehdas liitettiin Valtion metallitehtaaseen, Valmettiin. Ensimmäiset pienoiskivääripatruunat valmistettiin jo vuonna 1947. Patruunatehtaasta tuli puolustusministeriön alainen tuotantolaitos vuonna 1955. /8/.

Tehtaalla tapahtui vuonna 1976 vakava räjähdysonnettomuus, onnettomuutta pidetään vakavimpina sotien jälkeen suomessa tapahtuneista onnettomuuksista, tällöin tehdas sijaitsi Lapuan keskustan kupeessa. Onnettomuus johti päätökseen uuden tehdasrakennuksen rakentamisesta Lapuan Jouttikallion teollisuusalueelle. Uudelle alueelle rakennettiin uusi hylsy- ja luotitehdas, joka otettiin käyttöön vuonna 1984. Yritys keskittyi voimakkaasti tuotekehitykseen 80 – luvulla, tämä keskittyminen johti siviilituotteiden myynnin nopeaan kasvuun. Kun markkinointi ja tuotekehitys vahvistuivat, Lapuasta tuli yhä kilpailukykyisempi urheilu-, metsästys- ja viranomaispatruunoiden valmistaja. /8/.

Vuoden 1991 vaihteessa Lapuan patruunatehdas muutettiin osakeyhtiöksi. Samalla yritys sai uuden nimen, patruunatehdas Lapua Oy. Vuoden 1992 alussa Lapua Oy osti saksalaisen patruunatehtaan SK Jagd- und Sportmunitions GmbH:n. Saksan tehtaan tuotevalikoima täydentää ja tukee emoyhtiön valikoimaa. /8/.

Vuonna 1996 Suomen hallitus antoi lisätalousarvion hyväksymisen yhteydessä luvan perustaa valtion omistaman puolustusvälineyrityksen, tämän päätöksen perusteella puolustusvälineiteollisuutta alettiin uudelleenjärjestää. Uusi konserni aloitti toimintansa 5.9.1996, työnimenään Suomen Puolustusvälineiteollisuus Oy. Nimi Patria Industries Oy otettiin käyttöön huhtikuussa 1997. Patria-konserniin kuuluivat Patria Lapua Oy, Patria Finavitec Oy, Patria Vammas Oy ja Patria Vehicles Oy. Elokuussa 1998 Patria Industries Oyj, Celsius AB Ruotsista ja Raufoss



ASA Norjasta allekirjoittivat sopimuksen ampumatarvikeliiketoimintojen yhdistämisestä Pohjoismaiseksi yritykseksi, Nammo-konserniksi. Suomessa Nammo-konserniin kuuluu Nammo Lapua Oy. Vuonna 2005 Nammo AS:n omistus jakautui puoleksi Patrialle ja puoleksi Norjan valtiolle. /8/.

## **2.2 Nammo Lapua OY:n Lapuan tehdas**

Tehdas sijaitsee Lapualla, noin 80 km Vaasasta itään. Nykyään tehtaassa työskentelee noin 150 henkilöä. Lapuan tehtaan päätuotteita ovat pienikaliperiset patruunat ja -komponentit niin siviili- kuin viranomaiskäyttöön. /23/.

## **2.3 Nammo Lapua OY:n Schönebeckin tehdas**

Lapua GmbH sijaitsee Schönebeckissä, Saksassa, noin 150 km Berliinistä länteen. Vuoteen 2004 saakka yhtiö toimi nimellä SK Jagd- und Sportmunitions GmbH. Vuonna 2009 yhtiö täytti 180 vuotta ja näin ollen sillä on pisin historia Nammo-konsernin yhtiöistä. Nykyisin yhtiö on Nammo Lapua Oy:n omistuksessa ja se valmistaa pienoiskiväärin ja haulikon patruunoita. Lapua GmbH työllistää n. 70 henkilöä. /24/.

### 3 TYÖKALUVALMISTUS

Nykyaikana useat yritykset ovat myyneet tai ulkoistaneet oman työkaluvalmistuksensa säästöjen ja kannattamattomuuden takia. Nammo Lapua Oy:n Lapuan tehtaalla tilanne on kuitenkin toinen, jokainen patruunanvalmistamiseen tarvittava työkalu suunnitellaan ja valmistetaan itse. Tällä hetkellä työkaluosastolla työskentelee 9 henkilöä. Lisäksi osastolla on laaja konekanta, joka mahdollistaa työkalujen sorvauksen, jyrsinän, lämpökäsittelyn (karkaisu ja päästö), kipinätyöstön, hionnan ja kovakromauksen. Kuviosta 1 selviää perinteinen työkalun valmistusprosessi (**Kuvio 1.**).

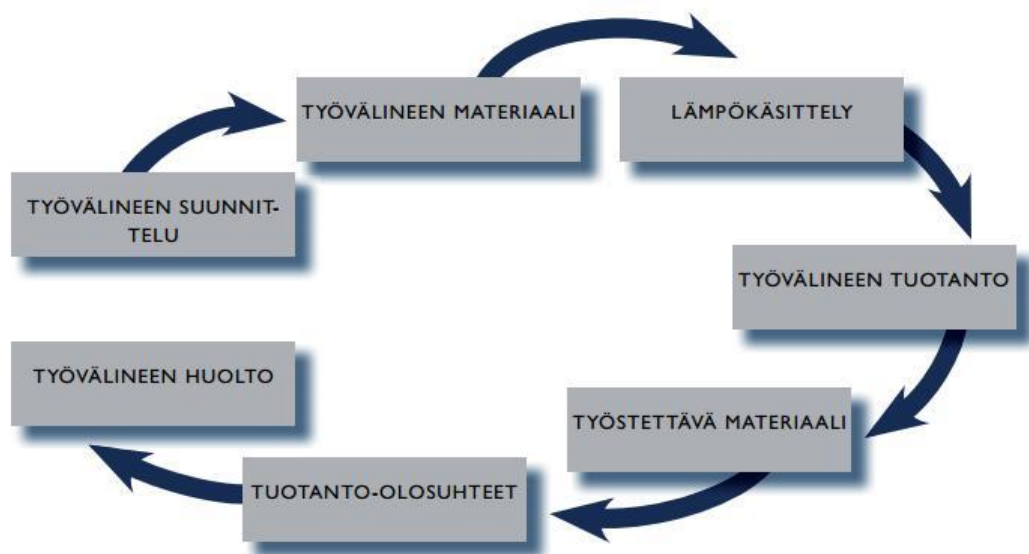


**Kuvio 1.** Perinteinen työkalun valmistusprosessi.

Valmistettava työkalu sorvataan lähelle piirustukseen merkittyjä mittoja, sorvauksen jälkeen työkalut lämpökäsitellään (karkaisu ja päästö) haluttuun kovuuteen. Lämpökäsittelyn jälkeen työkalut ovat niin kovia, ettei niitä enää pysty sorvata tai jyrsiä, niinpä työkalut työstetään tarkkaan mittaansa pyöröhiomakoneella. Kovuus ei ole ainoa syy työkalujen hiomiselle, vaan työkalujen tiukat toleranssit vaativat sitä myös. Tarkimmissa työkaluissa toleranssit ovat jopa millin tuhannesosia. Patruunanvalmistukseen valmistettavat työkalut ovat pääasiassa erilaisia renkaita ja puikkoja, joilla tehdään syvävetotyötä.

## 4 TYÖKALUISSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT

Pääasiassa työkalut valmistetaan kylmätyöstöön erityisesti suunnitelluista työkalu-teräksistä, joissakin työkaluissa käytetään valmistusmateriaalina myös kovametalia. Oikein valitulla materiaalilla työkalusta saadaan kestävä ja mahdollisimman taloudellinen. Paras mahdollinen työkalun kokonaistaloudellisuus saavutetaan vain käyttämällä työvälineeseen parhaiten soveltuvaa teräslajia. Kuviossa 2 havainnollistava kuva työkalun käyttöikään vaikuttavista tekijöistä (**Kuvio 2.** ) /31, 4/.



**Kuvio 2.** Työkalun käyttöikään vaikuttavat tekijät kylmätyösovelluksissa. /31, 5/.

### 4.1 Uddeholm Arne

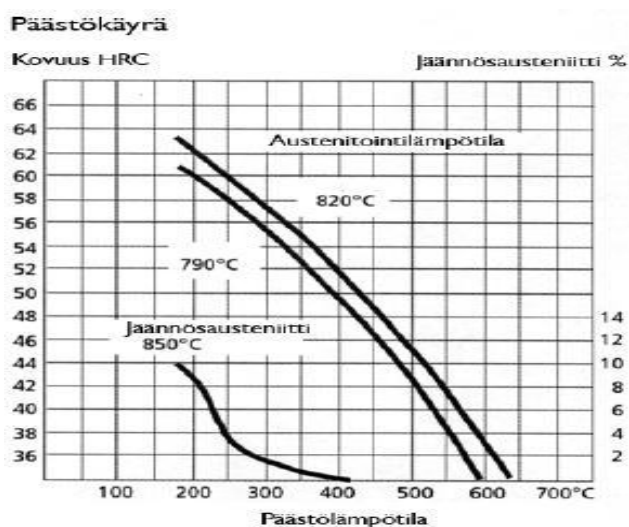
Uddeholm Arne on öljyyn karkeneva mangaani / kromi / volframi- seosteinen, yleiskäyttöön sopiva kylmätyöteräs, jonka ominaisuudet ovat hyvä lastuttavuus, hyvä mitanpysyvyys karkaisussa ja hyvä suuren pintakovuuden ja sitkeyden yhdistelmä karkaisun ja päästön jälkeen. Näiden ominaisuuksien ansiosta kyseinen teräs pidentää työkalun käyttöikää ja parantaa sen kokonaistaloudellisuutta. Arne toimitetaan pehmeäksihehkutettuna, jolloin sen kovuus on 190 HB. Taulukosta 1 selviää Uddeholm Arnen sisältämät seosmateriaalit, sekä Arnen toimituskovuus (**Taulukko 1.**). /28/.

**Taulukko 1.** Arnen sisältämät seosmateriaalit prosentteina, sekä toimituskovuus. /28/.

Ohjeanalyysi %	C	Mn	Cr	W	V
	0,95	1,1	0,6	0,6	0,1
Normimerkintä	AISI 01, W.-Nr. 1.2510				
Toimitustila	pehmeäsihekkutettu n. 190 HB				
Värimerkintä	keltainen				

Arnesta valmistetut työkalut karkaistaan ja päästetään aina kovuuteen 60-61 HRC. Liitteessä 1 on havainnollistava taulukko kovuuksien muunnoksista eri kovuusmittausmenetelmien välillä ( HB, HRC, HV, HRA ). (LIITE 1). Arnesta valmistetut työkalut karkaistaan 800 °C asteessa, jossa niitä pidetään 30 min. Karkaistuna, ennen päästöä, työkalujen kovuus on noin 65 HRC. Päästössä työkalut päästetään 180 °C asteessa, pitoaikana 2 h. /28/. Työkalut päästetään, koska pelkkä karkauslulla aikaansaatua kovuus ei työkaluissa riitä, vaan niihin halutaan myös sitkeyttä.

Arnesta valmistettujen työkalujen kohdalla pinnoitusmenetelmän pinnoituslämpötilalla on suuri merkitys, koska lämpötila vaikuttaa suuresti työkalun kovuuteen (MAX. 200 °C). Kuvio 3 selviää lämpötilan vaikutus työkalun kovuuteen. (Kuvio 3.)



**Kuvio 3.** Arnen päästökäyrä. /28/.

## 4.2 Uddeholm Calmax

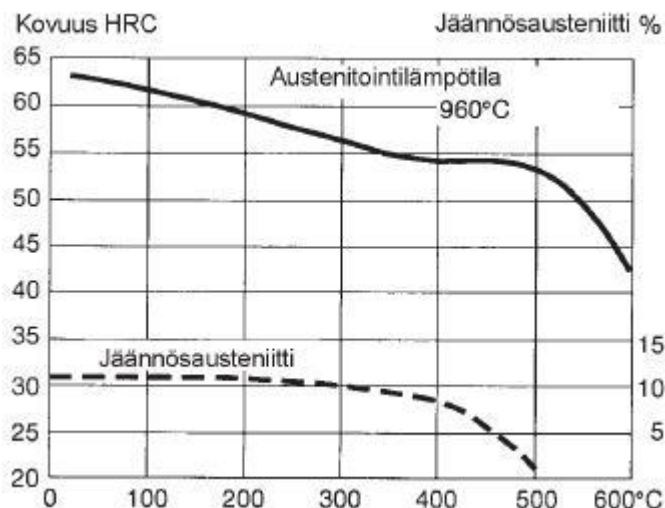
Uddeholm Calmax on kromi / molybdeeni / vanadiini- seosteinen teräs, jonka ominaisuuksia ovat erinomainen sitkeys, hyvä kulumiskestävyys, hyvä läpikarkenevuus, hyvä mitanpitävyys karkaisussa, hyvä kiillotettavuus ja hyvä karkenevuus liekki- ja induktiokarkaisussa. Calmax sopii hyvin erilaisiin kylmätyösovelluksiin, esimerkiksi: meisto ja syväveto. Calmax toimitetaan pehmeäsihehkutettuna, jolloin sen kovuus on 200 HB. Taulukosta 2 selviää Uddeholm Calmaxen sisältämät seosaineet, sekä Calmaxen toimituskovuus. **(Taulukko 2.)** /29/.

**Taulukko 2.** Calmaxen sisältämät seosmateriaalit prosenteina, sekä toimituskovuus. /29/.

Ohjeanalyysi %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	0,6	0,35	0,8	4,5	0,5	0,2
Toimitustila	pehmeäsihehkutettu n. 200 HB					
Värimerkintä	valkoinen/violetti					

Calmaxesta valmistetut työkalut karkaistaan ja päästetään aina kovuuteen 54 – 56 HRC. Calmaxesta valmistetut työkalut karkaistaan 960 °C asteessa, jossa niitä pidetään 30 min. Karkaistuna, ennen päästöä, työkalujen kovuus on noin 63 HRC. Päästössä työkalut päästetään 200 °C asteessa, pitoaikana 2 h. /29/. Työkalut päästetään, koska pelkkä karkaisulla aikaansaatu kovuus ei työkaluissa riitä, vaan niihin halutaan myös sitkeyttä.

Calmaxesta valmistettujen työkalujen kohdalla pinnoitusmenetelmän pinnoituslämpötilan merkitys ei ole niin suuri, verrattaessa Arneen (MAX. 450 °C). Kuvio 4 selviää lämpötilan vaikutus työkalun kovuuteen. **(Kuvio 4.)**



**Kuvio 4.** Calmaxen päästökäyrä. /29/.

### 4.3 Uddeholm Vanadis 23

On kromi / molybdeeni / volframi / vanadini- seosteinen pulverimetallurgisesti valmistettu pulveripikateräs. Sen ominaisuuksia ovat hyvä kulumiskestävyys, suuri puristuslujuus, hyvä läpikarkenevuus, hyvä sitkeys, erittäin hyvä mitanpitävyys karkaisussa ja erittäin hyvä päästönkestävyys. Se soveltuu erityisesti ohuiden materiaalien meistoon ja muovaukseen, joissa vaaditaan joko abrasiivista tai adhesiivista kulumiskestävyyttä ja joissa on riskinä työvälineen plastinen muodonmuutos. Vanadis 23 toimitetaan pehmeäksihehkutettuna, jolloin sen kovuus on 260 HB. Taulukosta 3 selviää Uddeholm Vanadis 23:n sisältämät seosmateriaalit, sekä toimituskovuus. **(Taulukko 3.)** /30/.

**Taulukko 3.** Vanadis 23 sisältämät seosmateriaalit prosenteina, sekä toimituskovuus. /30/.

Ohjeanalyysi %	C	Cr	Mo	W	V
	1,28	4,2	5,0	6,4	3,1
Normi-merkintä	(AISI M3:2/W.-Nr. 1.3395)				
Toimitustila	pehmeäksihehkutettu noin 260 HB				
Värimerkintä	violetti				

Vanadis 23:sta valmistetut työkalut karkaistaan ja päästetään aina kovuuteen 62 – 64 HRC. Vanadis 23:sta valmistetut työkalut karkaistaan 1140 °C asteessa, jossa niitä pidetään 30 min. Päästössä työkalut päästetään 560 °C asteessa, pitoaikana 1 h. Päästö suoritetaan 3 kertaa, päästöjen välillä työkalut jäädytetään huoneenlämpötilaan /30/. Työkalut päästetään, koska pelkkä karkaisulla aikaansaatu kovuus ei työkaluissa riitä, vaan niihin halutaan myös sitkeyttä. Taulukosta 4 selviää materiaalin kovuus eri lämpötiloissa suoritetun karkaisun jälkeen. Päästetty 3 kertaa, pitoaika 1 h 560 °C:ssa (**Taulukko 4.**) /30/.

**Taulukko 4.** Karkaisulämpötilan vaikutus Vanadis 23:n kovuuteen. /30/.

HRC	°C
58	1020
60	1060
62	1100
64	1140
66	1180

Vanadis 23 on materiaalina vähiten herkkä lämpötilalle, se kestää vähän paremmin korkeampia lämpötiloja pehmenemättä, kuin muut käytettävissä olevat työkaluteräksset (MAX. 560 °C). Tästä syystä mahdollisten eri pinnoitusmenetelmien valikoima on Vanadis 23:lla vähän laajempi.

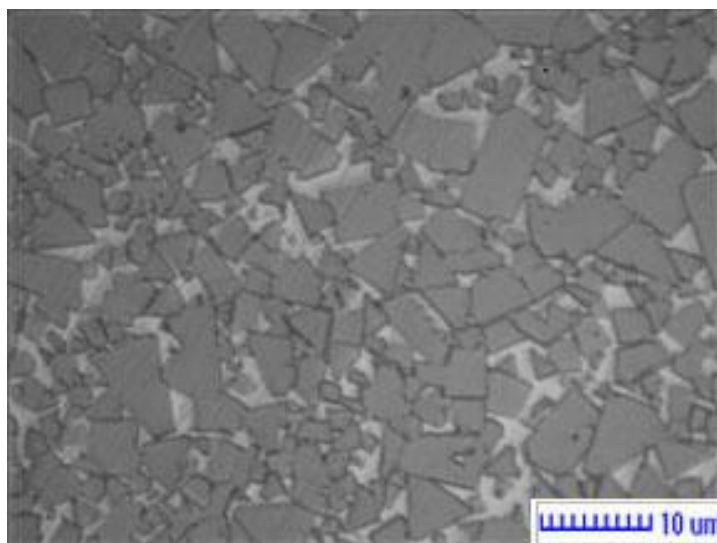
#### 4.4 Kovametalli

Kovametalli on hyvin kulutusta kestävä metallinen komposiittimateriaali, joka sisältää volframia karbidiyhdisteenä ja sen sidosaineena on koboltti. Kovametalli valmistetaan jauhemetallurgisesti. Kovametalliseoksissa voi olla mukana myös titaani-, tantaali-, molybdeeni- tai vanadiilikarbida. Kovametallien kehitys alkoi toisen maailmansodan aikana, kun oli tarve saada pikaterästä parempia teräsmateriaaleja kranaattien sorvaukseen. /13/.

Eniten kovametallin ominaisuuksiin vaikuttaa sen sidosaineen, koboltin, määrä sekä volframkarbidin raekoko. Sen kulutuskestävyys on työkaluteräksiin verrattuna yleensä noin 50 – kertainen, parhaimmissa sovelluksissa voidaan päästä jopa

100 – kertaiseen kulutuskestävyyteen. Hinta ei kuitenkaan nouse merkittävästi verrattuna perinteisistä materiaaleista valmistettuihin työkaluihin, vaikka sen kulutuskesto on moninkertainen. /15/.

Kovametallin parhaimmat ominaisuudet ovat erinomainen kulutuskesto ja puristumurtolujuus, korkea kimmomoduli, jäykkyys, korkeitten lämpötilojen kesto, hyvä lämmönjohtokyky, hyvä kiillotettavuus, erinomainen lämpöshokin kesto ja helppo pinnoitettavuus. /15/.



**Kuvio 6.** Kovametallin rakenne suurennettuna 1500 kertaiseksi. /15/

Kuviossa 6 on esitetty kovametalliseos jossa kobolttia 11% ja volframkarbidia 89%. Tummat rakeet ovat kovia volframkarbideja, vaaleat alueet sidosaine kobolttia (**Kuvio 6.**) /15/. Vastaava kovametalliseos on käytössä pääasiassa kaikissa yrityksen valmistamissa kovametallia sisältävissä partuunavalmistustyökaluissa. Alla olevasta taulukosta käy ilmi yrityksessä käytettävän kovametallin CG40 ominaisuudet. (**Taulukko 5.**) CG40 on ominaisuuksiltaan vastaava, kuin kuvan K40 ja K401 kovametallilaadut.



**Taulukko 5.** Suomessa käytettäviä kovametallilaatuja. /14/.

**Yleisiä Suomessa käytettyjä kovametallilaatuja (ISO-standardi)**

	Kobolttia [%]	Tiheys [g/cm <sup>3</sup> ]	Kovuus [HRA]	Murtolujuus [N/mm <sup>2</sup> ]	Raekoko
K10	6.0	14.9	91.3	2050	Medium
F10	6.0	14.9	92.0	2050	Fine
K20	8.0	14.7	90.5	2300	Medium
K30	9.0	14.6	89.0	2350	Medium
K301	8.0	14.7	89.0	2450	Coarse
K40	12.0	14.2	88.5	2600	Medium
K401	11.0	14.3	87.5	2600	Coarse
K402	15.0	14.0	86.5	2700	Coarse
K20/H8	8.0 + HIP	14.8	93.0	3000	Submicro
K30/H10	10.0 + HIP	14.5	92.1	3800	Submicro

## **5 HYLSSYISSÄ JA LUODEISSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT**

Tässä luvussa on lyhyesti käsiteltynä materiaalit, joita käytetään hylssyjen ja luotien valmistukseen. Kaikille käytettäville materiaaleille yhteistä on hyvä soveltuvuus kylmämuovaukseen.

### **5.1 CuZn28**

CuZn28 on hylssyjen valmistukseen käytettävä messinkiseos, jossa kuparia on 69 – 71 % ja loput sinkkiä. Materiaalissa yhdistyvät erinomainen kylmämuovattavuus ja hyvä mekaaninen lujuus. Hyvien syvävetoon soveltuvien ominaisuuksien ansiosta materiaalia kutsutaankin syväveto- tai patruunamessingiksi. /10/.

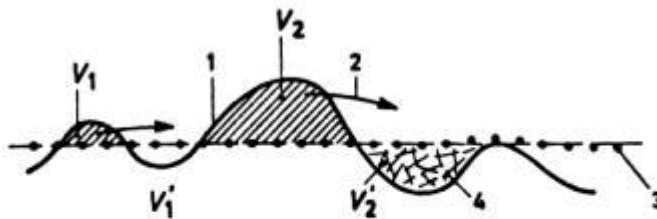
### **5.2 CuZn5 ja CuZn10**

CuZn5 ja CuZn10 ovat luotien valmistukseen käytettävät kupariseokset. CuZn5 sisältää kuparia 94 – 96 % ja CuZn10 sisältää 89 – 91 % kuparia. Molemmat materiaalit omaavat hyvät kylmämuovaus ominaisuudet. Seoksen lujuutta on saatu nostettua, joten se on lujempaa kuin puhdas kupari. Molemmat materiaalit omaavat hyvät hitsaus- ja juotto ominaisuudet, eivätkä ne myöskään ole herkkiä korroosiolle tai sinkkikadolle. /11; 9/.

## 6 KIILLOTUSMENETELMÄT

Tässä luvussa on esiteltyä markkinoilla tarjolla olevia kiillotusmenetelmiä. Kaikkien menetelmien soveltuvuudesta työkaluteräksien ja kovametallien kiillotukseen ei ole varmuutta, joitakin menetelmiä kuitenkin testataan. Testien tuloksia ja kiillotusmenetelmien soveltuvuuksia työkaluteräksille esitellään myöhemmissä luvuissa. Tässä luvussa on esitettyä myös kiillotukseen liittyvää teoriaa.

Kiillotus on vaihe, joka yleensä tulee hionnan jälkeen. Usein nämä kaksi vaihetta sekoitetaan keskenään. Hionnassa pyritään ainetta poistamaan vaikuttamaan kapaleen mittatarkkuuteen ja pinnanlaatuun. Kiillotuksessa ainetta ei poisteta, vaan tasoitetaan pinnan epätasaisuudet, naarmut ja kolot plastisen muodonmuutoksen avulla. Periaatteessa plastisessa muodonmuutoksessa huiput työnnetään laaksoihin. /22/. Kuviossa 7 on esitettyä plastisen muodonmuutoksen periaate. (Kuvio 7.) /22/.



1=alkuperäinen profiili, 2= virtaus, 3=ideaalinen profiili,  
4=rekristallisoitunut kohta

**Kuvio 7.** Plastinen muodonmuutos kiillotuksessa. /22/.

Käytännössä esikiillotuksessa kuitenkin ainetta poistuu vähän, mutta samalla saadaan myös kiiltoa, pinnassa tapahtuvan plastisen muodonmuutoksen vuoksi. Puhdas ja oikeaoppinen kiillotus tapahtuu käytännössä vain loppukiillotuksessa. /22/.

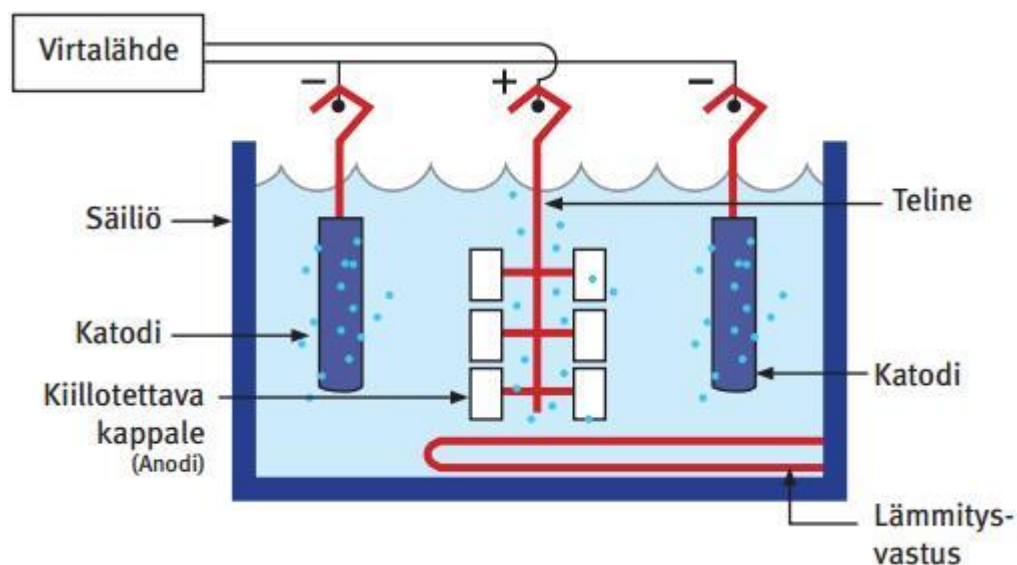
Metallipintoja kiillotetaan eri syistä. Kiillotuksella voidaan tavoitella helposti puhdistettavaa pintaa, joka samalla on matalakitkainen ja liukas. Kiillottamisella metallin pinnasta saadaan myös näyttävä, tämä onkin varmasti yleisin ominaisuus metallipintojen kiillotuksessa. Kiillotukseen on kehitetty myös automatisoituja menetelmiä, joita käsitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa.

## 6.1 Elektrolyyttinen kiillotus

Elektrolyyttinen kiillotus on kemiallinen pinnan viimeistelytekniikka, menetelmästä käytetään myös nimitystä sähkökemiallinen kiillotus. Elektrolyyttinen kiillotus on tarkoitettu lähinnä ruostumattomille ja haponkestäville teräksille. Menetelmässä materiaalia poistetaan ioni – ionilta. Menetelmän tarkoituksena on tasoittaa pinnan mikroskooppisen pienet epätasaisuudet, joka auttaa myös kiillotettavan kappaleen puhtaanapidossa. Elektrolyyttistä kiillotusta voidaan hyödyntää myös jäysteenpoistossa, pinnan kiilto-ominaisuuksien parantamisessa sekä passivoinnissa. Menetelmä ei vaikuta kiillotettavaan kappaleeseen mekaanisesti, kemiallisesti eikä termisesti. Sen ansiosta menetelmällä voidaan käsitellä kaiken kokoisia, muotoisia ja mekaanisesti hauraita kappaleita. /4, 2/.

Elektrolyyttisessä kiillotuksessa materiaalia poistetaan kiillotettavan kappaleen pinnalta sähkövirran avulla. Kiillotettava kappale on upotettuna määrätyn koostumuksen omaavaan elektrolyyttiin, koostumus määräytyy kiillotettavan kappaleen ominaisuuksista. /4, 2/

Käytännössä menetelmässä muutetaan virtalähteellä vaihtovirta matalan jännitteen tasavirraksi. Elektrolyyttiliuos säilytetään yleensä muovisessa tai lyijypinnoitetussa säiliössä. Lyijystä, kuparista tai ruostumattomasta teräksestä valmistetut katodilevyt upotetaan elektrolyyttiliuokseen ja kiinnitetään virtalähteen negatiiviseen napaan. Kiillotettavat kappaleet asetetaan titaanista, kuparista tai pronssista valmistettuun telineeseen, joka kytketään virtalähteen positiiviseen napaan. Näin saadaan muodostettua tasavirtainen sähköinen virtapiiri. /4, 4/. Kuviossa 8 on havainnollistettu elektrolyyttisen kiillotusmenetelmän toimintaperiaate (**Kuvio 8.**) /4, 5/.



**Kuvio 8.** Elektrolyyttisen kiillotuksen toimintaperiaate. /4, 4/.

Kiillotettavan kappaleen pinnalta liukenevan metallin määrä on riippuvainen käytettävästä virrasta, elektrolyyttiliuoksen tehokkuudesta ja kiillotusajasta. Kiillotettavassa kappaleessa olevilla särmillä ja ulokkeilla on suurin virrantiheys ja sen takia niistä materiaalia liukenee eniten. Kiillotusarvot onkin valittava siten, että kiillotettavan kappaleen mittatoleranssit säilyvät kiillotuksen jälkeenkin. /4, 4/.

## 6.2 Laserkiillotus

Laserkiillotuksessa lasersäde sulattaa kappaleen pintaa 50 – 100 mikrometrin syvyydeltä. Kappaleen pinnassa oleva pintajännitys pitää huolen siitä, että sulanut metalli virtaa ja jähmettyy tasaisesti, muodostaen tasaisen pinnan kappaleelle. /16/.

Kuten tavanomaisessa käsin tehdyn hionta- ja kiillotusprosessissa, hiomapaperin karheutta pienennetään vaiheittain, kunnes lopulta pinnassa on haluttu kiilto. Laserkiillotuksessakin edetään vaihe vaiheelta sulatussyvyyttä vähentämällä, jolloin pinnasta saadaan mahdollisimman tasainen ja kiiltävä. Sulatussyvyyttä säädellään lasersäteen lähtönopeudella, liikutusnopeudella ja pulssien pituudella /16/.

Laserkiillotuksella ei kuitenkaan vielä saavuteta samoja pinnankarheuksia, kuin mitä huolellisella käsin kiillottamisella saavutetaan. Laserkiillotuksella saavutet-

tava pinnankarheus on 50 nanometriä, joka vastaa pinnankarheuden mittauksessa käytettävällä Ra – arvoltaan Ra 0,5. Useille sovelluksille kyseinen pinnankarheus on kuitenkin riittävä. Huolellisesti käsin kiillotetussa prosessissa saavutetaan pinnankarheudessa jopa 5 nanometriä, joka vastaa Ra – arvoltaan Ra 0,05. /16/.

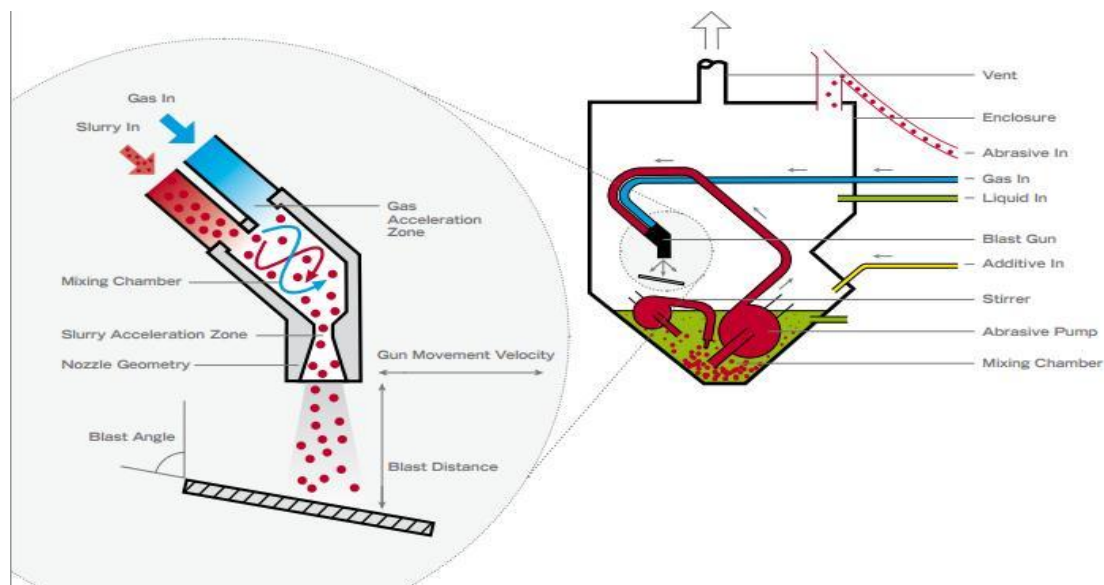
Laserkiillotus on kuitenkin huomattavasti nopeampi menetelmä, kuin kiillotus käsin. Siinä missä käsin kiillottamisessa kestää 10 – 30 min kutakin neliösenttimetriä kohden, kiillottaa laser sen alle minuutissa. Aikasäästö ja siinä rinnalla tulevat kustannussäästöt ovat siis huomattavat. /16/.

### 6.3 Vesimikrokiillotus

Vesimikro kiillotus prosessissa kiillotuskoneen säiliöön laitetaan 40 – 60 kg veden ja väliaineen sekoitusta, täyttömäärä riippuu koneen koosta. Väliaineina käytetään mm. alumiinioksidia, lasihelmiä, muovihelmiä ja keraamisia helmiä. Tämä seos kuljetetaan kestäväen märkämpun kautta suihkupistooleihin, joista sitä suihkuteetaan kiillotettavan kappaleen pintaan. Kiillotuskoneen säiliöön asennettu kiertosuutin takaa sen, että seosta on jatkuvasti saatavilla oikeassa suhteessa. /33/.

Useimmissa sovelluksissa suihkutusprosessiin lisätään paineilmaa, joka lisää seoksen virtausta. Paineilman määrä on säädettävissä käsin, tai säätämiseen voidaan käyttää myös sähköistä paineensäädintä. Näin saavutetaan helppo ja tarkka paineensäätely. /33/.

Vesimikrokiillotuksesta saatu lopputulos riippuu kiillotukseen käytettävästä ajasta, käytettävästä paineesta, suihkutusetäisyydestä, seoksen suhteesta ja väliaineesta /32/. Vesimikrokiillotuksella voidaan saavuttaa pinnankarheus Ra 0,2 – 0,4, lisäksi se sopii hyvin käytettäväksi työkaluterästen kiillotukseen /27/. Kuviossa 9 on yksinkertainen esitys vesimikrokiillotusprosessista. **(Kuvio 9)**.



**Kuvio 9.** Vesimikrokiillotusprosessi. /32/.

Vesimikrokiillotusta käytetään erilaisiin sovelluksiin, kuten kappaleiden ja muotien puhdistukseen, jäysteenpoistoon ja kiillotukseen. /33/.

#### 6.4 Drag – viimeistely

Drag – viimeistelyprosessissa kiillotettavat kappaleet asetetaan pyörivään pidikekaruselliin, joka voi olla varustettuna jopa kymmenellä pyörivällä karalla. Sen jälkeen kappaleet upotetaan säiliöön, joka on täytetty viimeistely- tai kiillotusaineella. Aine voi olla jauheena tai rakeena, riippuen kiillotettavasta kappaleesta ja materiaalista. Samoin kiillotusaineen materiaali vaihtelee kiillotettavan kappaleen materiaalin mukaan. /3/.

Kiillotettava kappale pyörii karassa oman akselinsa ympäri ja samalla pidikekaruselli pyörii muodostaen planetaarista liikettä, näin aikaansaadaan tasainen lopputulos. Nopea liike muodostaa kappaleen pinnan ja kiillotusaineen välille kovan pintapaineen, jonka ansiosta kappale kiillottuu nopeasti ja tarkasti. /3/. Dragkiillotuksella aikaansaadaan kiillotettavalle kappaleelle jopa peilipinta. Menetelmä soveltuu hyvin myös useille materiaaleille, kuten työkaluteräksille ja kovametalleille /27/. Kuviossa 10 esimerkki drag – viimeistelystä. (**Kuvio 10.**)



**Kuvio 10.** Drag – viimeistely. /5/.

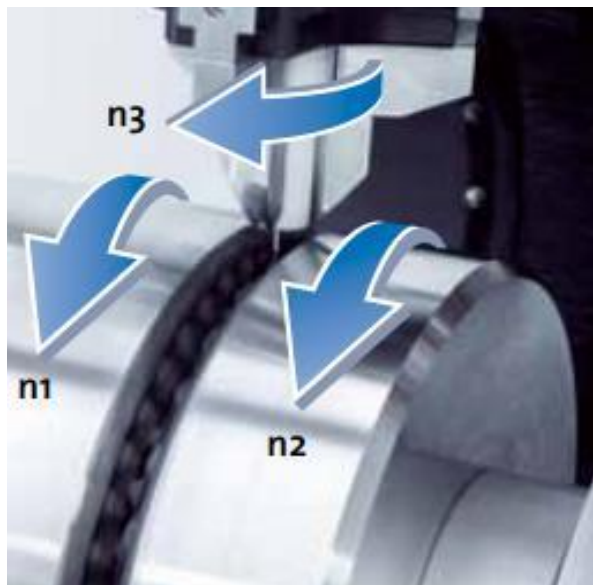
Drag – viimeistely on erityisen sopiva seuraaviin sovelluksiin.

- työkaluteollisuus (Leikkuuterien kulmien viimeistely, kovametalliporien lastu-urien kiillotus.)
- muovaavat työkalut (Muovaavien pintojen tasoitus ja kiillotus.)
- moottorin osat (Hammaspyörien, venttiilien ja nokka-akseleiden tasoitus ja kiillotus)
- kello- ja koruteollisuus
- lääketieteelliset välineet
- metalliteollisuus. /3/.

## 6.5 Magneettikiillotus

Magneettikiillotuksessa kiillotettava kappale asetetaan magneetikenttään, joka aikaansaadaan yhdellä tai kahdella magneettilevyllä. Kappale asetetaan näiden levyjen väliin. Levyjen väli on täytetty magneettisella, hionta-aineita sisältävällä jauheella. Magneettisen osan tehtävä on pitää jauhe paikallaan, magneettilevyjen ja kiillotettavan kappaleen pyöriessä, kun taas jauheen hionta-aine suorittaa kappaleen viimeistelyn ja kiillotuksen. /17; 6/. Kuviossa 11 on havainnollistava kuva magneettikiillotuksesta. (**Kuvio 11.**)





**Kuvio 11.** Magneettikiillotusprosessi. /6/.

Magneettikiillotuksella voidaan saavuttaa jopa Ra 0,02 pinnankarheus. Myös kappaleen reunat ja terävät kulmat tasoittuvat ja pyöristyvät, pyöristyksen säde on tarkasti säädeltävissä välille 3  $\mu\text{m}$  – 50  $\mu\text{m}$ . Menetelmällä voidaan hyvin kiillottaa myös vähemmän magneettisia ja ei magneettisia metalleja kuten, kovametalleja ja työkaluteräksiä. /17/. Muita magneettikiillotuksen etuja ovat.

- kulumattomat työkalut (magneettilevyt).
- kiillotettavan kappaleen pinta ei altistu saasteille
- ei termisiä vaikutuksia kiillotettavaan kappaleeseen. /6/.

Kuten muissakin menetelmissä, myös magneettikiillotuksessa käytettävällä kiillotusjauheella tai -aineella on vaikutus haluttuun lopputulokseen. Eri aineet jaetaan raekokojensa ja kemiallisen rakenteensa mukaan eri käyttötarkoituksiin, mitä hienompi aine sen kiiltävämpi lopputulos. /17; 6/. Taulukossa 6 on esiteltyä eri magneettikiillotuksessa käytettäviä hionta- ja kiillotusaineita ja niiden käyttökohteita. **(Taulukko 6).**

**Taulukko 6.** Magneettikiillotuksessa käytettäviä hionta- ja kiillotusaineita. /17/.

<b>Powdertyp</b>	<b>Powdersort</b>	<b>Grain Size in <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Typical Applications</b>
Standard	Super Coarse	300 - 250	Edge rounding of carbide stamps, ...
	Coarse	250 - 180	Deburring on steel, Edge rounding on carbide, ...
	Middle	180 - 100	Edge rounding on HSS surfaces, ...
	Fine	100 - 40	Polishing on surfaces of medical tools, Polishing of soft coating layers like TiN, ...
	Super Fine	< 40	Polishing of motor engine parts, ...
Nanoabrasive	Coarse	250 - 180	Edge rounding on Carbide, CBN, PCD, etc. High productivity for bigger honing radiuses, ...
	Middle	180 - 100	Edge rounding or polishing on Carbide, CBN, PCD, High productivity for medium size radiuses, ...
	Fine	100 - 40	Edge rounding or polishing on Carbide, for smaller honing radiuses, polishing on coating layers, ...

## 7 PINNOITUSMENETELMÄT

Tässä luvussa on tarkemmin esiteltyä eri pinnoitusmenetelmiä, jotka voisivat sopia kyseisen työn asettamien rajoitusten puitteisiin. Kaikkia mahdollisia pinnoitusmenetelmiä tässä luvussa ei esitellä tarkasti. Tässä luvussa on käsiteltyä myös pinnoitukseen liittyvää teoriaa.

Oikein valituilla pinnoitteilla ja niiden valmistusta silmälläpitäen suunnitelluilla tuotteilla voidaan kohtuullisilla kustannuksilla huomattavasti parantaa tuotteen käyttöarvoa ja kestoikää. Hyvään lopputulokseen pääsemiseksi on tunnettava, mitä ominaisuuksia tuotteelta käytössä vaaditaan ja millä pinnoitteella ne voidaan saavuttaa. On myös tiedettävä mitä vaatimuksia pinnoite asettaa tuotteen rakenteelle ja muotoilulle. /26, 7/

Pinnoitteista on tiedettävä niillä halutut ja saavutettavat ominaisuudet ja niiden valmistukseen liittyvät erityisehdot. Metallia voidaan pinnoittaa toisella metallilla, epämetallisilla oksideilla ja orgaanisilla aineilla, kuten maalit ja muovit. Pinnoitteiden ominaisuudet on tiedettävä, jotta saataisiin aikaan käyttäjälle sopivin pinnoite. Metalleja pinnoitetaan pääasiassa sen vuoksi, että tuotteelle saataisiin uusia ominaisuuksia, nämä ominaisuudet on jokaisen määriteltävissä. Pinnoitteiden avulla voidaan parantaa tuotteen ulkonäköä, lisätä sen käyttöikää, säästää perusmetallia, keventää rakennetta tai saavuttaa sellaisia teknisiä ominaisuuksia, joita ei muutoin aikaansaada. /26, 7, 8/

Esimerkkejä pinnoitukselta vaadittavista ominaisuuksista. /26, 29/

- fysikaaliset ominaisuudet (sähkön- ja lämmönjohtavuus, lämmönkestävyys)
- ulkonäkö (kiilto, himmeys, väri)
- kulumiskestävyys (kovuus, sitkeys)
- korroosiokestävyys
- ylläpito- ja korjausmahdollisuudet
- taloudellisuus
- hygieenisuus (puhtaus, myrkyllisyys)

- optiset vaatimukset
- mittojen muuttuminen (paksuuden vaihtelu)
- voiteluominaisuudet
- tilapäinen suojauskyky
- tarttuvuus. /26/.

Kun pinnoitteelta halutut vaatimukset on tiedossa, on pinnoitteelle määriteltävä haluttu paksuusluokka ja valitaan pinnoitteen valmistusmenetelmä. Pinnoite valitaan halutun tuotteen käyttöympäristön, -tarkoituksen ja suunnitellun käyttöiän mukaan. Pinnoitteet voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan suoja-, koriste- ja teknisiin pinnoitteisiin. Pinnoite ja sen valmistusmenetelmä ei saa vaikuttaa haitallisesti tuotteen rakenteen lujuuteen tai muihin ominaisuuksiin. Pinnoitusmenetelmää valittaessa on tärkeää ottaa huomioon myös pinnoitettavan tuotteen ominaisuudet, kuten. /26, 29/

- perusmateriaalin ominaisuudet (koostumus, huokoisuus yms.)
- kappaleen muoto (onkalot ja nurkat usein vaikeasti pinnoitettavissa.)
- pinnan laatu ja puhtaus. /26/.

Liitteessä 2 olevassa kaaviossa on esiteltynä yleisimmät ja tunnetuimmat pinnoitusmenetelmät (LIITE 2). /26,30/

### **7.1 Kaasufaasipinnoitus**

Kaasufaasipinnoitusta pidetään yhteisnimityksenä suurelle joukolle erilaisia pinnoitusmenetelmiä. Kaikille menetelmille yhteistä on kuitenkin se, että materiaalin siirto pinnoitettavalle pinnalle tapahtuu atomaarisilla tai molekylaarisilla prosesseilla kaasufaasista. /26, 125/

Kaasufaasimenetelmät jaotellaan tavallisesti pinnoitteen muodostustavan mukaan kahteen perusrhyhmään: Fysikaalinen PVD- ja kemiallinen CVD - kaasufaasimenetelmä /26, 125/. Menetelmät esitellään tarkemmin tulevissa kappaleissa.

Molemmilla menetelmillä voidaan muodostaa koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan erilaisia perusmateriaalista, tässä tapauksessa työkalun materiaalista, poik-

keavia pinnoitteita. Pinnoitteet ovat tavallisimmin metallisia tai keraamisia ja niiden pinnoitepaksuudet vaihtelevat pääosin alueella 0,1 – 500 µm. Pinnoituksessa muodostuneet diffuusiokerrokset voivat olla suurimmillaan jopa useita millimetrejä paksuja. /26, 125/

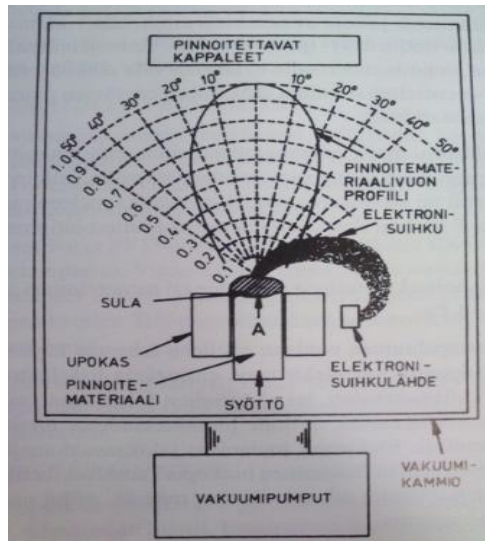
### 7.1.1 Fysikaalinen kaasufaasipinnoitus PVD (Physical vapour deposition)

PVD:n perusmenetelmiä ovat höyrystys, sputterointi ja ionipäällystys. Kaikille menetelmille yhteistä on se, että pinnoitus suoritetaan alennetussa paineessa. PVD – menetelmissä pinnoitemateriaali siirretään sellaisenaan pinnoitusmateriaalilähteestä pinnoitettavan kappaleen pinnalle ulkoisesti tuodun energian avulla. /26, 125, 128/.

Menetelmällä voidaan muodostaa pinnoitteita kaikista metalleista ja niiden seoksista, erilaisista keraameista ja myös joistakin muoveista. Pinnoitettavana materiaalina voidaan käyttää mitä tahansa kiinteää materiaalia, kuten metallia, keraamia, muovia ja paperia. Menetelmä mahdollistaa monipuolisten pinnoitteiden muodostamisen matalassa pinnoituslämpötilassa, mikä mahdollistaa erilaisten alustamateriaalien käytön. /26, 128/.

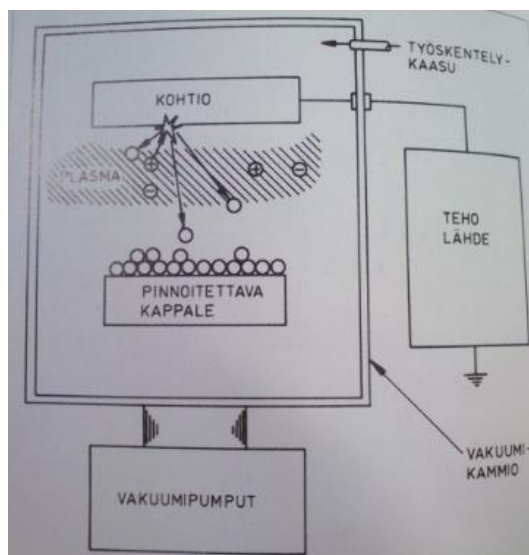
PVD – menetelmien etuna pidetään sen prosessin puhtautta, joka ei tuota ympäristölle vaarallisia sivutuotteita. Tämän vuoksi ei tarvita erillisiä reaktiotuotteiden hävittämis- ja jälkikäsittelylaitteita. /26, 128/

Höyrystyksessä pinnoitemateriaali kuumennetaan tyhjiökammiossa, normaalisti noin  $10^{-13}$  -  $10^{-14}$  Pa:n paineessa, niin korkeaan lämpötilaan, että pinnoiteatomit irtoavat höyrystysmekanismilla pinnoitemateriaalilähteestä. Pinnoitemateriaalista irronneet atomit kulkeutuvat tyhjiökammiossa pinnoitettavien kappaleiden pintaan ja muodostavat pinnoitteen. /26, 128/. Kuviossa 12 on esitettyä höyrystysprosessi (**Kuvio 12.**). /26, 129/



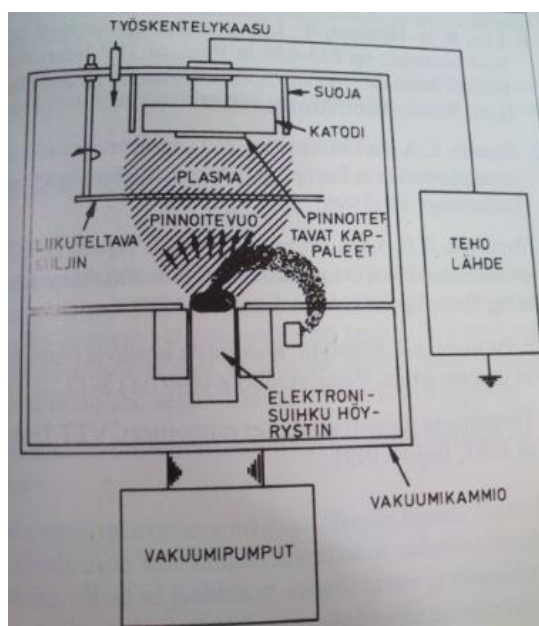
**Kuvio 12.** Höyrystysprosessin periaatekuva. /26, 129/

Sputteroinnissa pinnoitemateriaali irrotetaan pommittamalla sitä jalokaasuioneilla sähkökentän katodina olevasta kohtiosta. Pinnoite aikaansaadaan asettamalla pinnoitettava kappale sputterointikohdan lähelle, jolloin ionipommituksessa irronneet atomit ja atomikertymät iskeytyvät kappaleen pintaan. Pinnoituskammion paine vaihtelee menetelmien välillä 0,01 – 1 Pa. Pinnoitteen tarttuvuus on hyvä, koska pinnoitettavat kappaleet voidaan puhdistaa tyhjiökammiossa ennen pinnoitusta. /26, 130/ Kuviossa 13 on esitettyä sputterointi – prosessi (**Kuvio 13.**) /26, 130/



**Kuvio 13.** Sputterointi – prosessin periaatekuva. /26, 130/

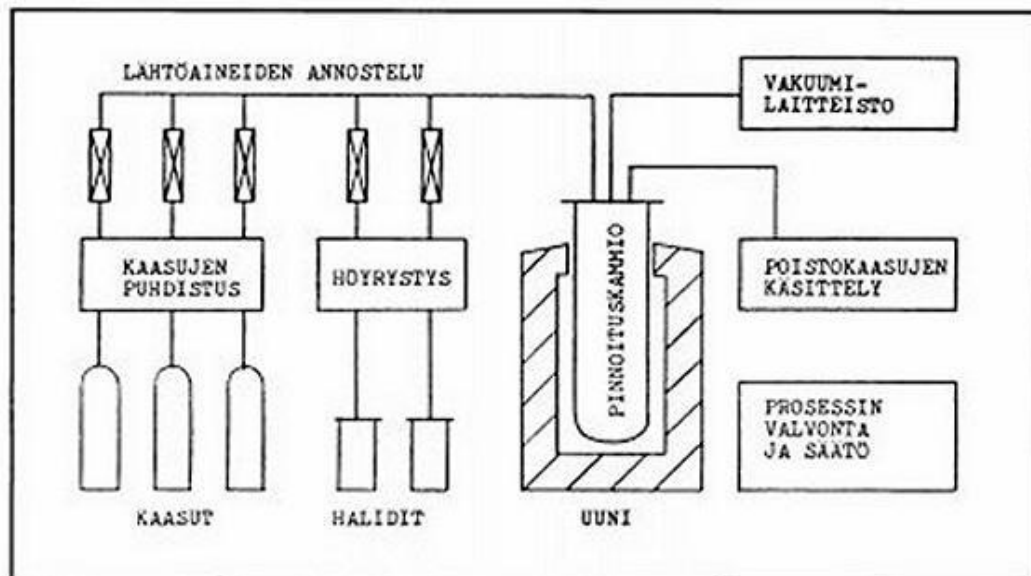
Ionipäällystyks on menetelmänä hyvin samanlainen kuin sputterointi. Erona sputterointiin on, että ionipäällystyksessä pinnoitettavat kappaleet ovat sähkökentän katodin pinnalla. Sputteroinnissa pinnoitemateriaalit ovat katodina. Pinnoitemateriaali irrotetaan höyrystyslähteestä tai sputterointikohtiosta. Pinnoiteatomit kulkevat ionisoidun kaasupurkauksen läpi, ennen kun ne törmäävät pinnoitettavan kappaleen pinnalle. Kaasupurkauksen jalokaasuionit puhdistavat ja tiivistävät syntyvää pinnoitetta, tällä aikaansaadaan hyvä tarttuvuus. /26, 131/ Kuviossa 14 on esitettyä ionipäällystysprosessi (**Kuvio 14.**) /26, 131/



**Kuvio 14.** Ionipäällystysprosessin periaatekuva. /26, 131/

### 7.1.2 Kemiallinen kaasufaasipinnoitus CVD (Chemical vapour deposition)

Kemiallisissa menetelmissä pinnoitteen muodostuminen kaasufaasissa tapahtuu kemiallisen reaktion välityksellä /26,125/. Pinnoitus tapahtuu tiiviissä uunikammiossa yleensä 800 – 1100 °C:n lämpötilassa. Varsinainen pinnoitusaika vaihtelee 0,5 – 3 tuntiin riippuen pinnoitteesta, pinnoitepaksuudesta ja pinnoitettavan kappaleen materiaalista. Kuviossa 15 on esitettyä CVD-pinnoituslaitteisto. (**Kuvio 15.**) /19/.



**Kuvio 15.** CVD – laitteisto. /19/.

Pinnoitus syntyy useiden eri kemiallisten reaktioiden tuloksena, mutta käytännössä pinnoitus tapahtuu seuraavasti:

1. Pinnoitettavat kappaleet puhdistetaan liasta ja rasvasta.
2. Kappaleet asetetaan pinnoitustelineeseen ja teline lasketaan pinnoituskammioon.
3. Kammio suljetaan, jonka jälkeen se huuhdellaan tyellä. Huuhtelun jälkeen kammio siirretään esilämmitettyyn uuniin ja kappaleet kuumennetaan pinnoituslämpötilaansa suojakaasussa. Suojakaasun tehtävänä on estää pinnan hapettuminen ja hiilikato ennen pinnoitusvaihetta.
4. Pinnoituslämpötilassa kammion läpi puhalletaan pinnoitteen muodostavaa kaasuseosta.
5. Oikean käsittelyajan jälkeen kappaleet otetaan pois uunista ja ne lämpökäsitellään (karkaisu ja päästö) suojakaasussa. Ennen pinnoitusta lämpökäsitellyissä kappaleissa lämpökäsittely suoritetaan uudelleen käyttäen samoja lämpökäsittelyarvoja. /19/.

Koska pinnoituslämpötila on suuri, ovat CVD – pinnoitteet rakenteeltaan tiiviitä ja mekaanisesti lujia. Pinnoitteiden peittokyky on hyvä ja pinnoite muodostuu ta-



sapaksuksi kerrokseksi myös monimutkaiselle kappaleelle. Pinnoite soveltuu myös pienten reikien pinnoitukseen. /26, 125/.

CVD – menetelmän suurimpana haittana pidetään kuitenkin pinnoitusprosessin edellyttämää suurta pinnoituslämpötilaa. Suuri lämpötila voi aiheuttaa pinnoitettavissa kappaleissa haitallisia mikrorakenteen muutoksia, sekä mittamuutoksia. Tämä rajoittaa suuresti pinnoittamiseen soveltuvien materiaalien määrää. /26, 125/.

## **7.2 Diarc – pinnoitus**

Diarc pinnoitus on PVD – menetelmästä DIARC Oy:n kehittämä hiiliplasma – PVD – menetelmä. Menetelmässä kiinteästä pinnoitemateriaalista muodostetaan valokaaripurkauksen avulla plasmaa, joka kiihdytetään suureen liikenopeuteen ja törmäytetään tyhjiökammiossa oleviin kappaleisiin. Menetelmällä kappaleisiin saadaan tiivis ja tasainen pinnoitekerros, joka pysyy erinomaisesti kiinni perusaineessa. /21/.

Pinnoitus tapahtuu alle 100 °C lämpötilassa, minkä vuoksi se soveltuu monille materiaaleille. Pinnoite on erittäin kova ja kestävä ja sen kulumisen kestävyys esimerkiksi karkaistuun teräkseen verrattuna on noin tuhatkertainen. /21/.

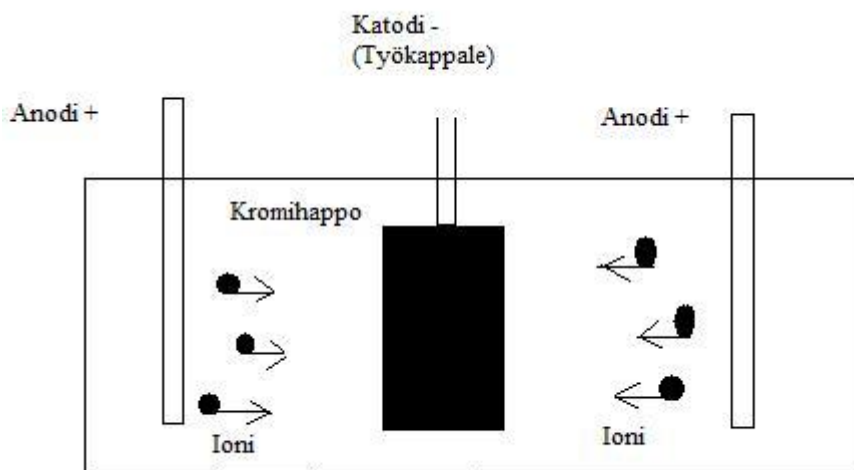
## **7.3 Kovakromaus**

Kovakromaus on elektrolyyttinen pinnoitusmenetelmä, jossa pinnoitettavan kappaleen pintaan aikaansaadaan kromikerros kromihappoliuoksessa tapahtuvan elektrolyysin avulla. Kovakromi saostetaan suoraan kromattavan kappaleen pintaan ilman välipinnoitteita. Kovakromaukseen soveltuvat kupari- ja alumiiniseokset, kaikki tavalliset rakenneteräkset ja useimmat työkaluteräkset /20/. Kovakromipinnoitteen paksuus voi vaihdella suuresti välillä 2 – 500 µm riippuen kappaleesta ja sen käyttötarkoituksesta. Kovakromauksessa on kaksi käyttötarkoituksen mukaista suoritustapaa:

- Pinnoite hiotaan kromauksen jälkeen tarkkaan mittaansa, jolloin kappaleet kromataan ylimittaan ja tämän jälkeen hiotaan vaaditun mitan mukaan.

- Pinnoitetta ei jälkihiota, jolloin pinnoitteen on oltava mahdollisimman kiiltävä ja sileä kromauksen jälkeen. Lisäksi kappaleen on pysyttävä annetussa toleransseissa myös kovakromauksen jälkeen. /12, 65/

Kuviossa 16 on yksikertainen esitys kromaustapahtumasta. **(Kuvio 16.)** /20/.



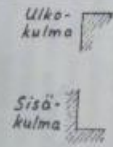
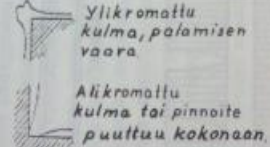
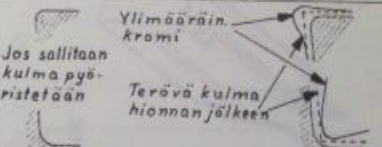
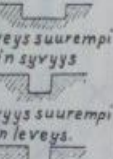
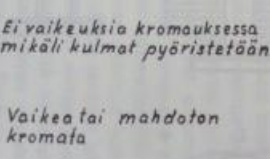


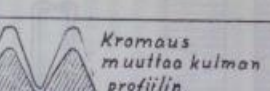
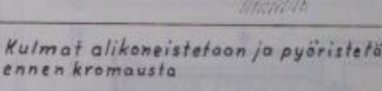
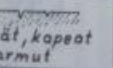
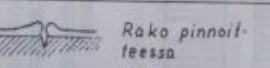
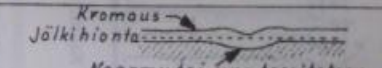
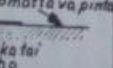
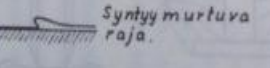
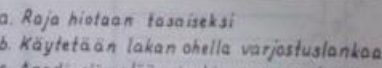
**Kuvio 16.** Kovakromauksen periaate. /20/.

Kovakromipinnoite korostaa kaikki pinnan epätasaisuudet, joten pinnoitettavan pinnan on oltava mahdollisimman sileä ja kiiltävä ennen kromauksen suorittamista. Kaikki terävät hionnassa ja koneistuksessa syntyneet särämät ja pintanaarmut on pyöristettävä, varsinkin niissä tapauksissa, joissa jälkihiontaa ei suoriteta ja joissa kappaleelta vaaditaan erittäin sileää tai jopa peilipintaa. /12, 66/.

Kovakromauksen etuna on paitsi kestävyys, niin myös liukuominaisuuksien parantaminen. Siksi sitä käytetäänkin erilaisissa muokkaus-, veto-, puristus- ja valssaustyökaluissa. Ennen kromausta on kappaleille suoritettava asianmukainen lämpökäsittely, sillä edellä luetellut työkalut joutuvat suuren rasituksen alaisiksi ja jos perusmateriaalin pinta antaa periksi, murtuu kovakromipinnoite. /12, 78/.

Kovakromauksen ongelmallisena puolena pidetään kromikylvyn huonoa peitto- ja levityskykyä. Se asettaa kappaleen muodolle ja kromikylpyyn ripustamiselle omat vaatimuksensa. Taulukossa 7 on esitettyä kappaleen muodon vaikutukset kromipinnoitteen jakaantumiseen **(Taulukko 7.)** /12, 67/

**Taulukko 7.** Kromipinnoitteen jakaantuminen kappaleen eri muodoissa. /12, 67/

	Pinnan profiili	Profiilin vaikutus kromauksessa	Suotava profiilin muutos ennen kromausta ja hiointa kromauksen jälkeen
Terävä kulma		 <p>Ylikromattu kulma, palamisen vaara</p> <p>Alikromattu kulma tai pinnoite puuttuu kokonaan.</p>	 <p>Ylimääräinen kromi</p> <p>Jos sallitaan kulma pyöristetään</p> <p>Terävä kulma hiinnan jälkeen</p>
Syvennykset		 <p>Ei vaikeuksia kromauksessa mikäli kulmat pyöristetään</p> <p>Vaikea tai mahdoton kromata</p>	 <p>Koneistettuna</p> <p>Pinnoitettuna</p> <p>Kromi puuttuu</p>
Hampaat		 <p>Kromaus muuttaa kulman profiilin.</p>	 <p>Kulmat alikoneistetaan ja pyöristetään ennen kromausta</p>
Pinta-virheet		 <p>Rako pinnoitteessa</p>	 <p>Kromaus</p> <p>Jälkihiointa</p> <p>Naarmu tai ura tasoitetaan</p>
Rajat		 <p>Syntyy murtuva raja.</p>	 <p>a. Raja hiotaan tasaiseksi</p> <p>b. Käytetään lakan ohella varjostuslankaa</p> <p>c. Anodi siirretään jonkin verran oikealle</p>

Koska kovakromikerros halutaan mahdollisimman tasaisesti koko kappaleen pinnalle, käytetään kromikylvyn virrantiheyden ohjaamiseen erilaisia muotoanodeja ja varjostamista. Kovakromauksessa käytettävä virrantiheys on yleensä suuri, tämän vuoksi on olemassa vaara, että paikat jotka vetävät enemmän virtaviivoja puoleensa tulevat ylikromatuiksi. Tällaisia paikkoja ovat terävät särmät, kappaleen ulkonevat osat ja päät. Varjostetuissa paikoissa, kuten terävät sisäkulmat, saattaa pinnoite muodostua liian ohueksi, tai pahimmassa tapauksessa puuttua kokonaan. Varjostettuja paikkoja ei usein voida kromata ilman muotoanodia. /12, 66, 69/

## **8 KIILLOTUSMENETELMIEN VALINTA JA TESTAUS**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

### **8.1 Kiillotuksen vaatimukset**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

### **8.2 Testattavien kiillotusmenetelmien valinta**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

### **8.3 Kiillotusmenetelmien testaus**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

## **9 PINNOITTEIDEN VALINTA JA TESTAUS**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi

### **9.1 Pinnoitteen vaatimukset**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

### **9.2 Pinnoitteiden valinta**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

### **9.3 Testattavat pinnoitteet**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

### **9.4 Testipuikkojen laatutestaus**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

### **9.5 Pinnoitettavat työkalut ja niiden testaus**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

## **10 TULOKSET**

Ei julkaista liikesalaisuuksien suojaamiseksi.

## 11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön toimeksiantajan näkökulmasta voidaan katsoa työn tavoitteiden onnistuneen hyvin. Tavoitteena oli kartoittaa ja testata uusia mahdollisia kiillotus- ja pinnoitusmenetelmiä sekä pinnoitteita, patruunavalmistustyökalujen valmistuksessa, nykyisin käytössä olevien menetelmien tilalle.

Työn aihealue ei ollut minulle ennestään tuttu, eikä viimeistelymenetelmistä ollut juurikaan aikaisempaa kokemusta, tämä teki opinnäytetyöstä mielestäni sopivan haastavan ja mielenkiintoisen. Omasta näkökulmastani voin todeta, että opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin, vaikka kaikkia pinnoitettuja työkaluja ei saatukaan testattua tuotantosuunnitelman muutoksien vuoksi. Eikä kiillotusmenetelmiä saatu testattua työkaluilla, joilla oltaisiin voitu katsoa automatisoidun kiillotusmenetelmän antavan suurempaa etua. Katson kuitenkin, että yritys hyötyi tästä työstä ja voi käyttää työn tuloksia ja siinä tehtyjä havaintoja hyödyksi myös tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

- /1/. Bodycote. Tribobond. Viitattu 27.3.2013.  
<http://www.bodycote.fi/fi/PDF/Ionbond%20tuoteohjelma.pdf>
- /2/. DIARC. Koneenosapinnoitus. Viitattu 27.3.2013.  
<http://www.diarc.fi/fi/machine.html>
- /3/. Drag-finishing. Technical reports. Viitattu 25.3.2013.  
<http://www.otec.de/en/technical-reports/drag-finishing.html#c5727>
- /4/. Euro inox. Ruostumattomien terästen elektrolyttinen kiillotus. 2013. Materiaalit ja niiden käyttösovellukset julkaisusarja, osa 1. Viitattu 14.03.2013.  
[http://www.euro-inox.org/pdf/map/Electropolishing\\_FI.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/Electropolishing_FI.pdf)
- /5/. Felix, C. Europe provides cleaning preview. 2013. Viitattu 25.3.2013.  
<http://www.productionmachining.com/articles/europe-provides-cleaning-preview>
- /6/. Finest finishing – SECKLER deburo magnetfinish. Viitattu 26.3.2013.  
[http://www.seckler.ch/files/SECKLER\\_Broschueren\\_2011/SECKLER\\_deburo-magnetfinish\\_E.pdf](http://www.seckler.ch/files/SECKLER_Broschueren_2011/SECKLER_deburo-magnetfinish_E.pdf)
- /7/. Forsell, T. 2013. Myyntipäällikkö. OERLIKON BALZERS. Puhelinkeskustelu 6.2.2013.
- /8/. Historia Lapua. Viitattu 26.02.2013. <http://www.lapua.com/fi/lapua--/lapuan-historia.html>
- /9/. KME. CuzN10. Viitattu 20.3.2013.  
[http://www.kme.com/assets/uploads/files/datasheet/ri/mds\\_kme\\_310\\_cuzn10\\_engengl.pdf](http://www.kme.com/assets/uploads/files/datasheet/ri/mds_kme_310_cuzn10_engengl.pdf)
- /10/. KME. CuzN28. Viitattu 20.3.2013.  
[http://www.kme.com/assets/uploads/files/datasheet/ri/mds\\_kme\\_328\\_cuzn28\\_engengl.pdf](http://www.kme.com/assets/uploads/files/datasheet/ri/mds_kme_328_cuzn28_engengl.pdf)



- /11/. KME. CuzN5. Viitattu 20.3.2013.  
[http://www.kme.com/assets/uploads/files/datasheet/ri/mds\\_kme\\_305\\_cuzn5\\_english.pdf](http://www.kme.com/assets/uploads/files/datasheet/ri/mds_kme_305_cuzn5_english.pdf)
- /12/. Komusaari, H., Suosalmi, T. 1976. Kromaus. Suomen galvanotekninen Yhdistys.
- /13/. Kovametalli. Viitattu 05.03.2013. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kovametalli>
- /14/. Kovametallilaatuja. Viitattu 05.03.2013. <http://www.kovametalli-in.fi/Pages/Kovametallilaatuja.aspx>
- /15/. Kovametallin ominaisuudet. Viitattu 05.03.2013. <http://www.kovametalli-in.fi/Pages/Kovametallinominaisuudet.aspx>
- /16/. Laser polishing is faster than hand polishing. Viitattu 15.03.2013.  
[http://www.engineerlive.com/Design-Engineer/Time\\_Compression/Laser\\_polishing\\_is\\_faster\\_than\\_hand\\_polishing/22194/](http://www.engineerlive.com/Design-Engineer/Time_Compression/Laser_polishing_is_faster_than_hand_polishing/22194/)
- /17/. Magnetfinish. Process. Viitattu 25.3.2013.  
<http://www.magnetfinish.com/results.html>
- /18/. OERLIKON BALZERS. Coating guide. Balinit Hard carbon. 2013. Viitattu 27.3.2013. <http://www.coating-guide.balzers.com/web/en/application/cutting/coating-summary/HC>
- /19/. Ristolainen, H. CVD- ja diffuusiopinnoitteet teollisuuden kunnossapidossa esitelmä. Viitattu 08.03.2013. <http://www.finn-cvd.fi/esitys2.html>
- /20/. Saviranta, E. Brukens OY. Kovakromaus – laajat käyttömahdollisuudet.
- /21/. Tervakangas, S. 2013. Research Manager. DIARC. Sähköpostiviestit 4.2.2013 ja 2.4.2013 . Viitattu 2.4.2013

- /22/. Tikka, H. Muotin kiillotus. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 19.03.2013.  
[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/machining\\_surface\\_finishing\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/machining_surface_finishing_FI.pdf)
- /23/. Toimipisteet Nammo Lapua OY Lapua. Viitattu 26.02.2013.  
<http://www.lapua.com/fi/lapua--/toimipisteet/lapua----.html>
- /24/. Toimipisteet Nammo Lapua OY Schönebeck. Viitattu 26.02.2013.  
<http://www.lapua.com/fi/lapua--/toimipisteet/schonebeck-.html>
- /25/. Tribobond. Coating portfolio. Viitattu 27.3.2013.  
<http://www.ionbond.com/coating-services/components/tribobondtm-coating-portfolio/>
- /26/. Tunturi, P & Tunturi, P. 1999. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Metalliteollisuuden keskusliitto MET.
- /27/. Tuohiluoma, P. Managing Director. JR-Group. Palaveri 21.3.2013.
- /28/. Uddeholm teräkset. Arne. Viitattu 04.03.2013.  
[http://www.uddeholm.fi/finnish/files/uddeholm\\_arne.pdf](http://www.uddeholm.fi/finnish/files/uddeholm_arne.pdf)
- /29/. Uddeholm teräkset. Calmax. Viitattu 05.03.2013.  
[http://www.uddeholm.fi/finnish/files/uddeholm\\_calmax.pdf](http://www.uddeholm.fi/finnish/files/uddeholm_calmax.pdf)
- /30/. Uddeholm teräkset. Vanadis 23. Viitattu 05.03.2013.  
[http://www.uddeholm.fi/finnish/files/uddeholm\\_vanadis\\_23.pdf](http://www.uddeholm.fi/finnish/files/uddeholm_vanadis_23.pdf)
- /31/. Uddeholmin teräkset kylmätyöstöön. Käyttökohdeopas. Viitattu 28.02.2013.  
[http://www.uddeholm.fi/finnish/files/kylmatyoterakset\\_kayttokohdeopas.pdf](http://www.uddeholm.fi/finnish/files/kylmatyoterakset_kayttokohdeopas.pdf)
- /32/. Vapormatt. Edge -honing, -polishing, -cleaning. Viitattu 25.3.2013.  
[http://www.vapormatt.com/New\\_PDFs/Edge\\_Honing\\_Polishing\\_Cleaning\\_Brochure.pdf](http://www.vapormatt.com/New_PDFs/Edge_Honing_Polishing_Cleaning_Brochure.pdf)

/33/. Wet blast cleaning systems. Process. Viitattu 25.3.2013. <http://www.graf-technik.de/en/products/wet-blast-cleaning-systems>

# LIITE 1

**Hardness Conversion Table approx. HV – HRC and HRC-HV-HB-HRA-HRB-Rm for carbon / alloy steels. In accordance with Table in ASTM A 370 – 03a**

HV	HRC	HV	HRC	HV	HRC	HV	HRC	HV	HRC
2270	85	1950	81	1633	77	1323	73	1004	69
2190	84	1865	80	1556	76	1245	72	940	68
2110	83	1787	79	1478	75	1160	71	920	67,5
2030	82	1710	78	1400	74	1076	70	900	67

HRC Diamond penetrator	HV Vickers 30	HB Brinell 3000 Kgf	HRA Diamond penetrator	Rm N/mm <sup>2</sup> MPa	HRB Ball 1/16"	HV Vickers 30	HB Brinell 3000 Kgf	HRA Diamond penetrator	Rm N/mm <sup>2</sup> MPa
68	940	--	85.6	--	100	240	240	61.5	800
67	900	--	85.0	--	99	234	234	60.9	785
66	865	--	84.5	--	98	228	228	60.2	760
65	832	739	83.9	--	97	222	222	59.5	715
64	800	722	83.4	--	96	216	216	58.9	705
63	772	706	82.8	--	95	210	210	58.3	690
62	746	688	82.3	--	94	205	205	57.6	675
61	720	670	81.8	--	93	200	200	57.0	650
60	697	654	81.2	--	92	195	195	56.4	635
59	674	634	80.7	2420	91	190	190	55.8	620
58	653	615	80.1	2330	90	185	185	55.2	615
57	633	595	79.6	2240	89	180	180	54.6	605
56	613	577	79.0	2160	88	176	176	54.0	590
55	595	560	78.5	2070	87	172	172	53.4	580
54	577	543	78.0	2010	86	169	169	52.8	570
53	560	525	77.4	1950	85	165	165	52.3	565
52	544	512	76.8	1890	84	162	162	51.7	560
51	528	496	76.3	1820	83	159	159	51.1	550
50	513	482	75.9	1760	82	156	156	50.6	530
49	498	468	75.2	1700	81	153	153	50.0	505
48	484	455	74.7	1640	80	150	150	49.5	495
47	471	442	74.1	1580	79	147	147	48.9	485
46	458	432	73.6	1520	78	144	144	48.4	475
45	446	421	73.1	1480	77	141	141	47.9	470
44	434	409	72.5	1430	76	139	139	47.3	460
43	423	400	72.0	1390	75	137	137	46.8	455
42	412	390	71.5	1340	74	135	135	46.3	450
41	402	381	70.9	1300	73	132	132	45.8	440
40	392	371	70.4	1250	72	130	130	45.3	435
39	382	362	69.9	1220	71	127	127	44.8	425
38	372	353	69.4	1180	70	125	125	44.3	420
37	363	344	68.9	1140	69	123	123	43.8	415
36	354	336	68.4	1110	68	121	121	43.3	405
35	345	327	67.9	1080	67	119	119	42.8	400
34	336	319	67.4	1050	66	117	117	42.3	395
33	327	311	66.8	1030	65	116	116	41.8	385
32	318	301	66.3	1010	64	114	114	41.4	--
31	310	294	65.8	970	63	112	112	40.9	--
30	302	286	65.3	950	62	110	110	40.4	370
29	294	279	64.6	930	61	108	108	40.0	--
28	286	271	64.3	900	60	107	107	39.5	--
27	279	264	63.8	890	59	106	106	39.0	360
26	272	258	63.3	860	58	104	104	38.6	--
25	266	253	62.8	850	57	103	103	38.1	350
24	260	247	62.4	820	56	101	101	37.7	--
23	254	243	62.0	810	55	100	100	37.2	340
22	248	237	61.5	790	54	--	--	36.8	--
21	243	231	61.0	770	51	--	94	35.5	330
20	238	226	60.5	760	49	--	92	34.6	320

Values shown in bold fall outside the ASTM table but they are still reliable

Values shown in italics are due to passage from table 2 to table 3 of ASTM A 370

Rockwell Hardness	HRC diamond penetrator 120° load 1470 N (150 kgf) duration 30 seconds	Rockwell Hardness	HRA diamond penetrator load 588 N (60 kgf) duration 30 seconds
Vickers Hardness	HV diamond penetrator 136° load 294 N (30 kgf) duration 15 seconds	Rockwell Hardness	HRB ball 1/16" load 980 N (100 kgf) duration 30 seconds
Brinell Hardness	HB ball 10 mm load 29,400N (3000 kgf) durata 15 seconds	Tensile strength	Rm N/mm <sup>2</sup> (Mpa)

# LIITE 2

