

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2022

Reko Laine

KOVAMETALLIPURISTEEN KUTISTUMAN TUTKIMINEN

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotanto tekniikka

2022 | 30 sivua, 4 liitesivua

Reko Laine

KOVAMETALLIPURISTEEN KUTISTUMAN TUTKIMINEN

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tutkimus kovametallipuristeiden kutistumasta Turvanasta Oy:lle. Tutkimustulosten oli tarkoitus toimia uusien tuotteiden työkalujen suunnittelun ohjearvoina, sillä aiemmin työkalut valmistettiin alihankintana ja nyt uusien investointien ansiosta Turvanastalla on kyvykyys itse valmistaa työkalut.

Opinnäytetyössä esitellään yritys Turvanasta Oy ja käydään läpi syitä, minkä takia kyseiselle tutkimukselle oli tarvetta. Opinnäytetyössä käydään teoriapohjaisesti läpi mitä kovametalli on, miten se valmistetaan ja mihin sitä käytetään. Lopuksi käydään läpi itse tutkimuksen suunnittelu, tekeminen ja tulosten analysointi.

Tuloksena asiakas sai tutkimuksen, jossa selviää miten erimuotoiset kovametallipuristeet kutistuvat ja miten puristuspaine vaikuttaa myös kutistumaan. Asiakas pystyy hyödyntämään tutkimusta uusien tuotteiden työkalujen suunnittelussa, jonka ansiosta tuotekehityksen läpimenoaika ja kustannukset pienenevät.

ASIASANAT:

Jauhemetallurgia, kovametalli, tuotekehitys, tutkimus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Product Engineering

2022 | 30 pages, 4 appendices

Reko Laine

RESEARCH FOR SHRINKAGE OF HARD METAL PRESSINGS

The purpose of this thesis was to research the shrinkage of hard metal pressings for Turvanasta Ltd. The research results were supposed to work as guidelines when designing new product tooling. Previously tooling was made by a subcontractor, but thanks to new investment, Turvanasta can now manufacture the tools in-house.

This thesis introduces the company and why there was a need for the research. The theoretical part explains what hard metal is, how it is made and what it is used for. Finally, the planning and analysis of the results of the study itself are reviewed.

As a result of the project the client received research, which shows how different shaped hard metal pressings shrink and how the pressing force affects shrinkage. The client can utilize the research in the design of tools for new products, so product development lead times and costs are reduced.

KEYWORDS:

Powder metallurgy, hard metal, product development, research

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	1
2 TAUSTA	2
2.1 Turvanasta Oy	2
2.2 Turvanastan historia	2
3 KOVAMETALLI	4
3.1 Kovametallien jaottelu	7
3.2 Kovametallin valmistusprosessi	9
3.2.1 W ja C sekoitus	10
3.2.2 Karburointi	10
3.2.3 WC-Co jauhatus	10
3.2.4 Kuivaus ja granulointi	11
3.2.5 Kompaktointi	12
3.2.6 Sintraus	13
3.2.7 Rakennevirheet	14
3.2.8 Jälkikäsittely	14
3.3 Kierrätys kovametalli	15
3.4 Kovametallin käyttö ajoneuvon talvirenkaissa	17
4 KUTISTUMAN TUTKIMINEN	18
4.1 Mittaussuunnitelma	18
4.2 Sintrauslevyt	19
4.3 Puristeiden valmistus	20
4.4 Mittaaminen ja tulosten kirjaaminen	21
4.4 Tulokset ja pohdinta	21
5 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24

LIITTEET

Liite 1. Esimerkkimittauspöytäkirja

KUVAT

Kuva 1. (Global tungsten & powder 2020).	4
Kuva 2. Eri kovametallilaatujen käyttökohteita (Turvanasta 2020).	5
Kuva 3. Kovametallin rakenne. Tummat rakeet ovat karbideja ja vaaleat alueet sidosaineita (Kovametalli-in 2020b).	6
Kuva 4. Kovametallin valmistusprosessi (Kovametalli-in 2020a).	9
Kuva 5. V-mikseri (Bkbackgroup 2020).	10
Kuva 6. Oikealla spraykuivattu ja vasemmalla rummutettu (Turvanasta 2020)	11
Kuva 7. Kovametallinen teräpala sinkkiprosessin aikana (Tikomet 2021).	16
Kuva 8. Nasta (Turvanasta 2021b).	17
Kuva 9. Mittaus suunnitelma.	18
Kuva 10. Sintrauslevyn 3D malli.	19
Kuva 11. Sintrauslevy.	20
Kuva 12. Kutistuma.	21

TAULUKOT

Taulukko 1. Karbidit ja sidosaineet	5
-------------------------------------	---

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Jauhemetallurgia	Prosessi, jossa pulverimateriaaleja puristetaan haluttuun muotoon ja tämän jälkeen sintrataan, jonka jälkeen se saavuttaa halutut ominaisuudet. (Black & Kosher 2011, 481)
Kovametalli	Metallikomposiitti, joka on valmistettu jauhemetallurgisesti. Kovametalli koostuu kulutuskestävästä metallikarbidista ja sidosaineesta.
W	Volframi
C	Hiili
WC	Volframikarbidi
Co	Koboltti
p-%	Massaprosentti
t-%	Tilavuusprosentti

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä tutkimus kovametallipuristeiden kutistumasta Turvanasta Oy:lle. Tutkimustulosten oli tarkoitus toimia uusien tuotteiden työkalujen suunnittelun ohjearvoina, koska aiemmin työkalut valmistettiin alihankintana ja nyt uusien investointien ansiosta Turvanastalla on kyvykkyys itse valmistaa työkalut.

Aiemmin kun työkalut valmistettiin alihankintana, alihankkija on myös itse suunnitellut työkalujen mitoitukset, joilla saatiin Turvanastan vaatima loppukappale aikaiseksi. Jos työkaluilla ei saatu haluttua lopputulemaa, ne voitiin reklamoida ja korjata uudelleen, mutta ajallinen menetys oli huomattava, työkalujen toimitusaika on 8–12 viikkoa ja tämä on suoraan merkittävä viivästys tuotekehitysprojektille.

Turvanastan investoitua omaan työkaluosastoon, tuli myös tarve omalle työkalusuunnittelulle, jolloin kovametallin tarkemmalle kutistuman selvittämiseksi oli tarvetta. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia miten erimuotoiset kovametallipuristeet kutistuvat, kutistuvatko ne pituuden sekä halkaisijamittojen osalta tasaisesti vai onko siellä vaihtelua ja mikä siihen voisi mahdollisesti vaikuttaa. Aluksi opinnäytetyössä valittiin, millaisten tuotteiden kutistumaa lähdetään selvittämään ja sen pohjalta laadittiin testaussuunnitelma miten työssä edetään. Lopuksi tulokset analysointiin, joiden pohjalta laadittiin ohjesääntö työkalusuunnittelulle.

2 TAUSTA

2.1 Turvanasta Oy

Turvanasta Oy sijaitsee kahdessa eri toimipisteessä, Turussa ja Paraisilla. Turun toimipisteellä on pääkonttori, tuotekehitysyksikkö, työkaluyksikkö, koneenrakennusyksikkö ja tuotantoyksikkö. Nämä yksiköt ovat vuorovaikutuksessa päivittäin, mikä mahdollistaa uusien tuotteiden valmistettavuuden ja laadun. Työkalu- ja koneenrakennusyksiköillä on tärkeä rooli ketteryyden ja tarkkuuden takaamisessa. (Turvanasta 2021a.)

Paraisten toimipisteellä toimii kylmämuovausyksikkö. Se on varustettu uusimmalla teknologialla ja sen avulla voidaan valmistaa monimutkaisempia ja pitkälle räätälöityjä tuotteita. (Turvanasta 2021a.)

Nykyään Turvanastan tuotantokapasiteetti on 1,5 miljardia nastaa vuosittain. Kilpailukyyn lisäämiseksi Turvanasta on investoinut voimakkaasti automaatioon. (Turvanasta 2021a.)

Turvanasta Oy on yritys, joka valmistaa ajoneuvojen nastoja ja samalla se on yli miljardin nastan vuosituotannolla maailman suurin nastojen valmistaja. (Turvanasta 2021a.)

2.2 Turvanastan historia

Turvanasta historia sai alkuunsa jo 1960-luvulla, jolloin Martti Salakari aloitti talvirenkaiden nastojen kehittämisen. Tekemisessä ja tuotekehityksessä ennustettiin liikenteen suurta kasvua. Talvisissa keleissä tämä tarkoitti kasvavaa tarvetta asioille, jotka parantavat autoilijoiden turvallisuutta. Tässä vaiheessa yritystä ei tunnettu vielä Turvanastana, mutta turvallisuus oli jo tällöin kaiken tekemisen keskipisteessä. (Yrittäjät 2021.)

Vuonna 1974, vain vuosikymmen nastojen tuotekehitystyön alettua, Martti Salakari menehtyi odottamatta ja hänen poikansa Heikki Salakari ryhtyi vetämään yritystä. Perustamansa yritys jatkoi kehitystyötä ja saavutti vuosien varrella suuren teknisen osaamisen. Tällä hetkellä Turvanasta Oy:n toimitusjohtajana toimii Mikko Salakari, joka on Heikin poika. (Yrittäjät 2021.)

Heikki Salakarin johdossa tuotekehityksen tärkeäksi asiaksi muodostui vaikeissa sääolosuhteissa suoritettavat ajotestit. Testeistä saadut tulokset täydensivät teoriapuolen ymmärryksen tuotekehityksestä. Tien kuluminen oli keskustelun aiheen jo 1980-luvulla. Vuonna 1988 Heikki Salakari ja Neste Oyj perustivat Turvanasta Oy:n, jonka tehtävänä oli teiden kulumisen minimointi, nastojen tuotekehityksen avulla. (Yrittäjät 2021.)

Turvanastan ja Nesteen tiet erkaantuivat jo yli 20 vuotta sitten, mutta yhteisen historian vaikutus nastainnovaatioihin on ollut suuri. Ison yrityksen kanssa työskentely mahdollisti tuotekehityksen maailmanluokan tasolla. (Yrittäjät 2021.)

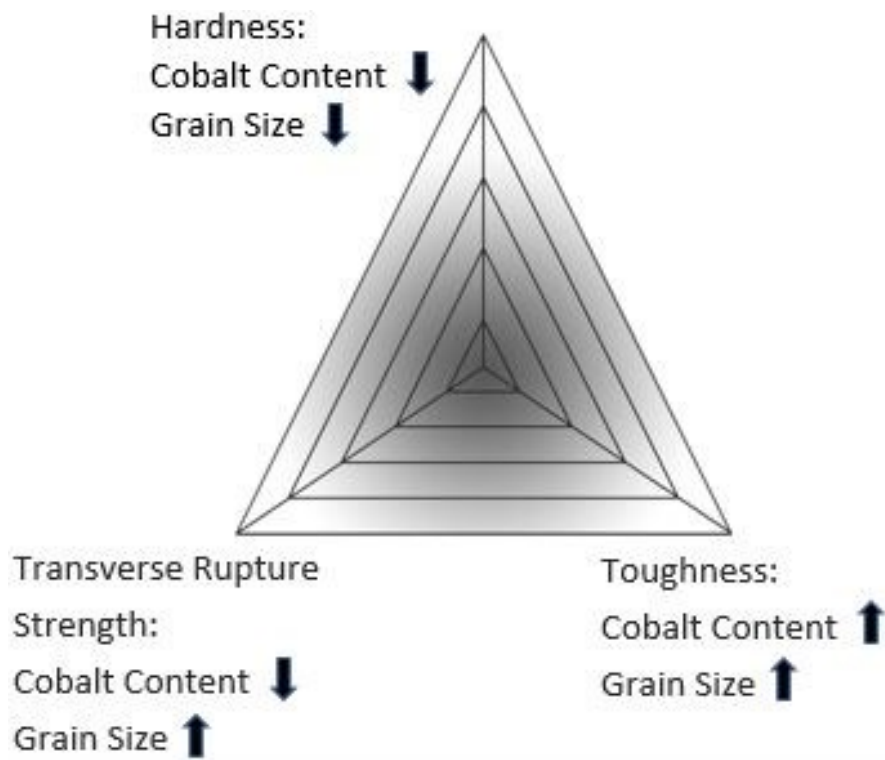
Vienti muodostaa yli 90 % Turvanastan myynnistä. Kansainvälistyminen tapahtui nopeasti ja useammat rengasvalmistajat maailmanlaajuisesti luottavat Turvanastan nastoihin. (Yrittäjät 2021.)

3 KOVAMETALLI

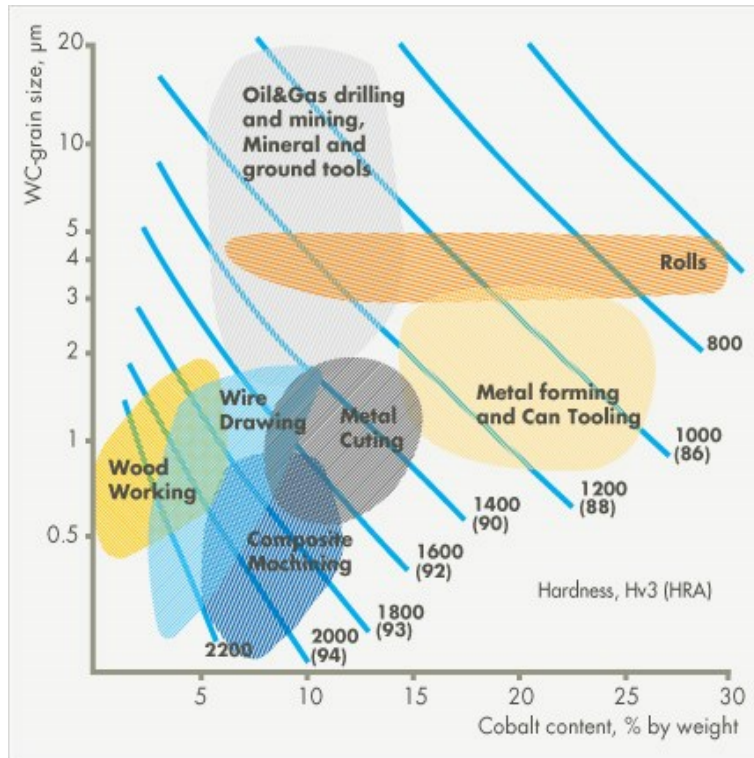
Kovametalli on metallikomposiitti, joka on valmistettu jauhemetallurgisesti. Kovametalli koostuu kulutuskestävästä metallikarbidista ja sidosaineesta. Yleisin käytettävä karbidi ja sidosaine pari on volframikarbidi (WC) ja koboltti (Co). Tämä WC-Co pulverisekoitus puristetaan haluttuun muotoon ja sintrataan, jotta se saavuttaa lopulliset ominaisuudet.

Koboltti tarjoaa sitkeyttä ja volframikarbidi puolestaan korkean kovuuden sekä kulutuskestävyyden. Niiden erinomaiset ominaisuudet ovat korkea puristuslujuus ja korkea jäykkyys, korkea sulamispiste, tyydyttävät mekaaniset ominaisuudet valituissa lämpötiloissa, kestävyys lämpöiskuille, hyvä korroosionkestävyys ja korkea lämmön- ja sähkönjohtavuus. (Dolid ym. 2018, 3.)

Kovametallissa käytettyjen karbidien raekoko ja sidosaineen määrällä voidaan säätää materiaaliominaisuuksia. Kuvassa 1. on kuvattu miten karbidin raekoko ja sidosaineen määrä vaikuttavat kovametallin ominaisuuksiin.



Kuva 1. (Global tungsten & powder 2020).

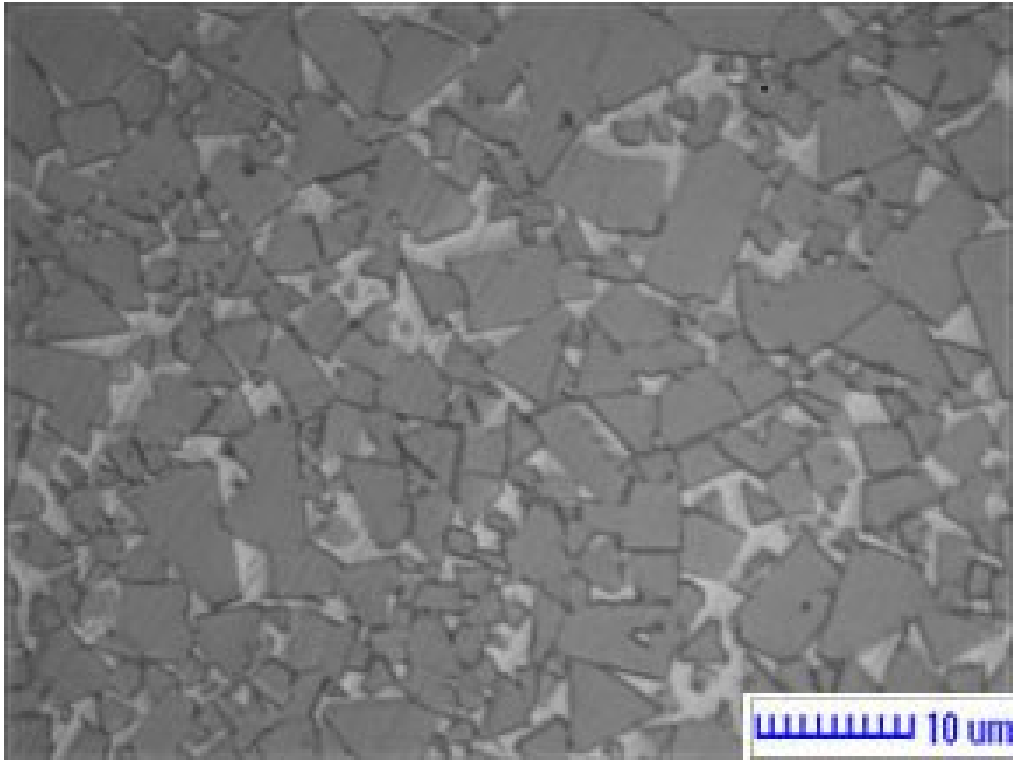


Kuva 2. Eri kovametallilaatujen käyttökohteita (Turvanasta 2020).

Yleisimmät käyttökohteet ovat kovaa kulutuskestävyyttä vaativat alueet, kuten kaivosteollisuudessa, eri metallien muovauksessa / lastuavassa työstössä, koroissa sekä ajoneuvojen liukusteissa eli nastoissa (Turvanasta 2020).

Karbidit		Sidosaineet	
Volframikarbidi	WC	Koboltti	Co
Titaanikarbidi	TiC	Nikkeli	Ni
Tantaalikarbidi	TaC		
Niobikarbidi	NbC		
Kromikarbidi	Cr ₃ C ₂		
Vanadiinikarbidi	VC		
Molybdeenikarbidi	Mo ₂ C		

Taulukko 1. Karbidit ja sidosaineet



Kuva 3. Kovametallin rakenne. Tummat rakeet ovat karbideja ja vaaleat alueet sidosaineita (Kovametalli-in 2020b).

3.1 Kovametallien jaottelu

Valetut

WC kiteitä eutektisessa Co, Ni ja/tai Fe matriisissa W_2C :n kanssa, lisäksi mahdollisesti pieniä määriä Mo-, Ta- ja Cr-karbideja. Hiilipitoisuudeltaan 3,5–4,5 p-% kovametalli sulatetaan 2900–3000°C:ssa ja valetaan grafiittimuottiin. Ominaisuudet riippuvat paljon jäähtymisnopeudesta. Valetulla kovametallilla on 1800-2300HV:n kovuus, mutta sitkeys on kuitenkin huono. Käyttö rajoittuu sovelluksiin, jossa vaaditaan hyvää kulumiskestoa ja korroosiokestävyyttä. (Turvanasta 2020.)

Sintratut

Valmistettu pulverimetallurgisesti. Pulverimetallurgia on tapa valmistaa metallisia ja epämetallisia jauheita sekä niistä kappaleita, joilla on haluttu muoto ja ominaisuudet. Kovafaasina WC, TiC, TaC, VC ja/tai Cr₃C₂. Sideaineena eli matriisina Co ja/tai Ni tai (Co-Cr, Ni-Cr), useimmiten Co johtuen sen hyvästä WC-kiteiden kostutuksesta. (Turvanasta 2020.)

- WC-Co
Määrällisesti suurin käyttö, joka johtuu hyvästä lujuudesta ja kulutuskestävyydestä alle 600°C:ssa. Vaihtelemalla WC:n raekokoa n. 0,1µm–20µm ja sideainepitoisuutta 3–30 %, ominaisuuksia saadaan muokattua laajalla skaalalla.
- WC- (TiC, TaC, NbC)-Co-kovametallit
Ti-, Ta- ja Nb-karbidien lisääminen parantaa korkealämpötilan ominaisuuksia, kuumakovuutta ja –lujuutta, vähentää hapettumista sekä hidastaa raudan diffuusiota kovametalliin. Käyttö on pääasiassa terästen työstössä, jossa leikkavalla särmällä lämpötila voi nousta yli 1000°C. Vähäistä käyttöä on myös lastuttomassa työstössä ja kulutusosissa.

- Kermetit
Komposiittimateriaali, joka kostuu keraamista ja metallista. Kovafaasina on WC:n lisäksi paljon TiC/TiN/Ti(C, N) ja Mo₂C. Myös muita nitridejä ja karbideja erilaisissa suhteissa. Kermettien kehityksen tarkoituksena on ollut parantaa sidefaasin kuumalujuutta. Käyttö sahoissa ja muissa juotettavissa työkaluissa paremman kulutuskestävyyden ja korroosio-ominaisuuksien vuoksi.
- Erikoiskovametallit
Esimerkiksi hyvin korroosiota kestävä Cr₂C₃-Ni tai vielä paremmin Cr₂C₃-(Ni-Cr), jota kutsutaan sintrattujen kovametallien ruostumattomaksi teräkseksi. Ei hapetu niin helposti kuin WC-Co. Kulutuskestävyys huonompi kuin WC-Co:lla, mutta paljon parempi kuin normaalilla ruostumattomalla metalliseoksella. Käyttö venttiilit, männät ja muut kemianteollisuudet sovellukset

Kovametallipäällyste

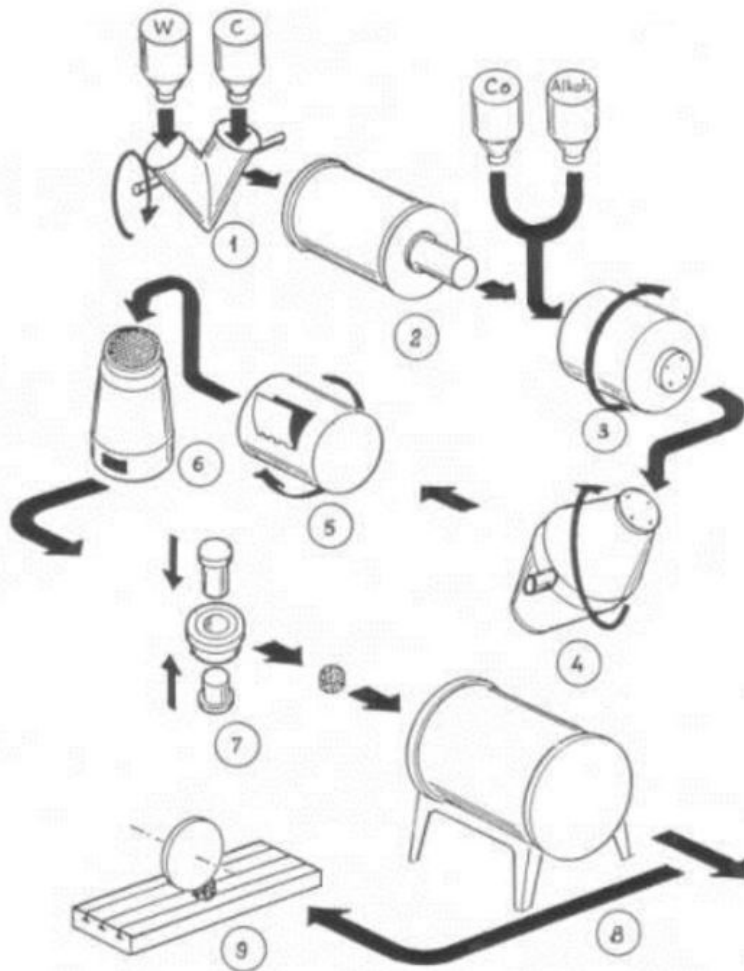
Kovametallia voidaan ruiskuttaa termisesti erilaisten kappaleiden pintaan, johon halutaan hyvä kulutuskestävyys. Myös ohutseinäisiä kappaleita ja lämpöherkkiä materiaaleja voidaan pinnoittaa, sillä kappaleen lämpötila pysyy tyypillisesti alle 150°C. Tyypillisimmät käyttökohteet paperikoneen telat, puunjalostusteollisuudet terät, prosessiteollisuudet pumput ja venttiilit. Korroosiota kestäväällä WC- (Co, Cr):lla voidaan korvata kovakromausta. Jauhepartikkelit ”ammutaan” noin 800 m/s nopeudella osittain sulaneena kappaleen pintaan. (Turvanasta 2020.)

- Hyvä tartunta kyky.
- Alhainen pinnankarheus.
- Pinnoitteen paksuus tyypillisesti 0,1–2 mm.
- Hapettuminen vähäistä.
- Vähän huokoisuutta.

3.2 Kovametallin valmistusprosessi

Kovametallin valmistus koostuu seuraavista vaiheista (Kovametalli-in 2020a).

- W ja C sekoitus
- Karburointi
- WC-Co jauhatus
- Kuivaus ja granulointi
- Kompaktointi
- Vahanpoisto, esintraus ja sintraus
- Jälkikäsittely



Kuva 4. Kovametallin valmistusprosessi (Kovametalli-in 2020a).

3.2.1 W ja C sekoitus

W ja C sekoitetaan mekaanisesti käyttäen V-mikseri, josta voidaan käyttää myös puhekielessä nimeä housusekoitin (Turvanasta 2020).



Kuva 5. V-mikseri (Bkbackgroup 2020).

W:n ja C:n suuri ero raekoossa vaikeuttaa tuotteiden sekoittamista.

- W:n raekoko 0,1–20 μm
- C:n raekoko 0,05–0,1 μm

3.2.2 Karburointi

Sekoitettu W+C Jauhe kuumennetaan 1400–2650°C noin tunnin ajan jatkuvatoimisessa hiiliputkiuunissa H_2 -atmosfäärissä tai panostyyppisessä vakuumi-induktiouunissa (Turvanasta 2020).

3.2.3 WC-Co jauhatus

WC + Co ja sekä prässäyksen voiteluaine pitää saada sekoitettua hyvin. Voiteluaineena ja vihreäntilan sideaineena käytetään yleisimmin parafiinia, muita käytettyjä aineita on PVA ja PEG. Asetyleeninokea lisätään, jotta voidaan kompensoida jauhatuksessa tapahtuvaa hiilen katoa. Jauhatus tapahtuu yleensä alkoholissa hapettumisen välttämiseksi. Käytetyt laitteet ovat kuulamyly ja atriittori, jauhatusaika vaihtelee 10–72 h välillä. (Turvanasta 2020.)

3.2.4 Kuivaus ja granulointi

Kuivauksessa tarkoituksena on väliaineena toimineen alkoholin poistaminen. Granuloinnin tarkoituksena on parantaa pulveriseoksen juoksevuutta kompaktointi vaiheessa käytettävien puristustyökalujen takia. Yleisin granulointimenetelmä on rummutus, muita käytettyjä menetelmiä on lautasgranulointi ja spraykuivaus. (Turvanasta 2020.)

Spraykuivaus

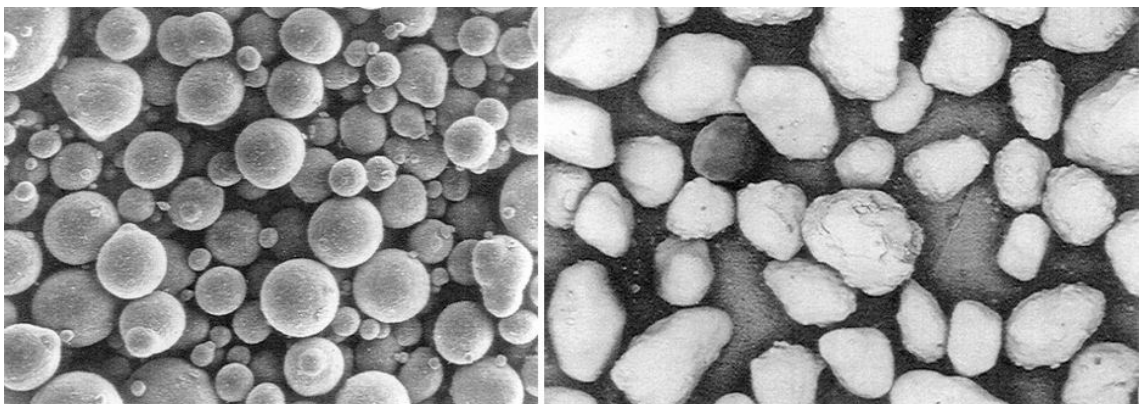
- Etanoli/vesi-kovametalliliete pumpataan sekoitussäiliön kautta spraykuivaimeen. Jauhatussa saatu liete kuivataan, jolloin saadaan pyöreitä granuleita. Voiteluaine toimii sideaineena, joka pitää granulit koossa prässäykseen asti. Liete hajotetaan pisaroiksi paineella, paineilmalla tai pyörivällä kiekolla kuumaan kammiin. (Turvanasta 2020.)

Rumpu- ja lautasgranulointi

- Liete pumpataan kuivuriin ja siellä muodostuneet granulat rikotaan seulan päällä. Kaikki jauhe pakotetaan 200µm seulan läpi kuulien avulla. Seulan päällä muodostuu granulytimiä. Pulveri on kuivauksen jälkeen niin koheesista, että partikkelit kasvavat lumipalloefektillä granulytimistä. (Turvanasta 2020.)

Spraykuivauksen ja Rumpu- ja lautasgranuloinnin ero

- Rummuttamalla muodostuneet partikkelit eivät niin pyöreitä kuin spraykuivatut. Partikkelikoko jakauma leveämpi kuin spraykuivatussa ja juoksevuus vähän heikompi. Kuvassa 7 havainnollistetaan ero. (Turvanasta 2020.)



Kuva 6. Vasemmalla spraykuivattu ja Oikealla rummutettu (Turvanasta 2020)

3.2.5 Kompaktointi

Jauhemetallurgian hyöty muihin valmistusmenetelmiin verrattuna piilee kompaktoinnissa. Kappaleelle saadaan yhdellä toimenpiteellä yleisesti lopullinen muoto. Ylimääräinen jauhe voidaan myös kierrättää ja käyttää uudelleen. Kompaktoinnissa käytetty puristusaine on lähtökohtaisesti 150N/mm^2 . (Kovametalli-in 2020a.)

Prässäys

- Matriisin ylä- ja alapistimen avulla jauhe puristetaan haluttuun muotoon, menetelmä on nopea ja myös edullinen, mutta halutut muodot ovat rajallisia. Piensarja valmistuksessa työkalujen hinta kasvattaa tuotteiden kustannusta. (Kovametalli-in 2020a.)

Isostaattinen puristus

- Kovametallijauhe pakataan kumipussiin joka omaa halutun muodon. Pussi asetetaan painesäiliöön, joka sisältää nestettä. Säiliö paineistetaan, jolloin saadaan puristettua halutun muotoinen puriste, jonka jälkeen se esisintrataan. Esisintrauksen jälkeen kappale on valmis koneistettavaksi. Menetelmä mahdollistaa haastavampien kappaleiden valmistamisen kuin perinteinen työkalupuristus. Yleisimmin tätä valmistus menetelmää käytetään pienisarjatuotannossa. (Kovametalli-in 2020a.)

Pursotus

- Tässä valmistustavassa jauheeseen on lisättävä enemmän parafiinia, jotta saadaan helpommin muovattavaa materiaalia. Esilämmitetty jauhe puristetaan halutun muotoisesta reiästä ja katkaistaan haluttuun mittaan. Suulakepuristuksessa poikkileikkausmuoto voi olla haastavampi kuin työkalu puristaessa. Menetelmällä voidaan valmistaa jopa 0,1 mm reikiä putkiin. (Kovametalli-in 2020a.)

Ruiskupuristus

- Esilämmitetty jauhe, joka sisältää runsaasti parafiinia puristetaan halutun muotoiseen pesään, samanlaisesti kuin muovituotteiden valmistuksessa yleisesti. Tämä valmistustapa mahdollistaa monimuotoisten kappaleiden kertapuristuksella. Yleisesti kyseiset muotit ovat kalliita ja täten soveltuvat massatuotantoon.

Haasteita, joita syntyy ruiskupuristuksessa on se että jauhe ei puristu tasaisesti ja huokoisia kohtia voi syntyä kappaleeseen. (Kovametalli-in 2020a.)

3.2.6 Sintraus

Sintrauksena aikana lämpötila nostetaan lähelle sidometallin sulafaasia. Kovametalli, joka käyttää sidosaineena kobolttia, niin lämpötila tällöin on noin 1400 °C. Sintrausuu- nissa käytetään suojakaasua tai se on tyhjiössä. Sintrauksen kesto on noin 10–16 h ja puriste kutistuu noin 17–26 %. (Kovametalli-in 2020a.)

Esisintraus

Kovametallia voidaan myös koneistaa helposti. Kovametallipuriste valmistetaan normaalisti ja tämän jälkeen suoritetaan vain esisintraus noin 600–800 °C lämpötilassa. Tällöin Kovametalli on riittävän pehmeä koneistettavaksi, vastaa noin ominaisuuksiltaan liitua. Menetelmää kutsutaan vihreäksi työstöksi. Koneistuksen jälkeen kappale sintrataan normaalin sintrausprosessin mukaisesti, jolloin kappale saavuttaa lopulliset ominaisuu- tensa. (Kovametalli-in 2020a.)

Sintrausmenetelmät

- Vakuumisintraus
- HIP-käsittely
- Jatkuvatoiminen vetyuuni
- Mikroaaltosintraus

3.2.7 Rakennevirheet

Kovametalliin kohdistuvia materiaali/rakennevikoja, joita voi syntyä pulverin epäpuhtauksista, prässäyksestä tai sintrauksesta (Turvanasta 2020):

- reiät (>25µm)
- huokokset
- eta-faasi
- vapaa hiili
- kobolttijärvet
- selektiivinen rakeenkasvu
- ylisintraus = raekoon kasvu
- alisintraus
- prässäysviat
- pintaviat
- karbidin epähomogeenisuus
- karbidi agglomeraatit
- liat ja roskat (liukenemattomat, pelkistymättömät, yleensä oksidit)
- kontaminaatiot

3.2.8 Jälkikäsittely

Sintrauksessa kappale kutistuu, jolloin se aiheuttaa varsinkin jonkin verran muodonmuutoksia $\pm 3\%$ halutuista loppumitoista ja pinnankarheus on luokkaa Ra 1.6–6.3 (Kovametalli-in 2020a). Jälkikäsittelymahdollisuuksia on seuraavat:

Dimensiot, pinnanlaatu ja muoto

- Myllytys
- Hionta
- EDM-koneistus
- CNC-koneistus

Liittäminen

- Juotos
- Mekaaninen
- Liimaus
- Diffuusio

3.3 Kierrätys kovametalli

Nykyaikana kovametallin kierrätys on kasvanut merkittävästä, sillä on suuri vaikutus globaalissa volframiraaka-ainehuollossa. Suurimmat tähän vaikuttaneet asia ovat. (Tikomet 2021.)

- Taloudelliset syyt
- Ympäristötekijät
- Strategiset näkökohdat

Kahta seuraavaa prosessia käytetään kovametallin kierrätyksessä:

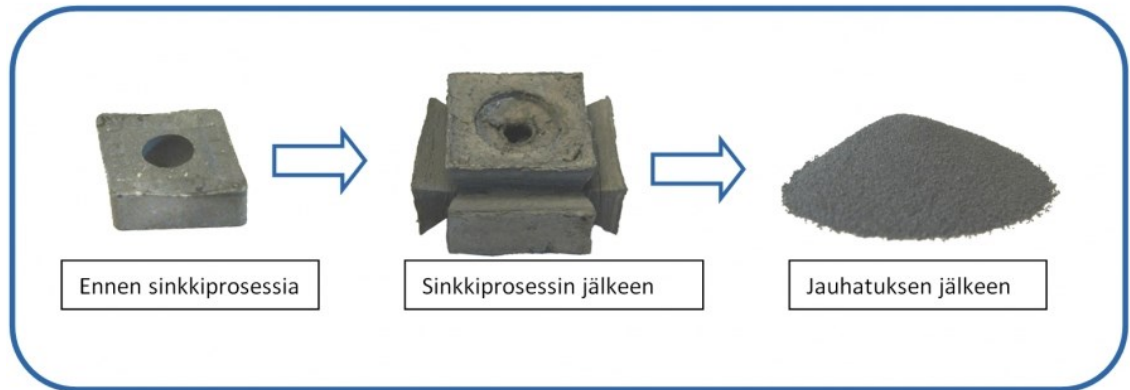
- Kemiallinen kierrätys, kovametalliromu käsitellään hydrometallurgisella prosessilla samalla tavalla kuin kaivostoimista tulleet volframikasteet.
- Sinkkiprosessi, kovametalliromu käsitellään regenerointiuunissa. Tämän käsitteilyn jälkeen saadaan suoraan volframikarbidi-koboltti-seospulveria.

Kovametallin kierrätys sinkkiprosessilla

Prosessissa sinkki ja kovametalli lastataan grafiittiastioihin uunikäsittelyä varten. Kovametallipanos käsitellään sinkin kanssa regenerointiuunissa. Uunissa sula sinkki reagoi kovametallin kobolttisideaine faasin kanssa. Prosessin aikana tapahtuu merkittävää tilavuuden laajentumista, tämän seurauksena kovametalli laajenee huokoiseksi. Tämän reaktion jälkeen sinkki höyrystetään pois ja kerätään talteen, jolloin sitä voidaan käyttää uudelleen. (Tikomet 2021.)

Uunikäsittelyn jälkeen huokoinen kovametalli jauhetaan pulveriksi. Jauhatuksen ja homogenisoinnin jälkeen on syntynyt uusiokovametallipulveria, joka voidaan käyttää uudelleen kovametallituotteiden valmistuksessa. (Tikomet 2021.)

Sinkkiprosessin aikana kovametallin kemiallinen koostumus ei muutu. Volframkarbidin raekoko pysyy samana kuin ennen sinkkiprosessia. Pulveri sisältää myös volframkarbidin lisäksi kobolttia, myös muut käytetyt seoskarbidit kuten TaC, TiC ja NbC säilyvät prosessin aikana, koska kemiallinen koostumus ei muutu sen aikana. (Tikomet 2021.)



Kuva 7. Kovametallinen teräpala sinkkiprosessin aikana (Tikomet 2021).

Uusiokovametallipulveria kutsutaan pulveriksi, jossa sinkkiprosessilla valmistettua kovametallipulveria sekoitetaan neutraaliin kobolttiin ja volframkarbidin kanssa ja tämä pulveri seos tunnetaan RTP-pulverina eli "ready-to-press" pulverina. Uusiokovametallin osuus tässä voi vaihdella 20–80 % riippuen käyttökohteesta. (Tikomet 2021.)

Uusiokovametallipulverin edut ovat:

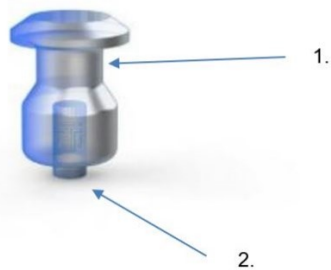
- Säästöt raaka-ainekustannuksissa
- Ympäristöystävällisyys

3.4 Kovametallin käyttö ajoneuvon talvirenkaissa

Ajoneuvon nasta koostuu perinteisesti kahdesta eri komponentista, joita tunnetusti kutsutaan rungoksi ja tapiksi. Rungon tarkoituksena on pitää kulutusta kestävä tappi paikallaan renkaassa, jolla saavutetaan pito jäiseen tiehen.

Rungon materiaalina toimii erilaiset metallit, yleisimmin käytetyt ovat alumiini ja teräs. Valmistusmenetelminä käytetään kylmämuovausta ja sorvaamista.

Tapin pitää kestää merkittäviä voimia ja jatkuvaa kulutusta, jonka vuoksi se valmistetaan kovasta kulutuskestävästä materiaalista, joka on yleisimmin kovametalli. Kovametallitappi valmistetaan prässäämällä. Kuvassa 8 on nasta ja numerolla 1 kuvattu on runko ja 2 on tappi.



Kuva 8. Nasta (Turvanasta 2021b).

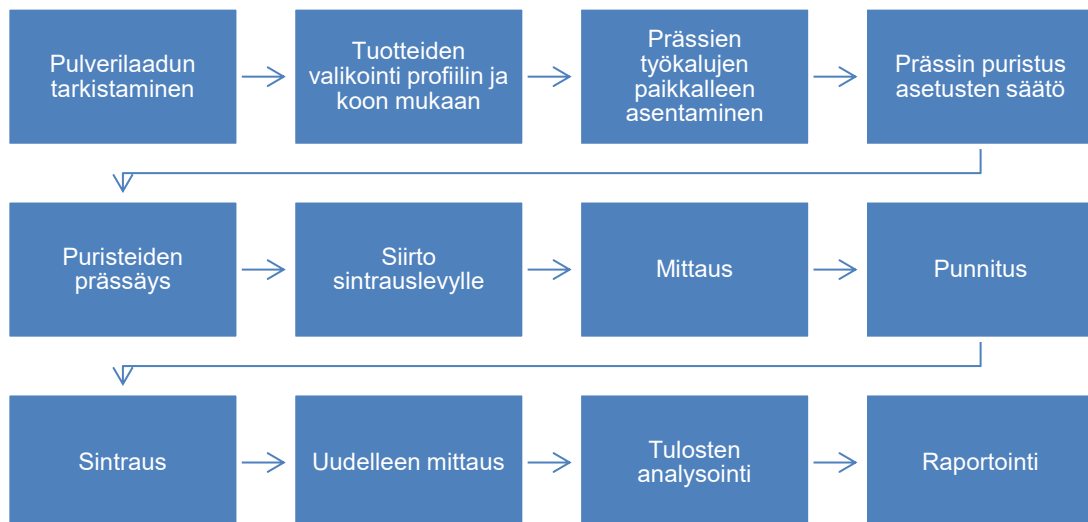
4 KUTISTUMAN TUTKIMINEN

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten RTP-pulverista puristetut tuotteet kutistuvat ja onko sillä vaikutusta millaisen profiilin/muodon tuote omaa. Samalla myös seurattiin miten itse puristusvoiman vaihtelu vaikuttaa kutistumis- prosenttiin. Kutistuminen tapahtuu sintrauksessa vahanpoiston aikana, jolloin kompaktoinnissa käytetty sidosaine, yleensä parafiini, höyrystyy pois. WC-Co kovametallien kutistuma riippuu kappaleen tiheydestä ja kutistumaprosentti täten vaihtelee 17–26 %. Kutistuma on lineaarista, jos puriste on tiheydeltään tasainen. Eri muodot vaikuttavat puristeen tiheyden jakaumaan.

4.1 Mittaussuunnitelma

Ennen opinnäytetyön käytännönsuuden aloitusta, tehtiin suunnitelma miten mittaukset saataisiin tehtyä järkevästi, nopeasti sekä luotettavasti. Kuvassa 9 esitetään, miten kutistuman tutkinta eteni.

Mitattavat tuotteet valikoitiin erilaisten muotojen ja koon perusteella, jotta saataisiin mahdollisimman laaja skaala mitattavaa, jolloin mahdolliset mittatulokset olisivat luotettavampia. Tuotteiden muodot olivat pyöreä, neliömäinen, kolmiomainen ja salmiakki.

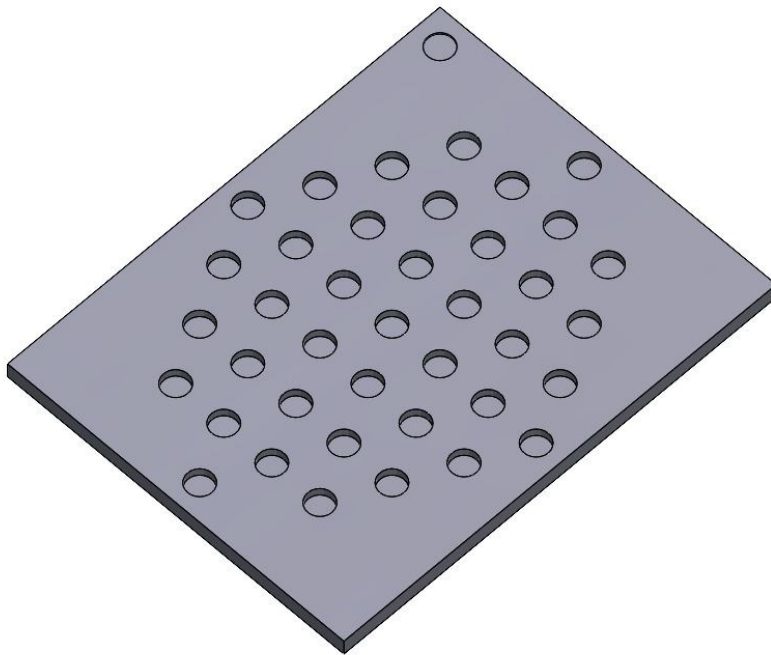


Kuva 9. Mittaussuunnitelma.

4.2 Sintrauslevyt

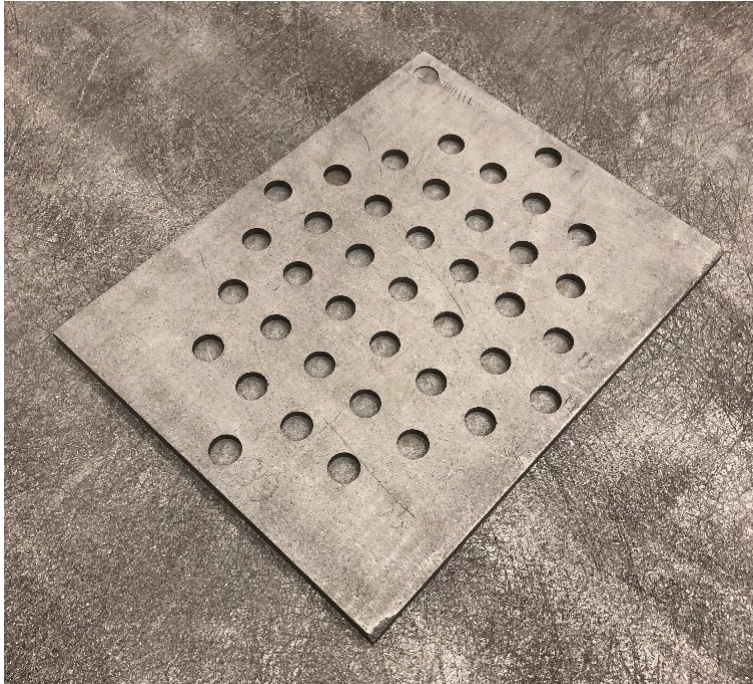
Kun prässillä on suoritettu valmis puristus, mitattavat tuotteet nostetaan magneettilevyn avulla pois prässistä ja asetetaan oikeassa järjestyksessä sintrauslevylle, jotta voidaan mitata samaa puristetta ennen ja jälkeen sintrauksen. Sintrauslevyt oli suunniteltu käytettävien työkalujen layoutin mukaisesti, jotta puristeet olisi helppo asemoida oikeisiin paikkoihin ja täten ei tulisi sekaannuksia mistä mikäkin puriste oli tullut. Levyn kulmaan tehtiin myös merkki, joka osoittaa miten päin puristus on prässistä otettu pois.

Suunnittelussa käytettiin SolidWorks 3D mallinnus ohjelmaa ja levyn mitoituksessa on otettu huomioon se, että puristeiden käsittely olisi mahdollisimman helppoa ja yksinkertaista, jotta välttyttäisiin mahdollisilta sekaannuksilta tai ennen sintrausta puristeen murtumiselta.



Kuva 10. Sintrauslevyn 3D malli.

Levyt tilattiin alihankintana ja niitä valmistettiin yhteensä 10kpl:tta CNC-koneistamalla, jotta kaikki puristeet saataisiin sintrattua kahdella kertaa.



Kuva 11. Sintrauslevy.

4.3 Puristeiden valmistus

Puristeiden valmistus aloitettiin valitsemalla RTP-pulveri-erä, jossa pulverin WC-raekoko olisi tasalaatuinen ja pulveri granuli olisi hyvin juoksevaa. Tiedot tarkistetaan metallurgisen analyysin perusteella. Pulverin valinnan jälkeen asennettiin prässäin oikean tuotteen työkalut: yläpistimet, alapistimet ja matriisi. Prässin asetuksen säädettiin siten, että saatiin valmistettua halutulla puristusvoimalla mitattavat puristeet. Prässäyksen jälkeen puristeet nostetaan magneettilevyllä sintrauslevylle. Tämän jälkeen prässin asetukset vaihdettiin, että saatiin eri puristusvoimalla suoritettua puristus. Puristusvoimaa vaihdettiin, jotta saataisiin eri tiheydellä olevia tappeja, joiden kutistuma olisi mahdollisesti eri. Tämän avulla voitaisiin myös määrittää, kuinka kriittinen puristusvoiman vaihtelu on tappien prässäyksessä.

Puristuksia tehtiin viisi kertaa per tuote, kaksi näistä oli oikealla puristusvoimalla, yksi oli 10kN yli tämän ja kaksi viimeistä 10kN ja 20kN alle. Tämän jälkeen vaihdettiin työkalut prässistä seuraavalle tuotteelle ja samat puristukset tehtiin myös sille. Yhteensä eri tuotteita oli neljä.

4.4 Mittaaminen ja tulosten kirjaaminen

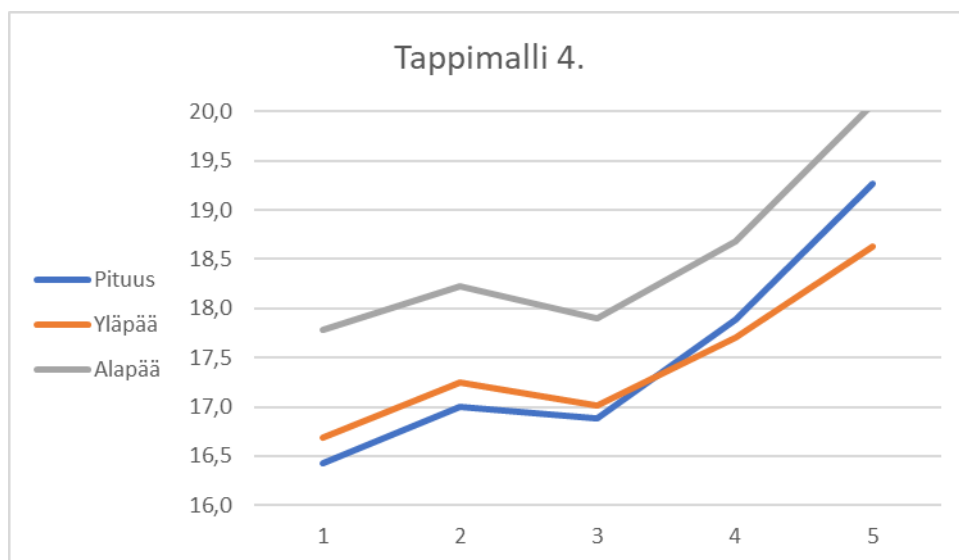
Mittauksissa puristeista mitattiin päämitat: korkeus, yläpään halkaisija/lävistäjä, alapää halkaisija/lävistäjä ja paino. Mittauksessa käytettiin työntömittaa ja tarkkuusvaakaa. Ennen sintrausta puristeiden mittauksessa tarvitsee olla varovainen, sillä puristeet ovat edelleen hauraita. Sintrauksen jälkeen puristeiden käsittelyssä ei enää tarvitse olla yhtä varovainen, koska ne ovat jo saavuttaneet lopulliset materiaali ominaisuudet ja ovat kovia.

Puristeet mitattiin yksi kerrallaan läpi ja täytettiin mittauspöytäkirjaan.

Katso Liite 1. esimerkki mittapöytäkirjasta.

4.4 Tulokset ja pohdinta

Puristeiden kutistumasta sintrausprosessinaikana tehtiin seuraavanlaisia havaintoja. Kutistumaprosentti vaihteluväli oli 16.4–20.1 %, tässä pitää ottaa huomioon että puristeita valmisteltiin myös eri puristusvoimilla, joka vaikuttaa huomattavasti kutistumaan. Mitä suuremmalla voimalla puriste on valmistettu, sitä pienempi kutistuma on ja mitä pienemmällä, sitä suurempi on kutistuma. Kun tulosten tarkastelusta pois lukee puristusvoiman vaihtelun, tällöin kutistuman vaihtelu oli 17–19.1 %.



Kuva 12. Kutistuma.

Tuotteiden profiilien ja muotojen vaikutuksesta kutistumaan huomattiin, että jos tuote omaa saman muodon koko puristeen matkalta, kutistumaprosentit jakautuivat pituuden, yläpään ja alapään osalta siten, että pituus ja yläpään kutistuma oli noin 1–1,5 % pienempi kuin alapään kutistuma. Toisaalta kun kyseessä oli tuote jonka, profiili muuttui alapään yksinkertaisesta muodosta (pyöreä) yläpään monimutkaiseen muotoon (tähti), kutistumaprosentilla ei ollut eroa, pituus sekä ylä- ja alapää kutistuivat saman verran.

Puristusvoimalla on merkitys siihen, kuinka paljon kutistumaa tapahtuu, mutta oikean puristusvoiman hakeminen uuden tuotteen osalta on usean asian yhdistelmä ja vaikuttavia tekijöitä on monta. Mitä suurempi voima, sitä nopeammin työkalut kuluvat ja myös pulveria kuluu enemmän, mutta tällöin kutistuma on pienempi.

Mitkä asiat vaikuttavat puristeissa, joissa muoto on koko puristeen profiilin osalta sama, alapää kutistuu enemmän kuin yläpää ja pituus? Ensimmäiseksi tähän vaikuttaa prässäyksessä puristussuhdanteiden säätäminen, kuinka kovin puristetaan ylhäältä ja kuinka kovin alhaalta, sillä näiden pinta-alat eroavat toisistaan. Toiseksi alapään mittaaminen työntömitalla on haastavaa, ottaen huomioon tuotteen kartiomaisuus ja alapään pieni koko. Mittavirheen mahdollisuutta saadaan toki pienennettyä, jos mittaja on kokenut ja mittaus suoritetaan sen vaatimalla tarkkuudella.

Miksi kutistuminen havaitaan tasaisempana puristeissa, joissa ylä- ja alapään muodot ovat erilaiset ja profiili muuttuu matkanvarrella, (esimerkiksi pyöreästä alapäästä yläpään tähtimuotoon)? Tähän vaikuttaa se että yläpään muodon ollessa haastava, ei prässäys vaiheessa työkalun ulkoreunat täyty/tiivistä riittävän hyvin, jolloin tiheys jää pienemmäksi siltä osin ja kutistuma on täten suurempi.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä oli tarkoituksen tutkia kovametallipuristeen kutistumaa sintrausprosessin aikana ja sitä, miten eri puristeen muodot, profiilit ja prässäyksessä käytetty voima vaikuttavat kappaleen kutistumaan.

Mittaustuloksista voitiin havainnoida seuraavanlaisia asioita. Kun tuote omaa saman muodon koko puristeen matkalta, kutistumaprosentit jakoutuivat pituuden, yläpään ja alapään osalta siten, että pituus ja yläpään kutistuma oli noin 1–1,5 % pienempi kuin alapään kutistuma. Kun kyseessä oli tuote jonka, profiili muuttui alapään yksinkertaisesta muodosta (pyöreä) yläpään monimutkaiseen muotoon (tähti), kutistumaprosentilla ei ollut eroa vaan pituus sekä ylä- ja alapää kutistuivat saman verran.

Onnistumiset tapahtuivat työn toiminnallisen osuuden kanssa. Puristeiden käsittelyyn suunniteltu sintrauslevy toimi halutulla tavalla, puristeet saatiin pidettyä selkeästi toisistaan erillään, jolloin vältettiin mahdollisilta kappaleiden sekoittumisilta. Puristeiden valmistus sujui aikataulullisesti hyvin ja mittaustulokset raportoitiin selkeästi, jolloin niitä oli helppo käyttää mittadata-analyseissä.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää uusien tuotteiden ja työkalujen suunnittelussa. Tieto kutistumamäärästä ja sen jakautumisesta on merkittävä, kun suunnitellaan kokonaan uuden tuotteen valmistustyökaluja. Tällöin säästö rahallisesti ja ajallisesti on merkittävä, etenkin nykyaikana, kun tuotekehitysprojektien läpimenoaika pienenee.

LÄHTEET

Black & Kosher 2011, 481

Black, J. & Kosher, R. 2011. DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing, 11th Edition. Hoboken: Wiley.

Bkbackgroup 2020. Viitattu 2.10.2020

<https://www.bkpackgroup.com/packagingmachine/bkv-series-v-type-powder-mixing-tank-v-mixer-for-chemical-powder/>

Dolid ym. 2018, 3

Dolid, N.; Brodarac Z. & Hadžipašid, A. 2018. 17th INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE. University of Zagreb; Sisak

Global tungsten & powder 2020. Viitattu 1.10.2020

<https://www.globaltungsten.com/en/products/ready-to-press-grade-powders.html>

Kovametalli-in 2020a. Viitattu 1.10.2020

<http://www.kovametalli-in.com/kovametallin-valmistus.html>

Kovametalli-in 2020b. Viitattu 1.10.2020

<http://www.kovametalli-in.com/kovametallin-ominaisuudet.html>

Tikomet 2021. Viitattu 25.11.2021

<https://www.tikomet.fi/fi/kovametallin-kierratys/>

Turvanasta 2020. Viitattu 1.10.2020

Kovametallikoulutus. Yrityksen sisäinen koulutusmateriaali.

Turvanasta 2021a. Viitattu 25.11.2021

<https://www.turvanasta.com/production>

Turvanasta 2021b. Viitattu 25.11.2021

<https://www.turvanasta.com/passenger-cars>

Yrittäjät 2021. Vuoden Yrittäjäperhe 2021 tunnustuspalkinto Turvanasta Oy:lle. Viitattu 25.11.2021

[\(https://www.yrittajat.fi/uutiset/vuoden-yrittajaperhe-2021-tunnustuspalkinto-turvanasta-oylle/\)](https://www.yrittajat.fi/uutiset/vuoden-yrittajaperhe-2021-tunnustuspalkinto-turvanasta-oylle/)

Mittauspöytäkirja

Mittaja	
Päivämäärä	
Mittaväline 1.	
Mittaväline 2.	

Mitattu tuote:**Mittauksen tarkoitus:****Mittauksen suorittaminen:****Mitä on mitattu:****Prässin asetukset:**

Puristusvoima	kN
Ajonopeus	m/s
Täyttö	mm

