

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Materjalitehnika instituut

Argo Liiskmann

WC-Co jäätmete regenererimine

WC-Co hardmetal scrap regeneration

Autor taotleb magistri teaduslikku kraadi

Tallinn 2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Jüri Pirso juhendamisel

“.....”201....a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201....a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

201.... aastasemester

Üliõpilane: (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava

Eriala

Juhendaja: (amet, nimi)

Konsultandid: (nimi, amet, telefon)

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles).....

(inglise keeles).....

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Tutvumine kõvasulamite ja nende valmistamise tehnoloogiaga (kirjanduse ülevaade)	
2.	Tutvumine WC-Co kõvasulamite regenererimismeetoditega (kirjanduse ülevaade)	
3.	Elektrohüdraulilisel teel peenetatud WC-Co pubrite keemilise koostise ja osakeste suuruse määramine. Regenereeritud kõvasulamite optimaalse paagutustemperatuuri määramine. Optimaalse täiendava koguse grafiidipulbri koguse määramine regenereritud kõvasulamites.	

4.	Regenereeritud WC-Co kõvasulamite struktuuri ja omaduste määramine Kuulveski projeteerimine	
5.	Katsetulemuste analüüs ja aruande kirjutamine	20.05.2016

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

WC-Co jäätmete taaskasutamine

.....

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel:

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt

Töö

esitamise

tähtaeg.....

Üliõpilane

/allkiri/

kuupäev.....

Juhendaja.....

/allkiri/

kuupäev.....

Sisukord

Sissejuhatus	7
1. Kõvasulami tootmine	9
1.1. Traditsiooniline meetod kõvasulami tootmiseks.....	9
1.2. Otsene karbiidiseerimine, kui alternatiivne meetod volframkarbiidi valmistamiseks	10
1.3. Co pulbri valmistamine.....	10
1.4. Reaktiivpaagutamine: pulbri ettevalmistamine, faasimuutused paagutamise ajal.....	11
1.5 Terakasvu inhibiitoritega WC-Co struktuur ja omadused.....	12
2. Jäätmete taaskasutus.....	16
2.1. Tsinkmeetod.....	16
2.2 Hüdrotermiline meetod.....	17
2.3 Oksüdeerimis ja reaktsioonpaagutusmeetod.....	17
3. WC-Co sulamite taaskasutamine elektrohüdraulise disperseerimise meetodil peenestatud jäätmeist.....	19
3.1 Elektrohüdraulise disperseerimise tehnoloogia tutvustus	19
3.2 Elektrohüdraulise disperseerimise teel saadud pulbriosakeste keemiline koostis.....	20
3.3. Regeneereeritud WC-20%Co kõvasulamite struktuur ja faasiline koostis.....	20
3.4. Süsiniku sisalduse mõju WC-20%Co kõvasulamite struktuurile.....	26
3.5. Regeneereeritud WC-Co kõvasulamite omadused.	36
3.6 Kokkuvõte.....	39
4. Oksüdeeritud pulbri jahvatamiseks kuulveski projekteerimine.....	40
4.1 Ülesande püstitus.....	40
4.2 Kuulveski projektarvutused	40
4.2.1 Kuulveski trumli mõõtude ja materjalide valik.....	40
4.2.2 Trumli pöörlemiskiiruse arvutamine	41
4.2.3 Mootori valik.....	42

4.2.4 Kettülekanne.....	43
4.2.5 Võlli arvutus.....	45
4.2.6 Raami arvutus.....	46
4.3 Kokkuvõte.....	50
Kokkuvõte	51
Abstract	53
Kasutatud kirjandus.....	55

Joonised

Joonis 1. Kuulveski

Joonis 2. Raami koost

Joonis 3. Mootori raam

Joonis 4. Trumli koost

Joonis 5. Raami telg

Joonis 6. Jalg

Joonis 7. Mootori kinnitus

Joonis 8. Plaat

Joonis 9. Sisevõru

Joonis 10. Kaas

Joonis 11. Telg

Joonis 12. Võll

Joonis 13. Luugi hing

Sissejuhatus

Rasksulavad ühendid on haprad ja väikese tugevusega, mistõttu neid ei saa kasutada metallide lõiketöötlemiseks (koorival treimisel ja freesimisel) ja kulumiskindla konstruktsioonmaterjalina. Seepärast lisatakse rasksulavatele ühenditele Fe-grupi metalle. Sellised sulameid nimetatakse kõvasulameiks e. kermisteks.*¹ Kõvasulamid e. kermised on komposiitmaterjalid, mis koosnevad kõvadest ja habrastest osakestest (karbiidid, karbonitriidid, boriidid) ning suhteliselt plastilisest ja pehmest Fe-grupi metallist (Fe,Co,Ni), mis ümbritseb või seob kõvu osakesi. Kermiste omadused sõltuvad eelkõige karbiidi ja sideaine vahekorras ning struktuurist (poorsus, karbiiditerade suurus ja kuju, mikropraod, võõrad lisandid).

Keemilise koostise järgi jaotatakse kermised volframi baasil kõvasulamid ja volframita kermised. Volframi baasil kõvasulamid jaotatakse alljärgnevalt:

- WC-Co sulamid,
- WC-TiC-Co sulamid,
- WC-TiC-TaC(NbC)-Co sulamid.

Volframita kermised jaotatakse:

- TiC-NiMo kermised,
- Ti(CN)-NiMo kermised
- TiC-teras kermised (Ferro-TiC),
- Cr₃C₂-Ni kermised.

Kasutusala järgi liigitada kermiseid 3 gruppi:

- tööriistamaterjalid, mida kasutatakse mitmesuguste instrumentide valmistamiseks (metallide lõiketöötamine, stantsimine, survega töötlemine, traadi tõmbesilmad jne) (66% kogutoodangust);
- mäetööstus (maapõue puurid, puurimispead jt) (27% kogutoodangust), konstruktsioonmaterjalid, mida kasutatakse kulumiskindlate detailide valmistamiseks (düüsid, pihustid, valtsid, pressvormid jne) (5...7%);
- korrosiooni- ja kuumuskindlad materjalid, mida kasutatakse kõrgetel temperatuuridel või agressiivsetes keskkondades (turbiinide töölabidad, pumpade klapid jne).

WC-Co kõvasulamid on enim kasutatud tööriistamaterjalidena töötlemise ja vormimise rakendustes ja ka suurt kulumiskindlust nõudvate tööriistade materjalidena tänu nende suurepärasele kõvadus-sitkus kombinatsioonile. WC-Co kõvasulamite kõrge hinna on

põhjustanud volframi ja koobalti vähene kättesaadavus, mistõttu on kõvasulamite jääkide taaskasutus vägagi aktuaalne.

WC tootmise algmaterjalideks on scheliidi või volframiidi maak, millest valmistatakse ammoonium paratungstaat hüdrometallurgilise protsessiga. Pärast redutseerimist volframiks ja segamist grafiidiga saadakse temperatuurivahemikus 1350-1600° C toimivas eksotermilises protsessis volframkarbiid. volframkarbiidi pulbrisse segatakse koobaltit ja sobivusel teisi karbiide ja peenestatud kõvasulami jääke kuni saavutatakse soovitud koostis. Pärast segamist ja jahvatamist pulber plastifitseeritakse seejärel pressitakse soovitud kuju ja suurusega toorikuks ja paagutatakse. Paljude toodete puhul toimub ka järeltöötlus lihvimise või pindamise näol [1].

Volframi- ja koobaltivarude vähesuse tõttu maakoos pööratakse üha suuremat tähelepanu kõvasulamijäätmete taaskasutamisele. On välja töötatud rida meetodeid WC-Co jäätmete ümbertöötlemiseks. Enamkasutamist on leidnud tsinkmeetod ja hüdrotermiline meetod.

TTÜ pulbermetallurgia laboris on välja töötatud odav ja keskkonnasõbralik meetod kõvasulamijäätmete taaskasutamiseks [2]. Meetod seisneb kõvasulamijäätmete oksüdeerimises pöördahjus kuni $\text{CoWO}_4\text{-WO}_3$ pulbri tekkimiseni, millele lisatakse arvestuslik kogus grafiidi pulbrit. Oksiidi ja grafiidi pulbrisegu jahvatatakse kuulveskis või attriitoris, pressitakse toorikud ja paagutakse. Paagutuse käigus toimub oksiidide taandamine, karbiidi ja sulami moodustumine ühes tsüklis (reaktsioonpaagutus). Eelnimetatud meetodi puuduseks liiga suur kahanemine paagutamisel, mis viib paagutatud detailide kuju moondumisele ja mõõtmete ebatäpsusele. Need puudused on eriti olulised juhul, kui detailid hiljem töödeldakse. Meetodi teiseks puuduseks on suurenenud poorsus suuremates detailides, kuna taandamisel tekkinud gaasid (CO ja CO_2) ei jõua paagutuse käigus toorikute seest eralduda.

Eeltoodud puudusi on võimalik vähendada kui oksiididesegu eelnevalt taandada vesiniku keskkonnas. Sellega kaasneb kahanemise ja kujuhälvete ning poorsuse vähenemine reaktsioonpaagutusel. See nõuab aga optimaalse süsiniku sisalduse leidmist Co - W pulbrisegus.

Antud töö eesmärgiks on uurida elektrohüdraulilisel teel peenestatud WC-Co pulbrite omadusi ja analüüsida sellisel viisil saadud pulbrite sobivst materjali taaskasutuseks ja projekteerida pulbrite jahvatamiseks kuulveski mahuga 40l.

1. Kõvasulami tootmine

1.1. Traditsiooniline meetod kõvasulami tootmiseks

Volfram monokarbiid (WC) on põhikomponent WC-Co kõvasulamites. Volfram saadakse WO_3 -st vesinik-redutseerimise teel, millele lisatakse süsinik. Põhilised volframi allikad on mineraalid scheliit ($CaWO_4$) ja volframiit (Fe, Mn) WO_4 .

WO_3 -e sisaldus scheliidis ja volframiidis on 0,3 kuni 3,5% [3]. Volframi kõrge sulamispunkti tõttu eraldatakse seda maagist hüdrometallurgilise protsessiga. Vaheproduktiks olevast ammonium paratungstaadist (APT) saadakse kas sinine volframoksiid $WO_{2,9}$ või kollane volframoksiid WO_3 .

Kõige tavalisem on APT või WO_3 -e vesiniktaandamine, mille käigus tekivad vahepealsed oksiidid. „Sinine oksiid“ (W_4O_{11}) mis on $W_{18}O_{49}$ ja $W_{20}O_{58}$ segu ja „pruun oksiid“ WO_2 [4].

Saadud redutseeritud pulbri puhul on eriti tähtsad omadused edasise töötamise jaoks puhtus, granulomeetria ja morfoloogia. Temperatuuri, lämmastiku gaasi niiskuse ja aluse suuruse abil saab reguleerida keskmist volframipulbri tera suurust vahemikus 0,3 kuni 10 mikronit. Peeneteraliste pulbrite jaoks on tähtis peatada protsess sinise oksidi faasis ja seejärel see jahvatada enne edasist redutseerimist.

Järgmine etapp pärast volframi pulbri tootmist on selle segamine sobiva koguse süsinikuga, mis seejärel kuumutatakse temperatuurini 1400°C kuni 1880°C. Saadud WC tera suurus jääb üldiselt vahemikku 0,7-0,8 μm vastates paagutatud kõvasulami nõuetele. Mõningaid muudatusi tera suures on võimalik esile kutsuda protsessi temperatuuri muutes. Täpne süsiniku lisamine on protsessis väga tähtis, kuna liigne vaba süsinik jätab materjali vaba grafiidi helbed, mis vähendavad materjali tugevusomadusi ja kulumiskindlust. Enne segu kuumutamist tuleb see hoolikalt segada, saavutamaks homogeenne segu volframist ja grafiidist. Tavaline käsitsi segamine ei anna soovitud tulemusi, kuna materjalide tihedused on niivõrd erinevad. Kõige laialdasemalt kasutatud efektiivne segamise meetod on kas kuulveskis või kõrgete pöörete võimendiga „V“ tüüpi segajas. Sõltuvalt volframi pulbri omadustest võib segamise meetodi valikuga avaldada märkimisväärset mõju saadava volframkarbiidi tera suurusele [5].

1.2. Otsene karbiidiseerimine, kui alternatiivne meetod volframkarbiidi valmistamiseks

Otsene volframoksiidi karbiidiseerimine on üks aktuaalne alternatiivne meetod, kuna see võimaldaks vahele jätta ühe etapi. Uuringud on tõestanud selle võimalikkust, kuid selle eelistes tavalise meetodiga võrreldes on veel kahtlusi. Volfram trioksiidi redutseerimine segudega temperatuuril 900 °C päädib üliväikeste osakestega WC pulbri tekkega (<0,4µm) [6].

Põhiliselt kasutatud „menstruumi tehnika“ koosneb volframi lahustamisest grafiidiga kaetud sularauda, niklisse või koobaltisse mis pärast jahutamist ja purustamist töödeldakse hapetega, et eraldada karbiidikristallid muust materjalist. Sellisel teel saadakse väga puhas ja hästi kristalliseerunud karbiid.

Otsene karbiidiseerimine on praktilisest punktist vaadatuna väga atraktiivne, aga probleem seisneb nii tera suuruses, kui süsiniku sisalduses. Tavaliselt redutseeritakse WO_3 temperatuuridel 800 °C – 1000 °C, et oleks piisav kontroll tera suuruse kasvu üle. Kuid karbiidiseerimise miinimumtemperatuuriks on 1200 °C. See erinevus teeb mõlema operatsiooni samaaegse kombineerimise keerukaks.

1.3. Co pulbri valmistamine

Koobaltit saadakse üldlevinud metallide sulfiidide, arseniidide, oksiidide või hüdroksiidide redutseerimisel vesinikus. Ultra peeneid koobalti pulbreid, mis on vajalikud kõvasulami tööstuses, valmistatakse koobalti soolaid nagu oksalaat, mis valmistatakse reageerides omavahel oksaal-hapet ja koobaltkloriidi, pürolüüsides. Tera suuruseks saadakse nii viisi umbes 2 µm, aga süsinikuga veskis segamise käigus purunevad terad veel väiksemaks [3].

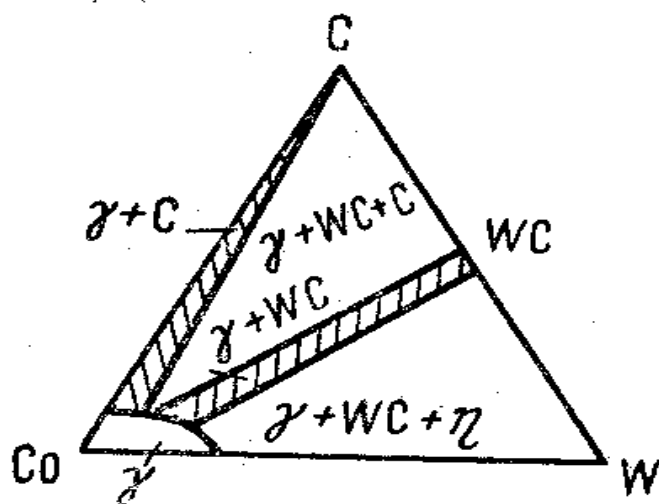
1.4. Reaktiivpaagutamine: pulbri ettevalmistamine, faasimuutused paagutamise ajal

Jahvatamine suure energiaga kuulveskis on efektiivne tehnika sünteesimaks mitmeid nanokristallilisi materjale selle lihtsa ja võrdlemisi odava tehnika tõttu. Kuulveskis jahvatatud nanokristallilistel pulbritel on unikaalsed omadused võrreldes teiste tehnoloogiatega valmistatud nanokristalliliste pulbritega. Need pulbrid on töötlemisel kalestunud. Kristallvõres on neil palju defekte ja neil on suur entalpia varu. Sellise meetodiga saab soovitud ühendeid nanosuuruses skaalal sünteesida toatemperatuuridel – reaktiivjahvatamine.

Ainult reaktiivjahvatamist ei saa kasutada karbiidi sünteesiks, kui Gaussi energia on positiivne. Suure energiaga volframkarbiidi jahvatamine toatemperatuuril ei ole ka mõistlik, kuna võtaks liiga kaua aega. Suure energiaga kuulveskis jahvatatud ja lõõmutatud volframkarbiidi pulber võib kuumtöötamise käigus ettearvamatult käituda, kuna materjal on erinevad kogused energiat ja mikrostruktuuri defekte.

Effektiivse tehnoloogiana suurte koguste nanostruktuuriga karbiidide valmistamiseks on välja töötatud integreeritud mehhaaniline ja termiline aktiveerimine (IMTA). See protsess ühendab mehhaanilise ja termilise aktiveerimise, võimendamaks karbiidide teket paagutamise ajal. Sellist protsessi kutsutakse *reaktsioonpaagutamiseks*. Põhiliseks IMTA vormiks on toatemperatuuril mehhaaniline reageerijate aktiveerimine kuulveskis, millele järgneb kõrgematel temperatuuridel sünteesireaktsiooni lõpetamine. IMTA protsessi võib läbi viia palju madalamatel temperatuuridel või lühema ajaga kui tavalist meetodit jämedateraliste karbiidide valmistamiseks, kuna eelnevalt on materjal mehhaaniliselt aktiveeritud [7].

Kuulveskis jahvatamise ja järgneva kuivatamise käigus tekib W ja Co osakestele oksiidi kiht. Paagutamise ajal esineb oksiidikihi redutseerimine ja mõningane süsiniku kadu. Suurema koguse süsiniku lisamisega saab vältida süsiniku puudujääki, mis tekib paagutamise käigus seoses süsiniku väljapõlemisega. Süsiniku sisaldus mõjutab suuresti paagutatud WC-Co omadusi. Liigse süsiniku sisalduse korral (ainult mõne kümnendiku võrra) tekib sulami struktuuri kolmas faas - vaba grafiit (*Sele 1*). See halvendab kermise mehaanilisi omadusi, kuna grafiidil on väike tugevus ja sisuliselt võib vaba grafiidi kolooniaid lugeda poorideks.



Sele 1. W-C-Co olekudiagramm [8]

Kui süsiniku sisaldus on väiksem stöhhiomeetrilisest (mõni kümnendik), siis moodustub sulamis kolmas faas - η - faas, mis kujutab endast kaksikkarbiidi volframi ja koobalti baasil (Co_6W_6C). Kuna osa koobaltis läheb kaksikkarbiid moodustamiseks, siis plastse sideaine hulk kermises väheneb. Selle tagajärjel kermise kõvadus ja kulumiskindlus tõusevad, kuid tugevus ja löögisiskus langevad. Seepärast püütakse vältida η -faasi teket struktuuris. Parimate mehaaniliste omadustega on kahefaasilised WC-Co kermised.[8]

1.5 Terakasvu inhibiitoritega WC-Co struktuur ja omadused

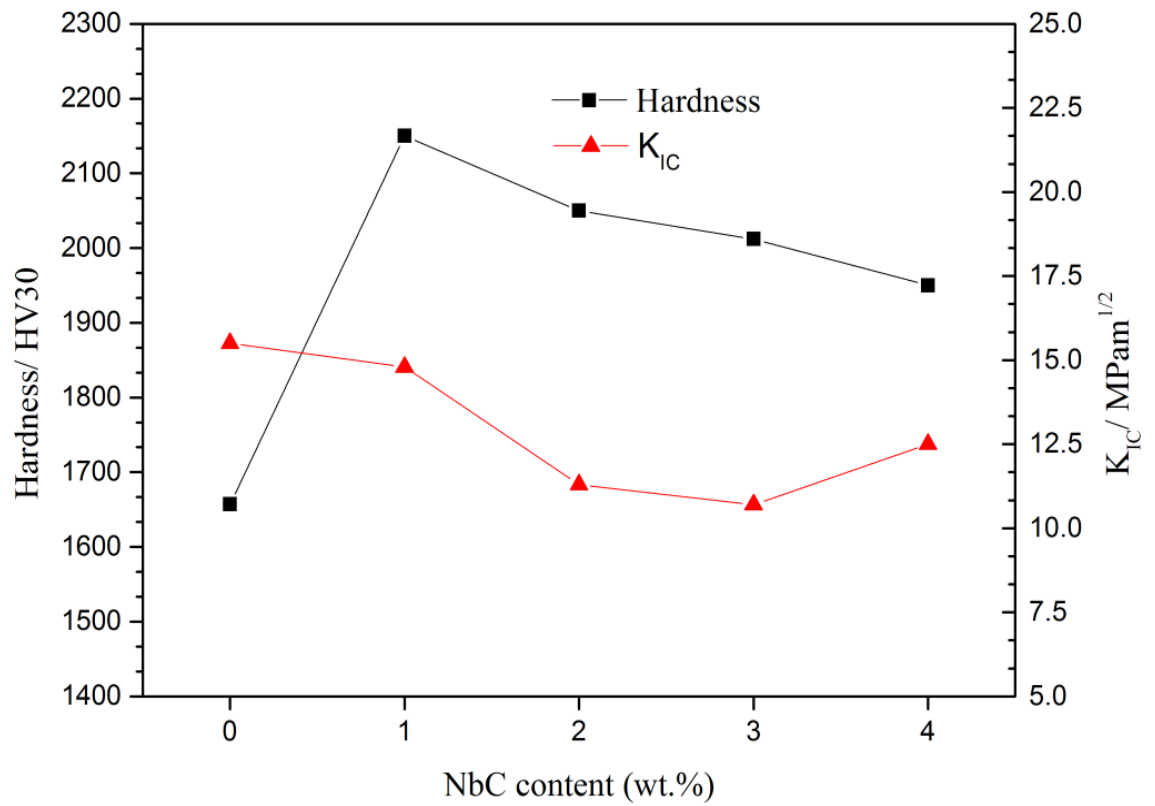
Viimasel ajal on uuritud ka terakasvu inhibiitorite lisamist reaktsioonpaagutamise teel saadud WC-Co kõvasulamite omaduste parandamiseks, kus WC-Co kõvasulamitesse viiakse sisse väikestes kogustes VC, TiC, Cr_3C_2 või NbC. Lisatud materjale viiakse sisse kuni 1 massi% muutumaks kõvasulami struktuuri ja parandades sellega kõvasulami omadusi.

VC, TiC ja Cr_3C_2 lisamisega paindetugevust, kõvadust ja murdumiskindlus parandada ei suudetud, mis on seletatav suurte teraplaatide tekkega kõvasulami struktuuris. Kulumiskindluselt jäid materjalide omadused sarnaseks originaalmaterjaliga (Sele2). [12]

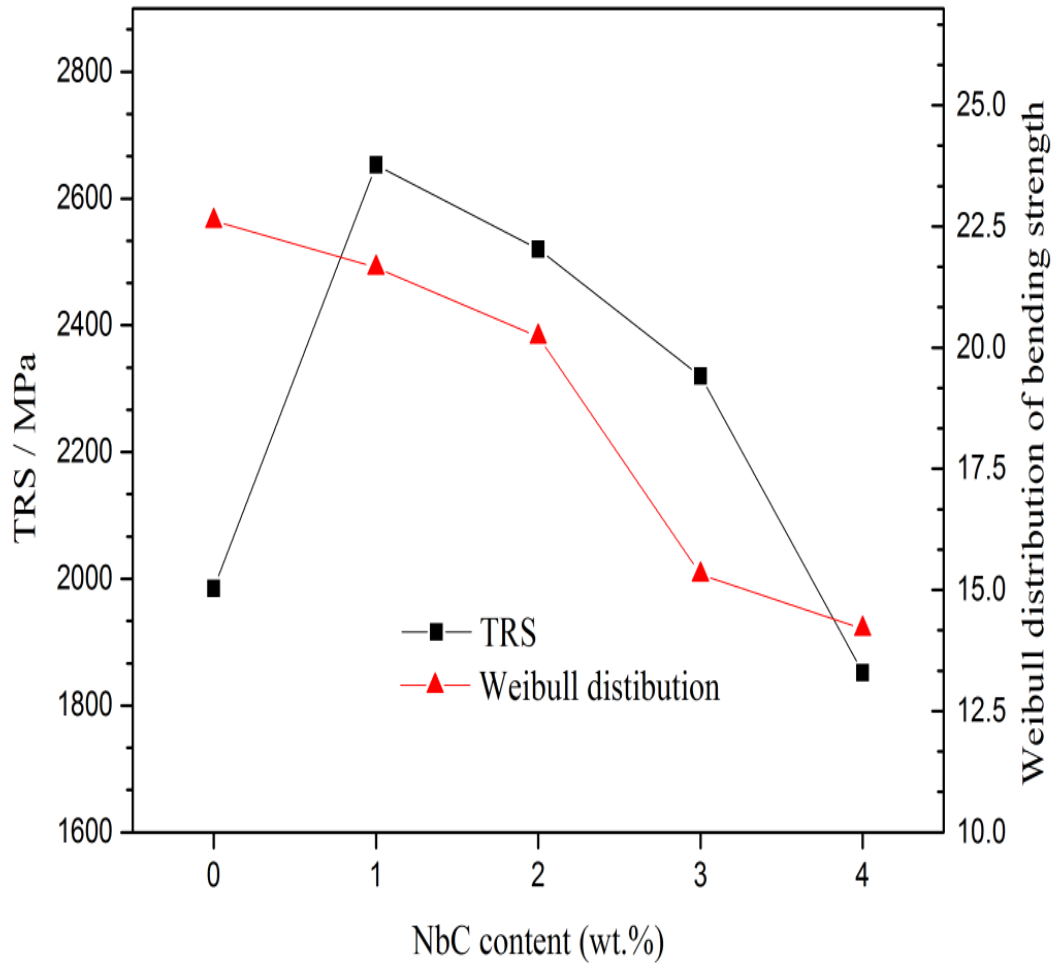
Grade	HV10	TRS,	Kic ,	E,
		Mpa	Mpa mm-1/2	mm3/kg
1. VC	1457	1860	19,5	3,25
2. Cr_3C_2	1450	1290	13,1	2,14
3. TiC	1366	1190	15	3,3
4. VC/Cr3C2	1422	1250	18,1	1,25
5. VC/TiC	1488	2080	15,7	2,03
6. Cr3C2 /TiC	1492	2060	17,7	2,04
7. VC/TiC/ Cr_3C_2	1473	1630	12,6	1,85
8. undoped	1420	2780	19,1	1,35
9. commercial	1264	2380	16,4	3,1

Sele 2. Legeeritud WC-Co omaduste võrdlus mittelegeeritutelega [12]

NbC lisamisega suudeti parimaid tulemusi saavutada olukorras, kus NbC-d lisati materjali 1 massi%, edasisel lisamisel omadused langesid märgatavalt. (Sele 3, Sele 4) [16]



Sele 3. NbC sisalduse mõju WC-Co kõvadusele ja pragunemiskindlusele. [16]

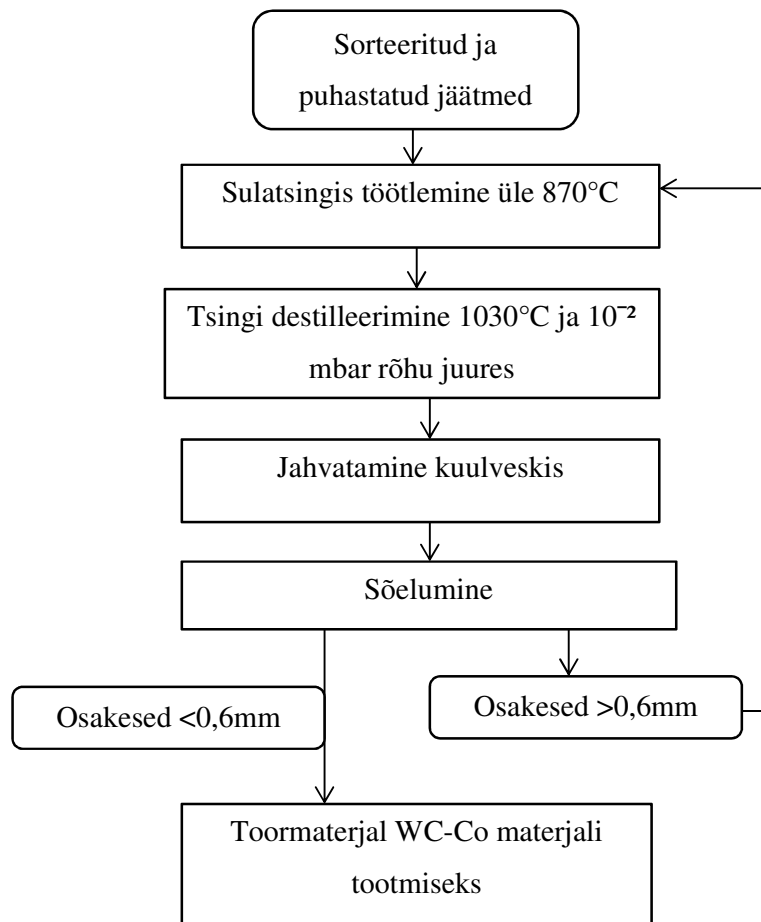


Sele 4. NbC mõju WC-Co paindetugevusele ja osakeste suuruse jaotusele [16]

2. Jäätmete taaskasutus

2.1. Tsinkmeetod

Kõige rohkem leiab WC-Co jäätmete taaskasutuse puhul rakendust „tsinkmeetod“, mille tehnoloogiline skeem on kirjeldatud seel 5.



Sele 5. Tsinkprotsessi tehnoloogiline skeem. [9]

Kõvasulami jäägid puhastatakse hoolikalt pöörates erilist tähelepanu joodistele ja pinnakatetele, misjärel uputatakse jäägid sulatsingi vanni. Sulatsingis toimub 950°C juures eutektiline reaktsioon ja moodustub Zn-Co ühend, mis lagundab kõvasulam jäägi. See protsess võtab aega mitmeid tunde. Selle protsessi tagajärjel lagunevad kõvasulami jäägid

WC graanuliteks ja vajuvad vanni põhja. Seejärel aurustatakse tsink ja vanni põhja jääb järgi käsijas jääk, mida on kerge jahvatada. Saadaud WC pulber on madala puhtusastmega ja suurte osakestega. Põhiprobleemiks on saadud pulbri saastatus Zn-ga. Protsess on suure energiamahukusega ja loodusvaenulik. Praegu taaskasutatakse kuni 30% WC-Co kõvasulamitest sellise meetodiga. [9]

2.2 Hüdrotermiline meetod

Keemiliste protsessidega meetodid on suhteliselt efektiivsed tänu väikesele energiakulule ja heale materjalide lahustuvusele kuumas vees.

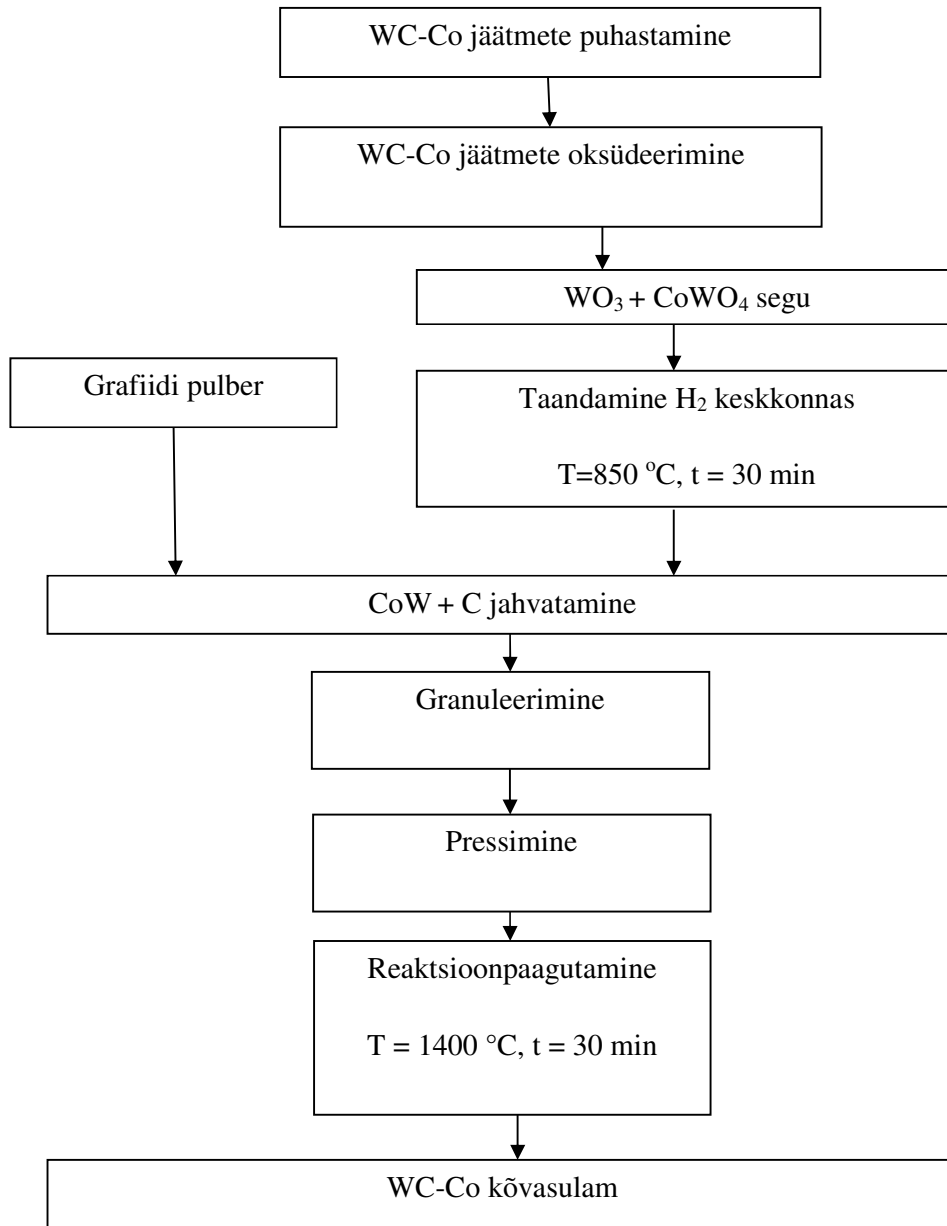
WC-Co jäätmed töödeldakse HNO_3 , HCl , $FeCl_3$ või $HCl + FeCl_3$ vesilahuses temperatuuril 110-200°C, kus Co laguneb materjalist välja ja WC oksüdeerub -e hüdraadiks, mille saab ülejäänud lahusest välja filtreerida.

Keemiliste protsesside meetod on oluliselt väiksema energiakuluga ja palju paindlikum kasutamaks erineva koobalti sisaldusega kõvasulamjääke. Siiski on see meetod suure riskiga, kuna kasutatakse keemilisi ühendeid, mis lekete korral on inimestele ja loodusele mürgised. [10]

2.3 Oksüdeerimis ja reaktsioonpaagutusmeetod

Oksüdeerimis ja reaktsioonpaagutusmeetod on väga tootlik, kuna paljud suure energiaga etapid saab ära jätta. Oksüdeerimise ja reaktsioonpaagutuse meetodi tehnoloogiline skeem on kujutatud seel 6.

Oksüdeerimis ja reaktsioonpaagutusmeetodi aluseks on kõvasulamjäätmate oksüdeerimine $WO_3 + CoWO_4$ seguks. Saadud segule lisatakse grafiidipulbrit ja seejärel teostatakse kõrgenergeetiline jahvatamine attriitoris või tavajahvatamine kuulveskis. Peale jahvatamist pressitakse grafiidi ja oksiide pulbrisegust sobiva kujuga detailid - pressised. Detailide paagutamise käigus vaakumahjus taandab süsinik oksiidid ja reageerides volframiga moodustub WC. Paagutamise vedelas faasis paakub WC-Co. [2]



Sele 6. Oksüdeerimis ja reaktsioonpaagutuse tehnoloogiline skeem. [2]

3. WC-Co sulamite taaskasutamine elektrohüdraulise dispergeerimise meetodil peenestatud jäätmeist

3.1 Elektrohüdraulise dispergeerimise tehnoloogia tutvustus

Kiievis Ukraina Materjalideprobleemide Instituudis on välja töötatud tehnoloogia materjalide purustamiseks elektrohüdraulilisel meetodil. Meetod seisneb kõvade ja habraste materjalide purustamises vedelikus kontsentreeritud elektrilaengu abil. Lõplik peenestamine toimub kuulveskeis. Käesoleva töö eesmärgiks on uurida elektrohüdraulisel teel peenestatud pulbrist kvaliteetsete WC-Co kõvasulamite saamine, mis omadustel ei jääks alla tavameetodil valmistatud sulamitele.



Sele. 7. Elektrohüdrauliline materjalide dispergeerimise seade

Elektrihüdrauliline peenestusseade koosneb veeanumast, spetsiaalsest elektroimpulssgeneraatorist, mis omakorda koosneb kõrgepinge(100kV) alaldi-trafost, impulss kondensaatorist ja laengujagajast. Purustatav materjal asetatakse veeanumasse sõela põhjale.

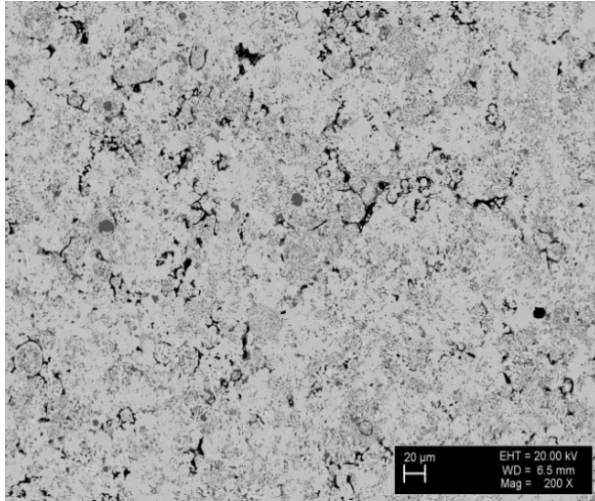
Peenstatud materjal peab läbi minema läbi sõelaukude. Sõelava suurus määrab saadud pulbriosakeste suuruse (tavaliselt 1-10 mikroni). Protsess hõlmab mitmeid järjestikuseid kontrollitud kõrgepinge elektriimpulsse vees. Materjali purunemise põhjustab tohutu elektrišoki ja impulssi surve. Elektrohüdraulise meetodiga saab purustada mistahes kõvu materjale, nagu teemant, karbiidid ja keraamika väiketeks tükkideks. Meetod võimaldab saada kõrge keemilise puhtusega materjali, kuna vahendina rõhu andmiseks kasutatakse puhast vett.

3.2 Elektrohüdraulise disperseerimise teel saadud pulbriosakeste keemiline koostis

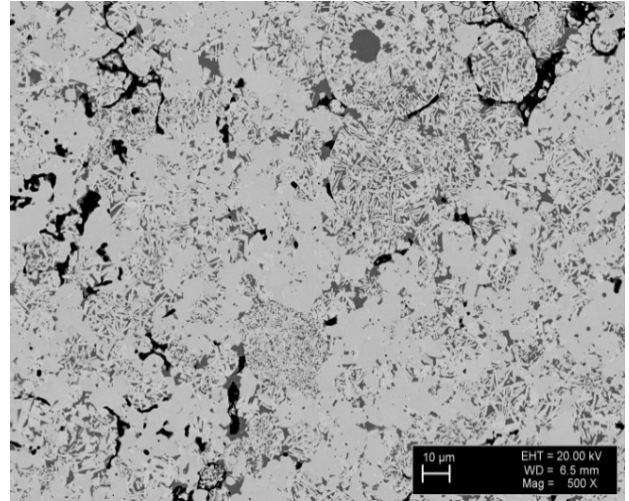
TC Special Tools OÜ ja Tallinna Tehnikaülikoolis korjatud WC-Co jäätmed lähetati Kiievi Ukraina Materjaliprobleemide instituuti, kus toimus nende peenestamine on eelpoolnimetatud meetodil. Sel meetodil peenstatud pulbris määrati süsiniku sisaldus seadmel ELTRA CS-800. Leiti, et WC-20%Co pulbrisekus on 4,81 mass% süsiniku. Arvestades, et WC moodustab pulbrisekus 80 %, siis süsiniku sisaldus karbiidis moodustab arvestuslikult 6,01 mass%, mis alla stöhhiomeetrilise (6,12 mass%) koguse. Seega WC-Co jäätmete peenestamisel on toimunud mõningane süsiniku eraldumine. Sellise süsiniku sisaldusega pulber eeldavasti ei kõlba kõvasulamite valmistamiseks, kuna paagutamisel moodustub $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ ja/või $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ nn. η -faas. Viimase olemasolu muudab sulami kõvaks, aga väga hapraks.

3.3. Regeneereeritud WC-20%Co kõvasulamite struktuur ja faasiline koostis.

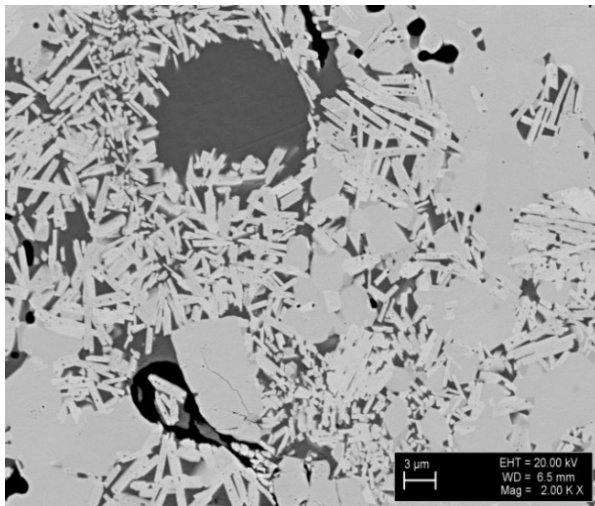
Kiievist saadud pulber plastifitseeriti ja pressiti katsekehad mõõtmetega 22 x 6 x 6 mm, mis esialgu paagutati SinterHIP ahjus temperatuuril 1390 °C. Temperatuuri tõsteti kiirusega 10 kraadi minutis. Alul paagutati 15 min vaakumis ja seejärel lisati argooni gaasi surve 10 minuti jooksul kuni 30 baarise rõhuni. Surve all paagutati 15 minutit. Jahutamine toimus koos ahjuga. See on üldkasutatav paagutusrežiim tavaliste WC-20%Co kõvasulamitele. Jäätmeist peenestatud ja paagutatud WC- Co struktuur on esitatud Seel 8.



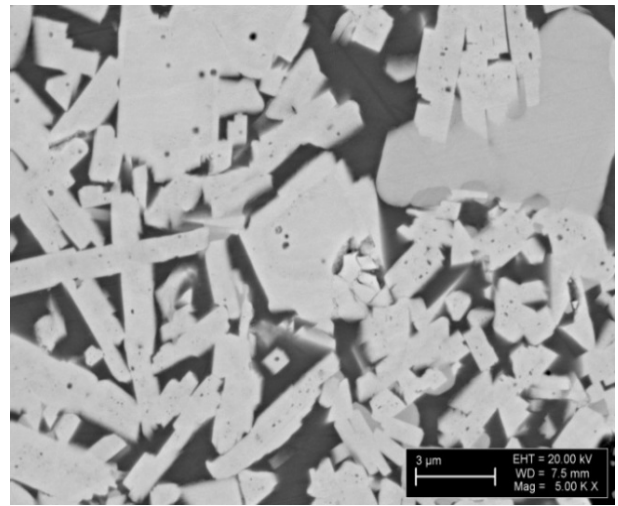
a)



b)



c)

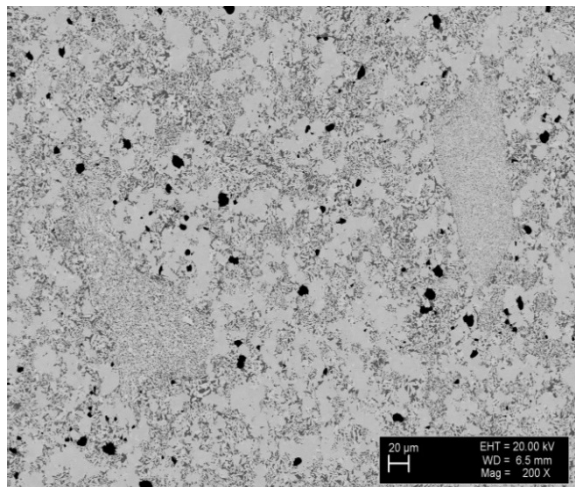


d)

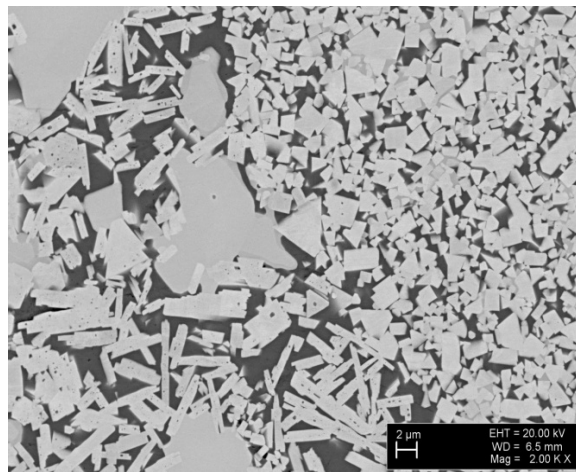
Sele 8. WC-20Co kõvasulami struktuur paagutatud 1390°C juures kestusega 35 min rõhuga 30 baari.

a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000

Nagu Sele. 8a,b näha on graanulite vahel poorsus, mis võib olla tingitud liiga madalast paagutustemperatuurist. Samas on suuri poore (Sele 8. c). Karbiiditerad on mõningal määral kasvanud ja omandanud pikerguse kuju. Kuna tekkis kahtlus, et poorsus võib olla tingitud liiga madalast paagutustemperatuurist, siis tehti täiendav paagutus vaakumis temperatuuril 1500 °C kestusega 30 minutit. Mikrostruktuurid on esitatud Seelil 9.



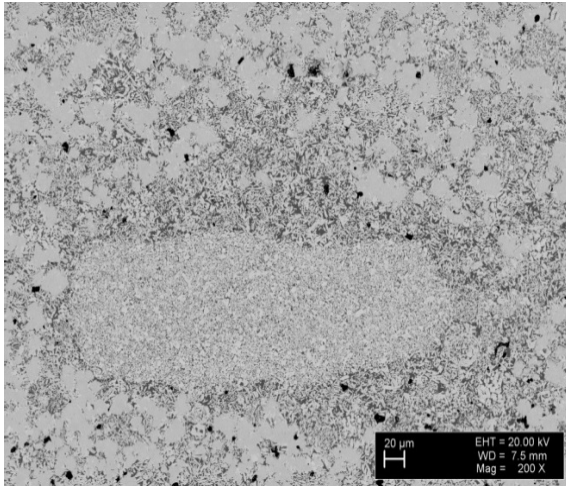
a)



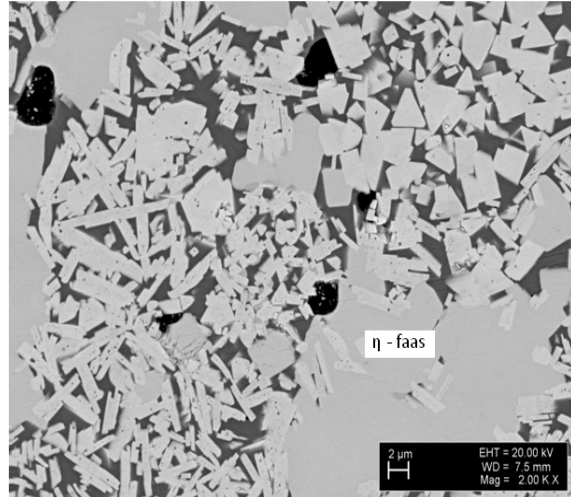
b)

Sele 9. WC-20%Co paagutatud 1500°C juures 30 minutit vaakumis, aeglane temperatuuri tõus (5 °C/min).

Arvestades eelöeldut paagutati järgnevalt temperatuuril 1500 °C kestusega 30 minutit vaakumis. Nagu Sele 9. a näha graanulitevaheline poorsus puudub, kuid esineb palju väikesi poore. Sele 9. a on näha helehalle laike, mis kujutab endast $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ ja/või $\text{W}_6\text{Co}_6\text{C}$ (nn. η -faas). Üldiselt on struktuur peeneteraline (Sele 9.b), välja arvatatud η -faasi koloonia alad.



a)

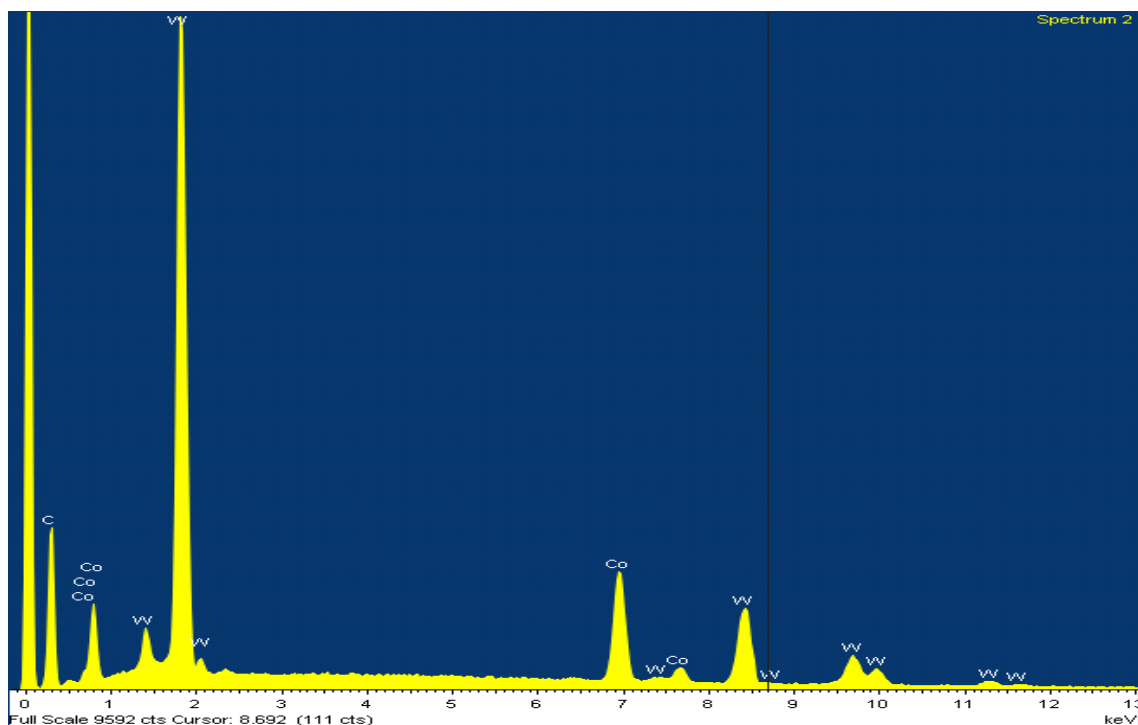


b)

Sele 10. Lähtepulbrist valmistatud WC-20% Co paagutatud 1500°C juures 30 min survega 30 baari RD. a) X200 ;b) X2000

Selleks, et likvideerida jääkpoorsus, kasutati järgnevalt survepaagutust kõrgel (1500°C) temperatuuril. Paagutuse lõppfaasis lisati Ar gaasi surve 30 baari 15 minuti kestel.

Nagu Sele. 10a näha on fotol märgata veel musti täppe, mis tõenäoliselt on poorid. Nii poorid kui ka η-faas on kahjulikud ja seepärast sellise koostisega sulam ei kõlba praktiliseks kasutamiseks. Karbiiditerade kuju pole sarnane tavakõvasulameile. Terad on ühes suunas välja venitatud. Selline karbiiditerade kuju võib alandada sulami tugevust. Viimati valmistatud WC-Co sulamil määrati keemiline koostis EDS meetodil (Sele 11). Karbiidi faas koosneb ainult W ja süsinikust (valge ala). η-faas koosneb W, Co ja süsinikust (helehall ala) ja sideaine koosneb põhiliselt koobaltist, milles on lahustunud veidi volframi (tume ala).

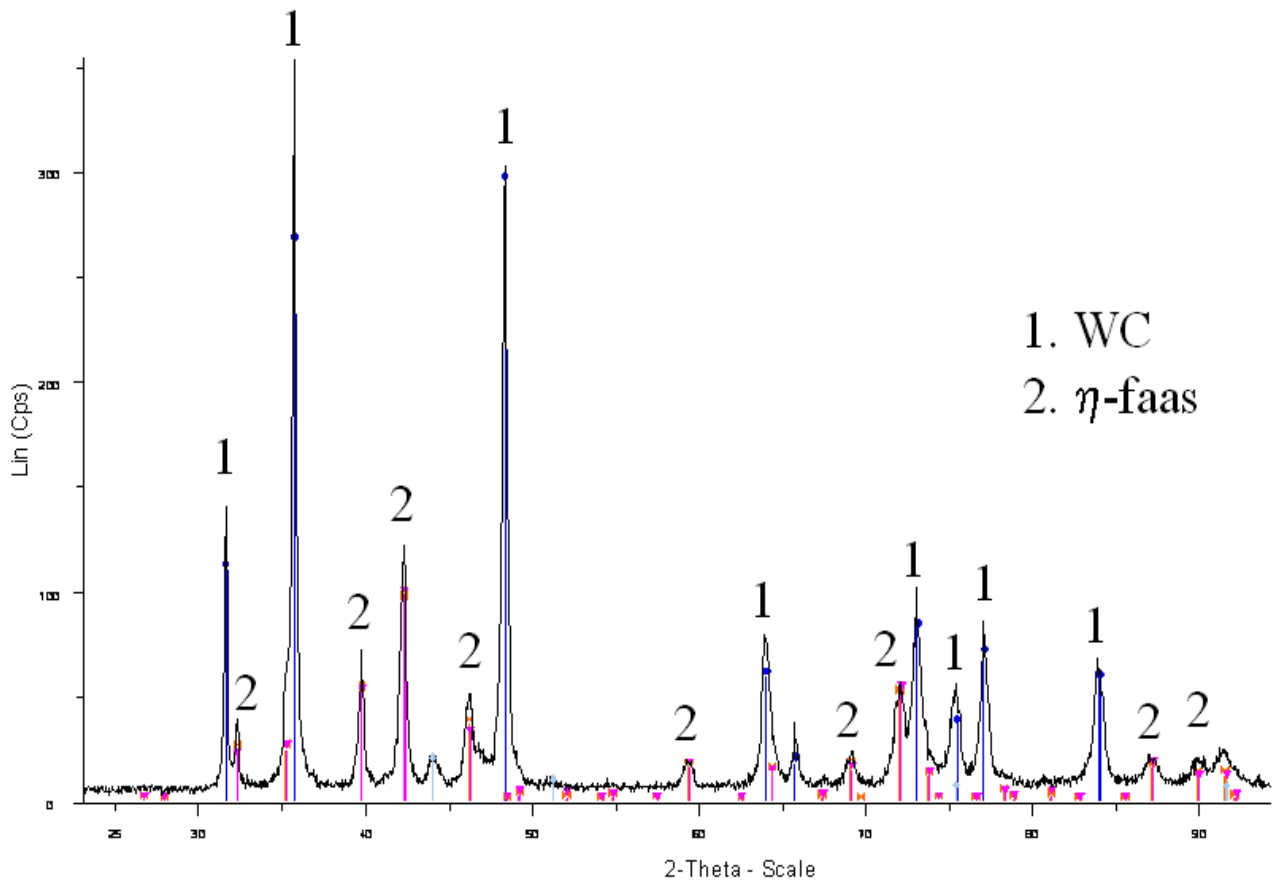


c)

Sele 11. WC-20%Co keemiline koostis EDS järgi. a) karbiidi faas (hele faas), b) η-faas (helehall), c) sideaine (tume faas).

Röntgenograafilise uuringud kinnitasid eelöeldut. Nagu Sele 12. näha koosneb WC-20mass%Co regenerereeritud kõvasulam põhiliselt volfram monokarbiidi (WC) ja η-faasist (W_3Co_3C). Vaba koobalti kogus on sulamis niivõrd vähe, et joonisel tema joon praktiliselt puudub. Tõenäoliselt, on kogu koobalt kogunenud η-faasi.

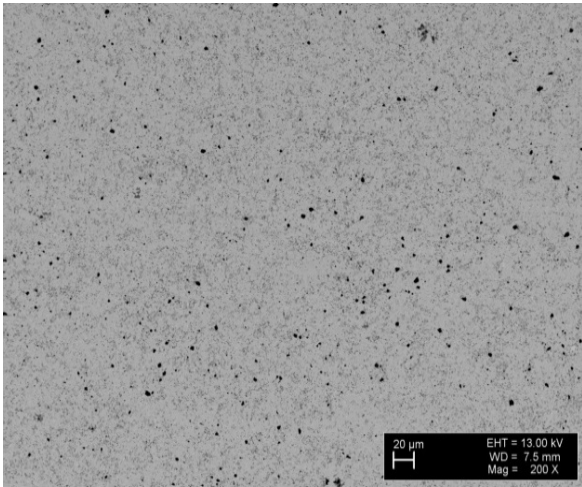
Seega tõepoolest toimub jäätmete purustamise ja peenestamise käigus osaline süsiniku eemaldumine, mistõttu WC ja Co pulbrisegu algsel kujul ei kõlba kõvasulamite valmistamiseks.



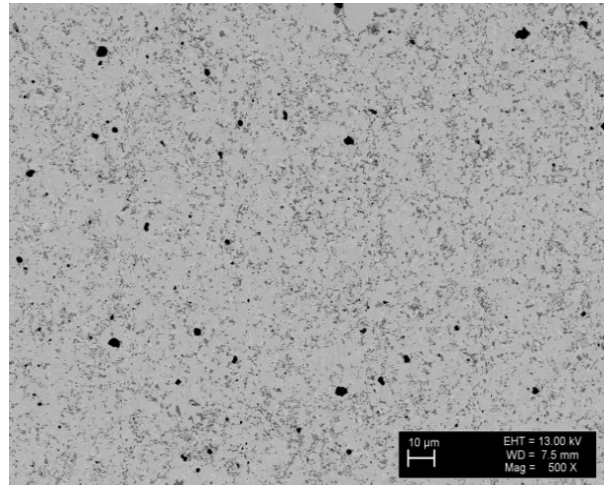
Sele 12. XRD röntgenogramm WC-20%Co sulamist, mis valmistatud jäätmete pulbrist ja paagutatud 1500°C juures 35 minutit surve all 30 baari

3.4. Süsiniku sisalduse mõju WC-20%Co kõvasulamite struktuurile

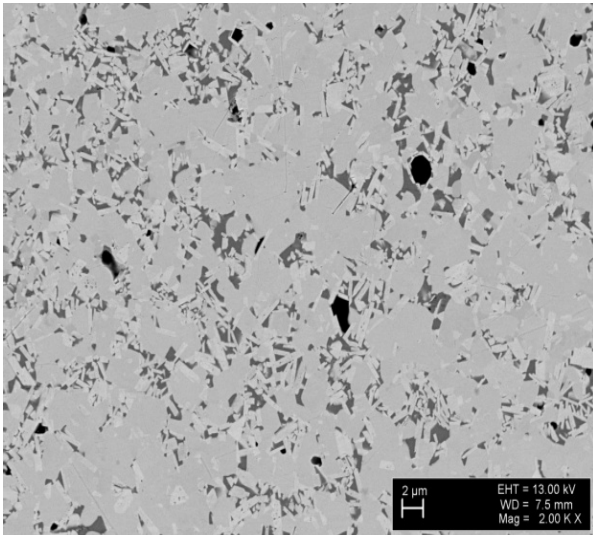
Eelöeldud arvestades hakati täiendavalt lisama pulbrisegule grafiidipulbrit 0,5 mass% kaupa. Pulbrisegu jahvatati kuulveskis etüülpüüratuse keskkonnas täiendavalt 72 tundi kuulide ja segu suhtega 10:1. Jahvatatud pulber kuivatati, plastifitseeriti ja pressiti painde- ja kulutamise katsekehad ning paagutati SinterHIP ahjus. Kuna suurema süsiniku sisaldus juures η-faasi ei moodustu, siis pole paagutamiseks vaja nii kõrget temperatuuri. Pealegi toimub kõrge temperatuuril ebasoovitav karbiiditerade kasv. Järgnevad sulamid paagutati 1390°C juures 35 minutit Ar gaasi surve all 30 baari. Sulamite struktuurid on toodud seledel 13 kuni 19.



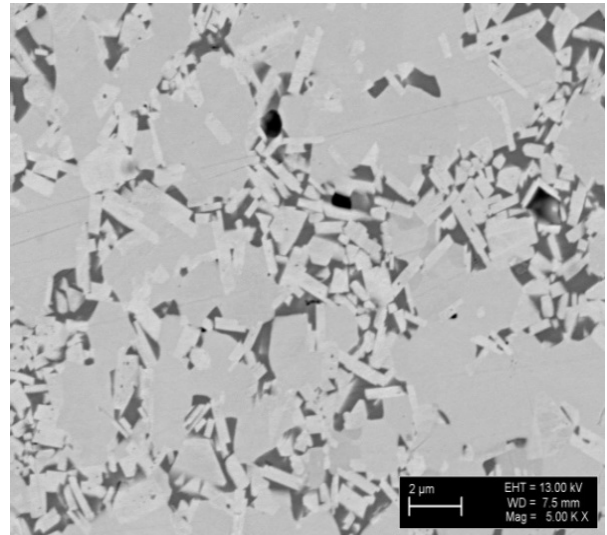
a)



b)

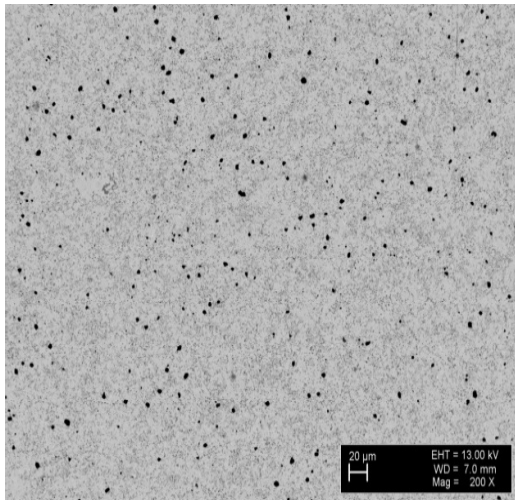


c)

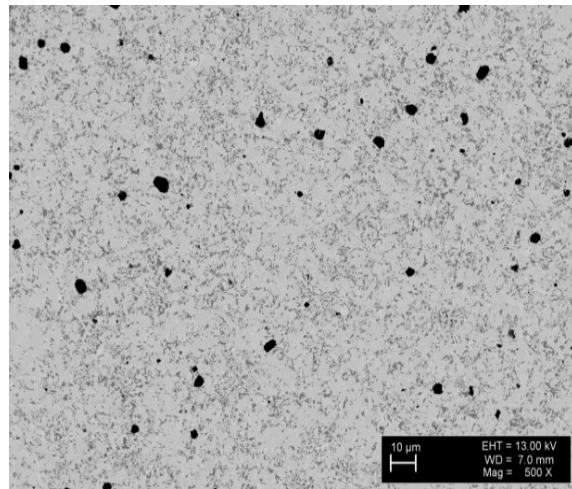


d)

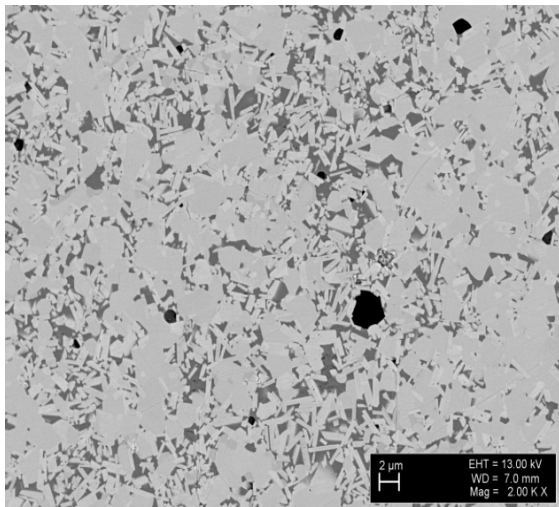
Sele 13. WC-20%Co +0,5%C struktur a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000



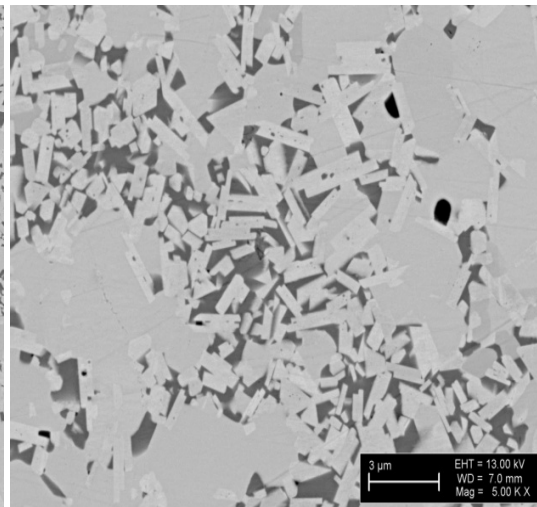
a)



b)

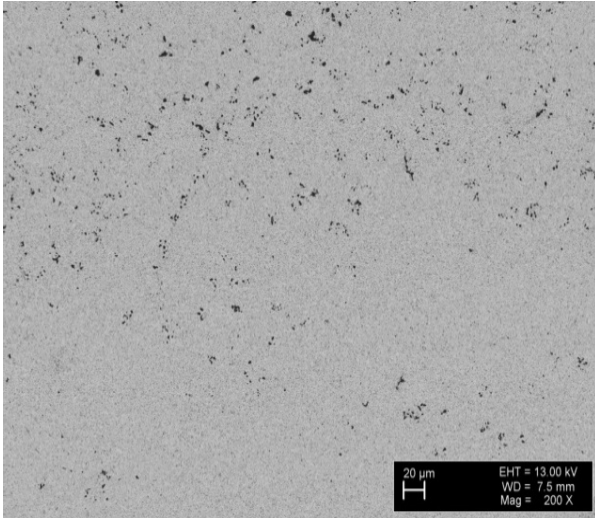


c)

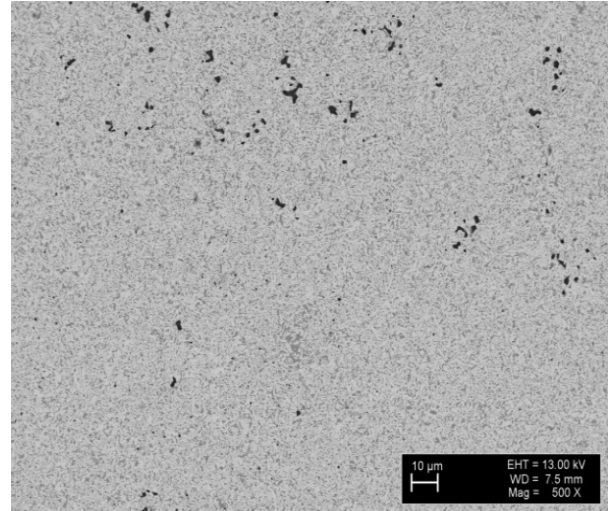


d)

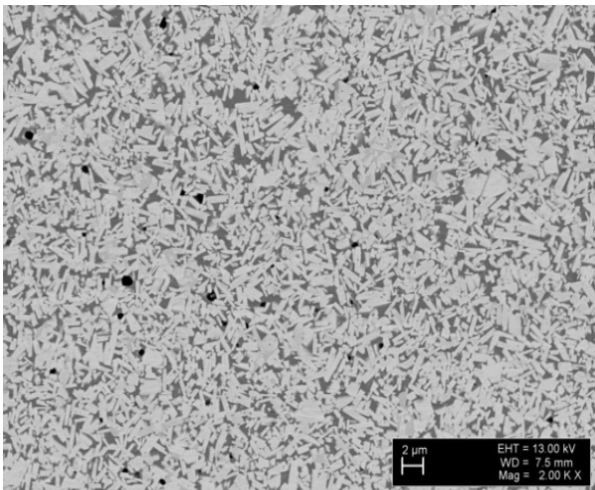
Sele 14. WC-20%Co + 1%C structuur a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000



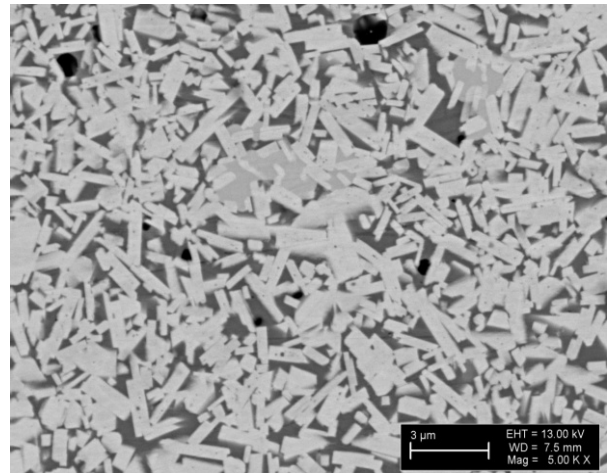
a)



b)

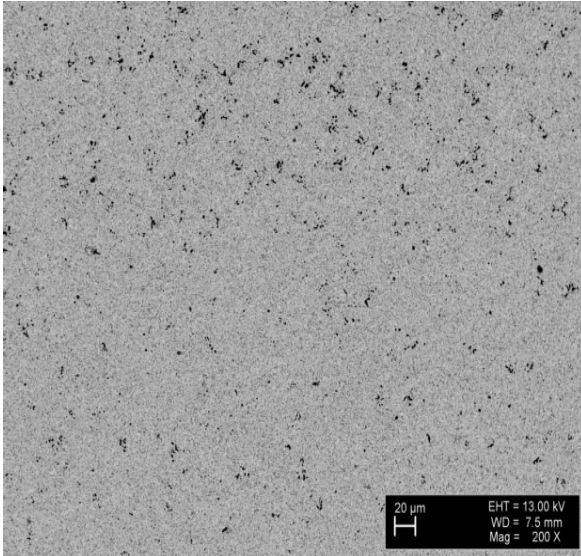


c)

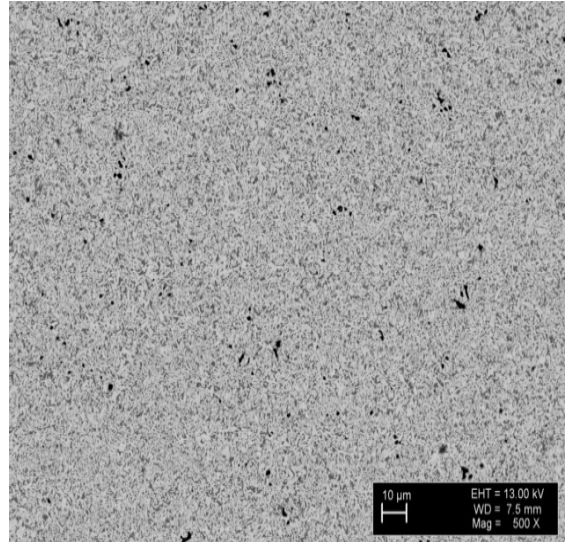


d)

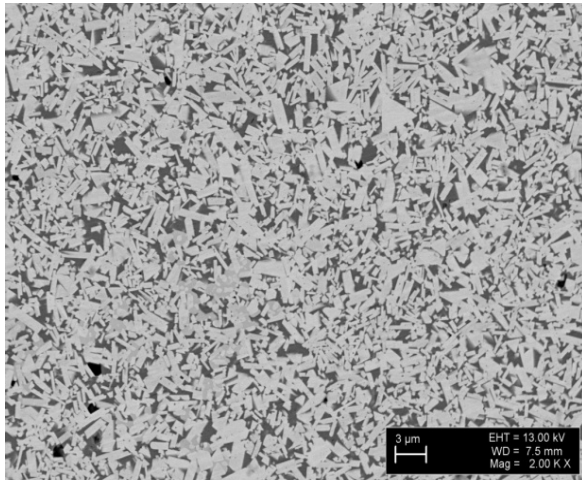
Sele 15. WC-20%Co + 1,5%C struktur a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000



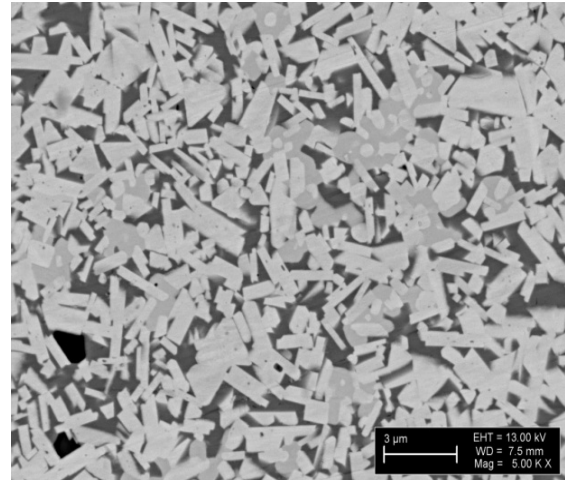
a)



b)

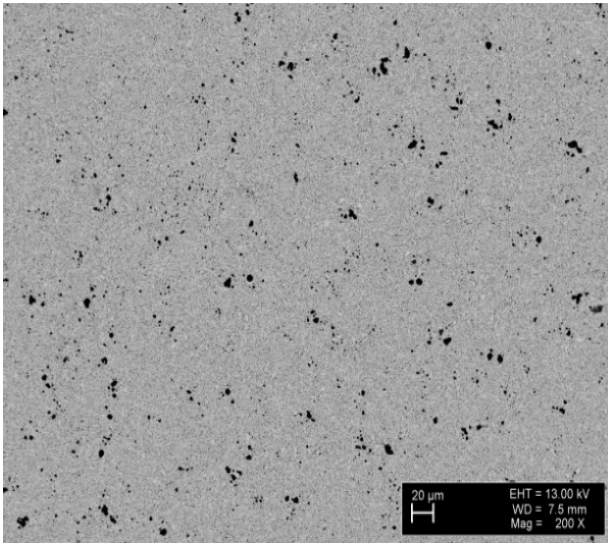


c)

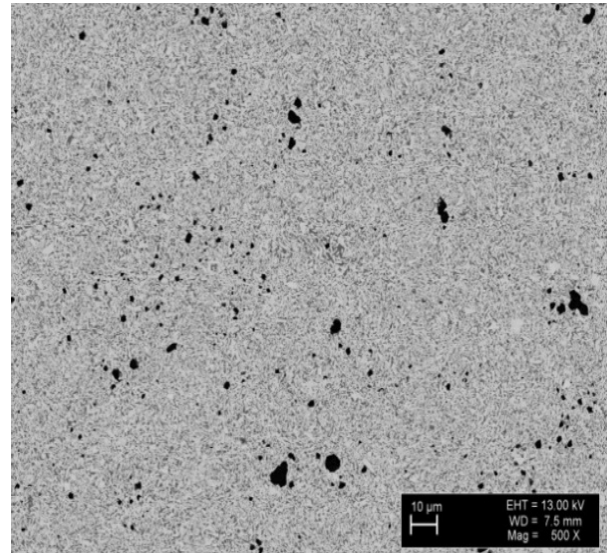


d)

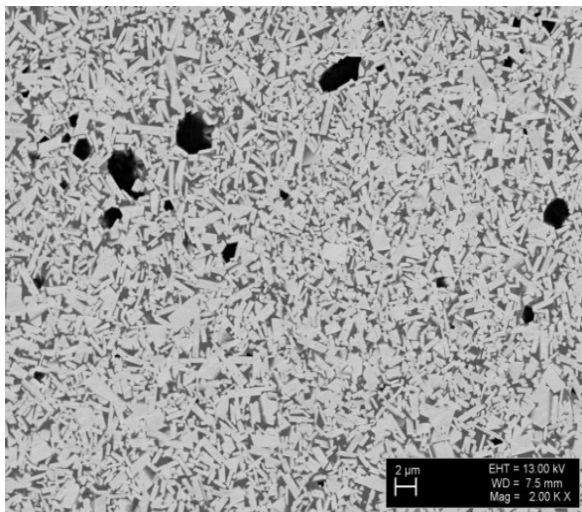
Sele 16. WC-20%Co + 2%C struktur a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000



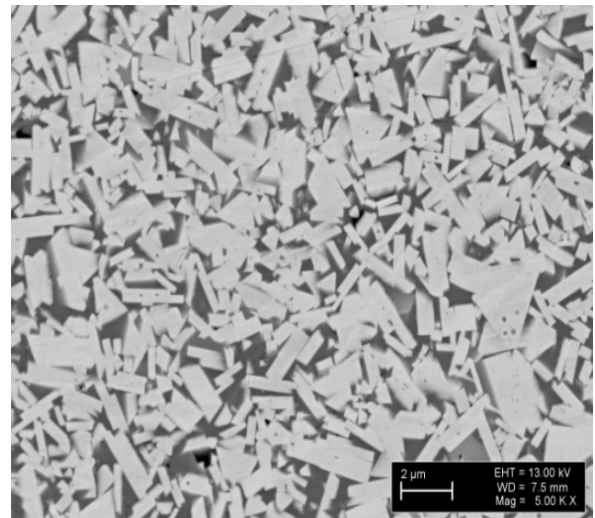
a)



b)

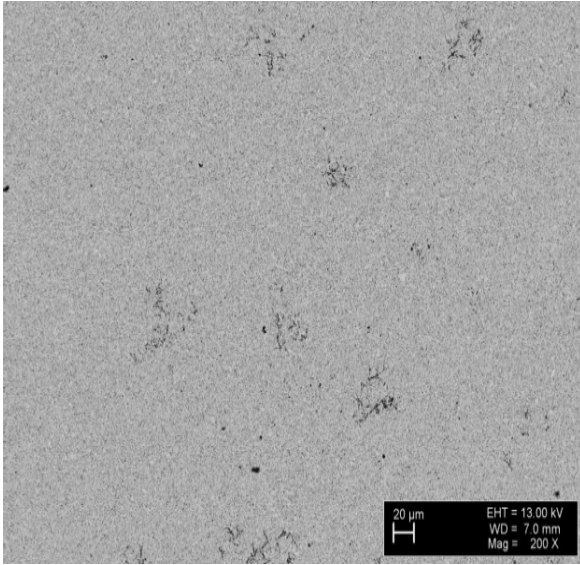


c)

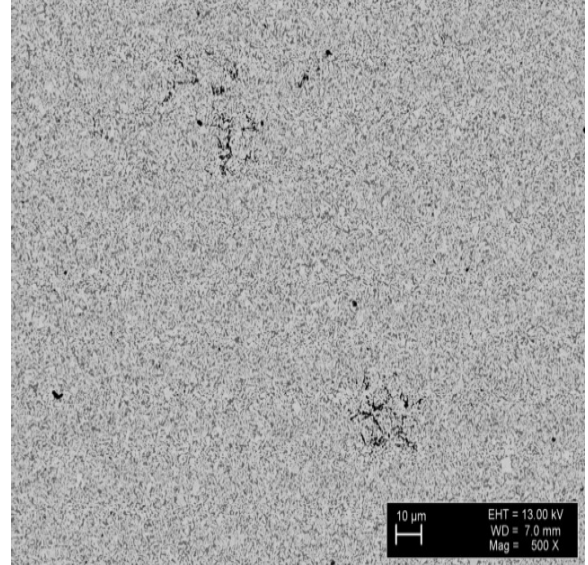


d)

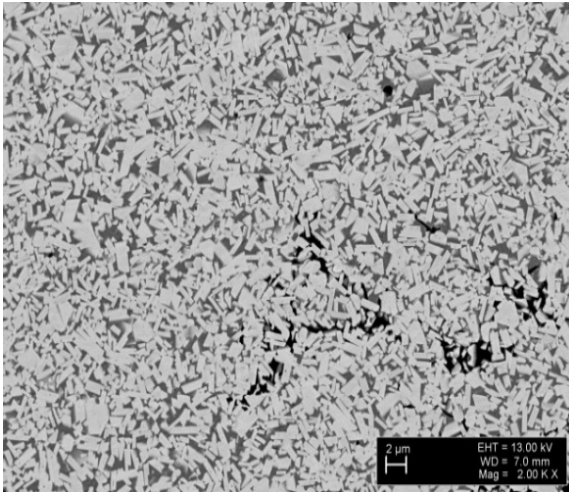
Sele 17. WC-20%Co + 2,25%C struktur a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000



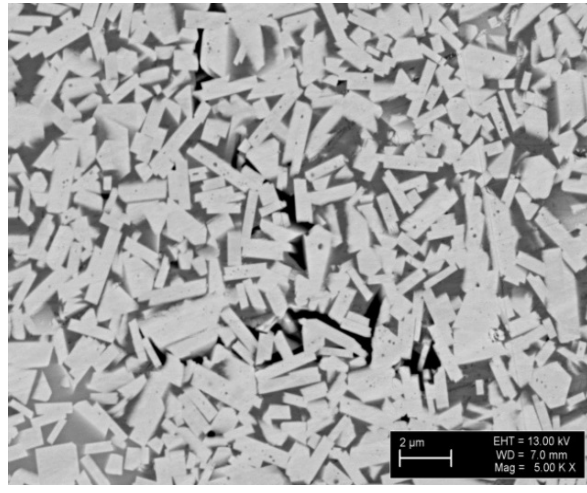
a)



b)

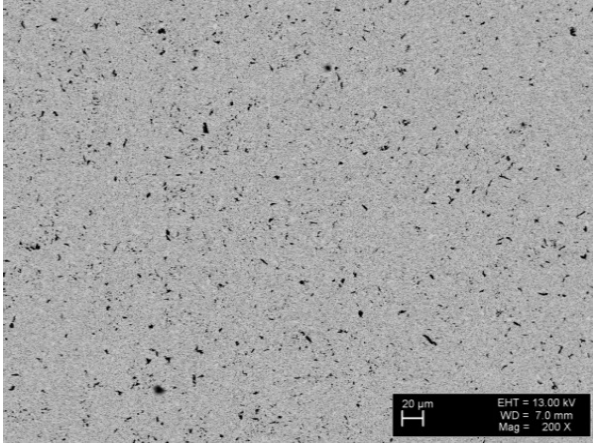


c)

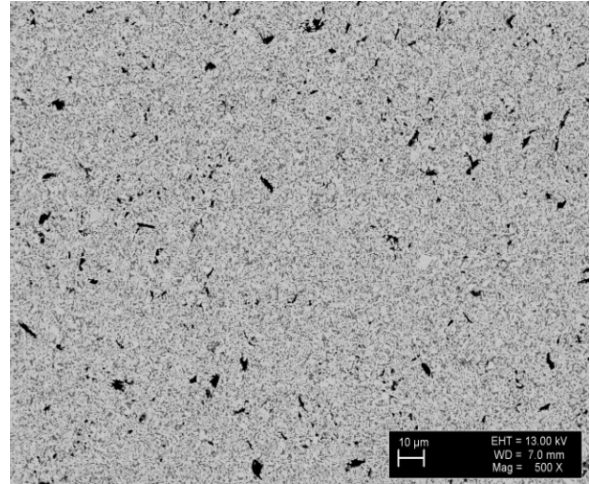


d)

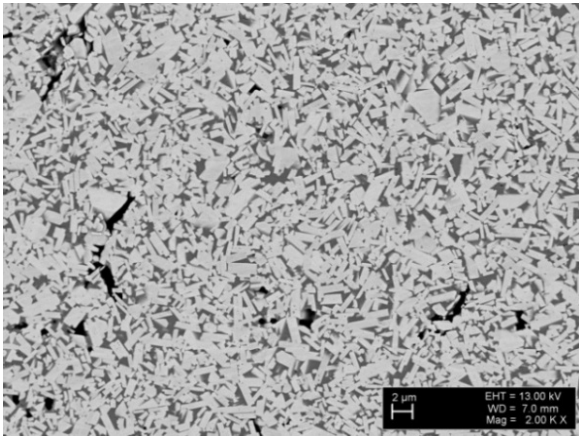
Sele 18.WC-20%Co +2,5%C struktur a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000



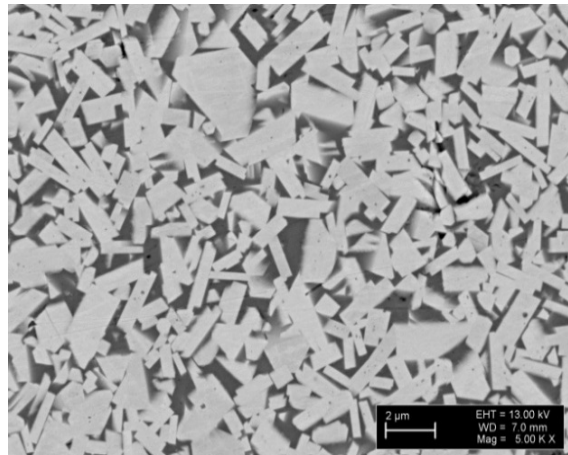
a)



b)



c)



d)

Sele 19. WC-20%Co + 3%C structuur a) X200, b) X500, c) X2000; d) X5000

Seledel 13 ja 14 on näha struktuuris on veel palju väikesi poore ja η -faas, seel 15 kujutatud materjali struktuuris esineb veel veidi η -faasi ja üksikuid väikesi poore.

Seel 16 on näha struktuuris väikesi poore, kuid η -faas praktiliselt puudub. Karbiiditerad on tugevasti välja venitatud.

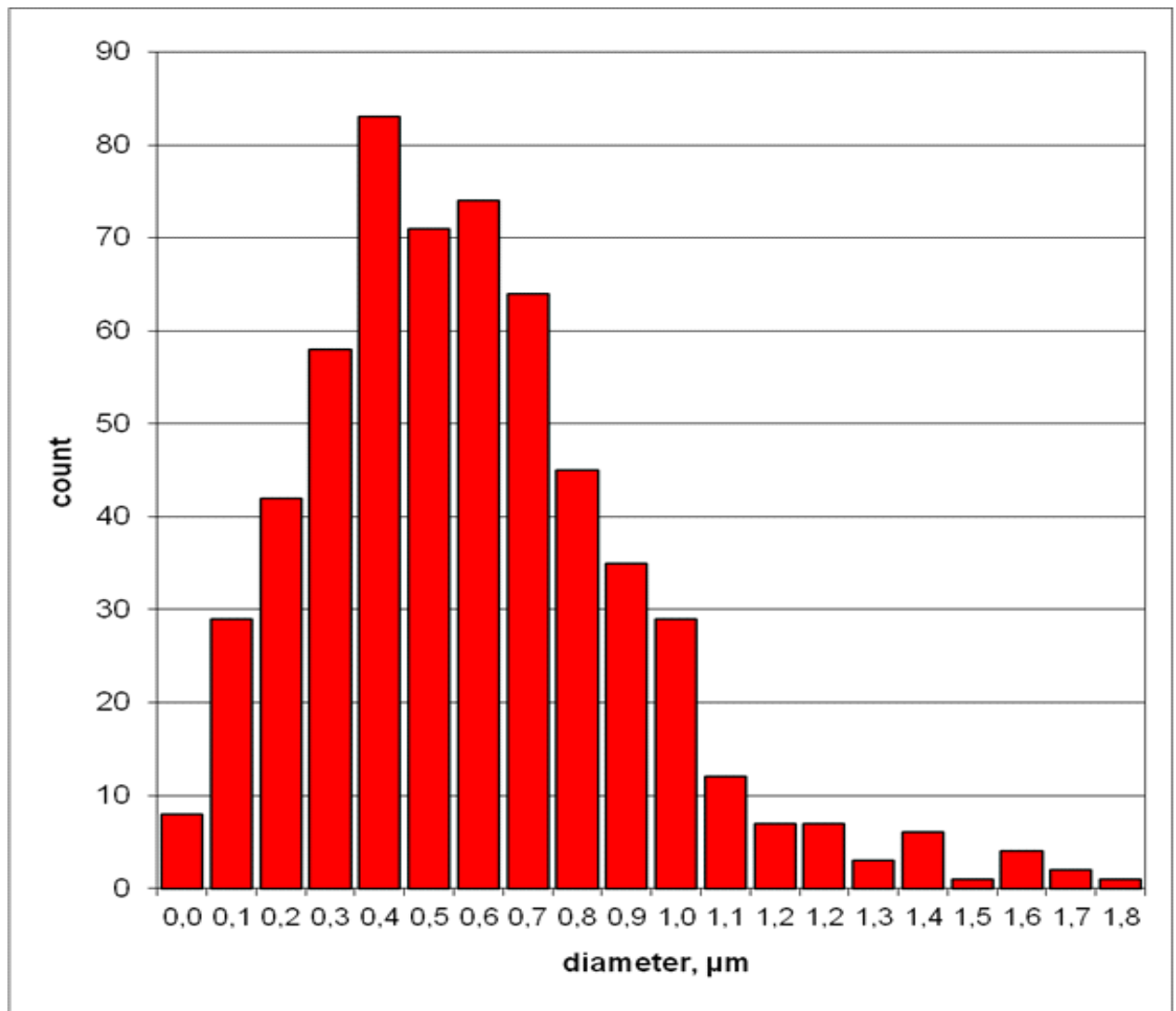
Seel 17 on struktuur poorne, kuid η -faas puudub.

Seel 18 on tekkinud struktuuri üksikud vaba grafiidi pesad. Poorsus praktiliselt puudub.

Sele 19 Struktuuris on näha hulgaliselt vaba grafiiti.

Seega lisatava grafiidi optimaalne kogus on 2 mass%. Karbiiditerad on kuju ja suuruse järgi lähedased tavalisele WC-Co struktuurile. Karbiiditerade keskmine suurus on 0,62 μm , mis vastab peeneteraliste kõvasulamite struktuurile. Karbiiditerade suuruse jagunemine on ühtlane (Sele 20).

Täpsustati ka ka sideaine kogus, mis oli 31,4 mahu%. See vastab sulamile WC-20 mass% Co. Seega peenestamise käigus koobalti kadu ei toimunud.



Sele 20. Karbiiditerade suuruse jagunemine WC-20%Co-2%C sulamis (keskmine karbiiditera suurus 0,62 μm).

3.5. Regeneereeritud WC-Co kõvasulamite omadused.

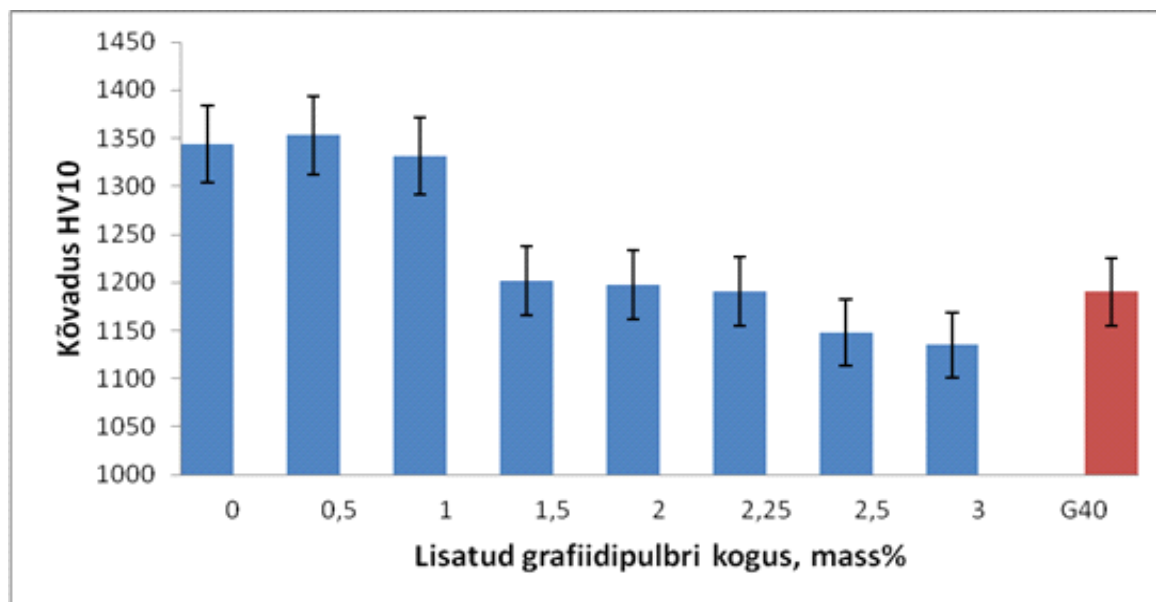
Regeneereeritud WC-Co kõvasulamitel määrati mehaanilised omadused (kõvadus, paindetugevus) ja abrasiiverosioonikindlus ning võrreldi neid tavatehnoloogia järgi valmistatud sama keemilise koostisega sulamitega.

Määrati regeneereeritud WC-20%Co kõvasulamite omadused sõltuvalt lähtepulbrile lisatud grafiidipulbri kogusest. Tulemusi võrreldi sama sideaine kogusega firma „Boart Longyear OY“ kõvasulamiga G40, mis koosneb 80 mass%WC ja 20 mass% Co. Kõik sulamid paagutati 1390°C juures 30 minutit rõhu all 30 baari.

Vikersi kõvadus mõõdeti vastavalt ISO 6508-86 standardile. Kasutati koormust 10 kG.

Paindetugevus määrati kolme punkti meetodil vastavalt ISO 3327-82.

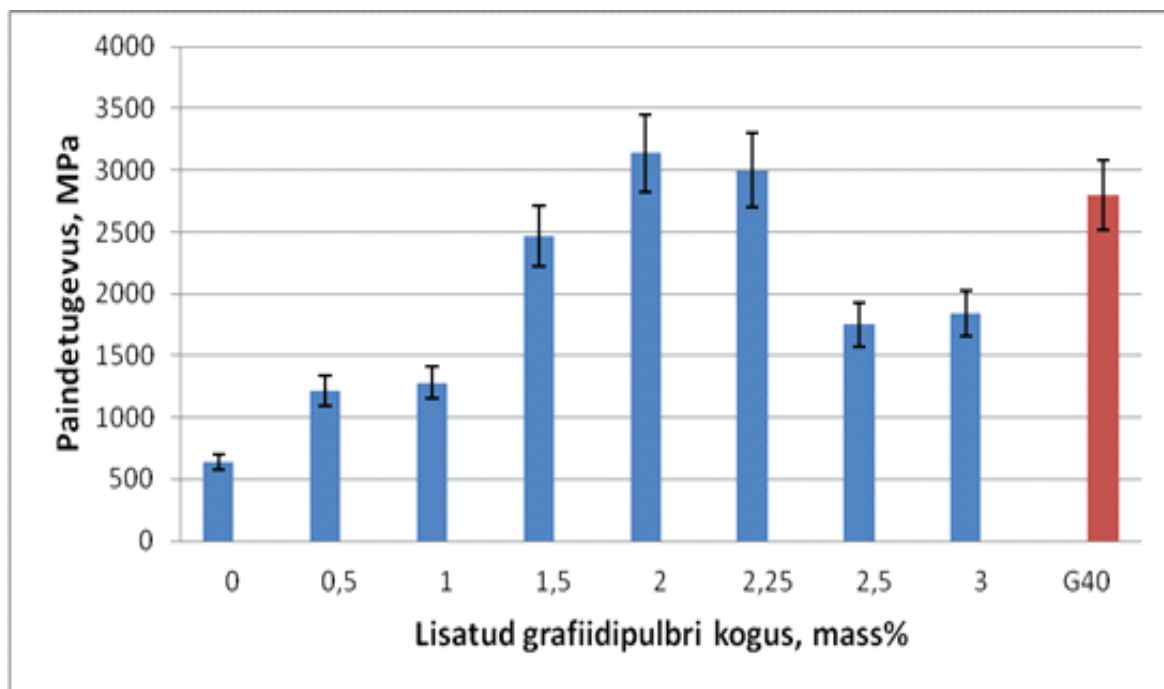
Kõvasulamite abrasiiverosioonikindlus määrati tsentrifugaalkiirendil CAK-3m. Vastavalt meetodikale katsekehad pommitati liivaosakestega suurusega 0,1-0,3 mm kiirusega 80 m/s kohtamisnurgaga 30°. Kulumine määrati katsekeha kaalu vahega enne ja pärast katsetamist. Pärast teisendati kaaluline kadu mahuliseks.



Sele 21. Regeneereeritud WC-Co kõvasulamite kõvadus sõltuvalt lisatud grafiidi pulbri kogusest.

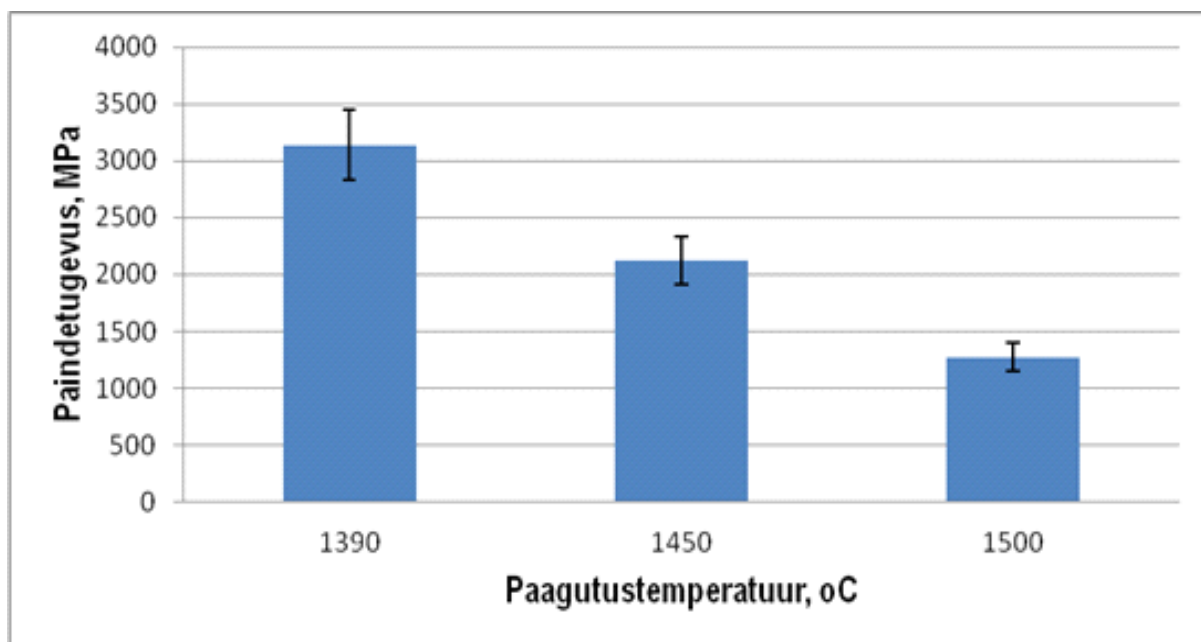
Nagu Sele 21. näha sõltub sulami kõvadus oluliselt lisatud grafiidipulbri kogusest s.o. sulami faasilisest kogusest. Kui grafiidipulbrit ei lisatud või lisati kuni 1 mass% on sulamis palju η -faasi, mistõttu on sulam suure kõvadusega ületades tunduvalt ka firma sulami (G40) kõvaduse. Suure grafiidisisaldusega sulamite kõvadus jääb alla tavatehnoloogia järgi valmistatud kõvasulamile. Optimaalse süsiniku sisaldusega kõvasulami kõvadus on võrdne sama koostisega firma sulami kõvadusega.

Ka paindetugevus sõltub oluliselt lisatud grafiidipulbri kogusest sulamis (Sele 22). Parimat paindetugevust omavad kahefaasilised sulamid, kus lähtepulbrile oli lisatud 2 mass% grafiidipulbrit. Nende tugevus ületab veidi ka firma kõvasulami (G40) tugevuse. Sulamid, mille struktuuris on η -faasi on väga kõvad ja haprad, mistõttu purunevad kergesti. Teisest küljest, sulamid, mis sisaldavad vaba grafiiti on väiksema tugevusega. Kuna grafiidil on tühine tugevus, siis võib grafiifiliblesid vaadelda kui poore.



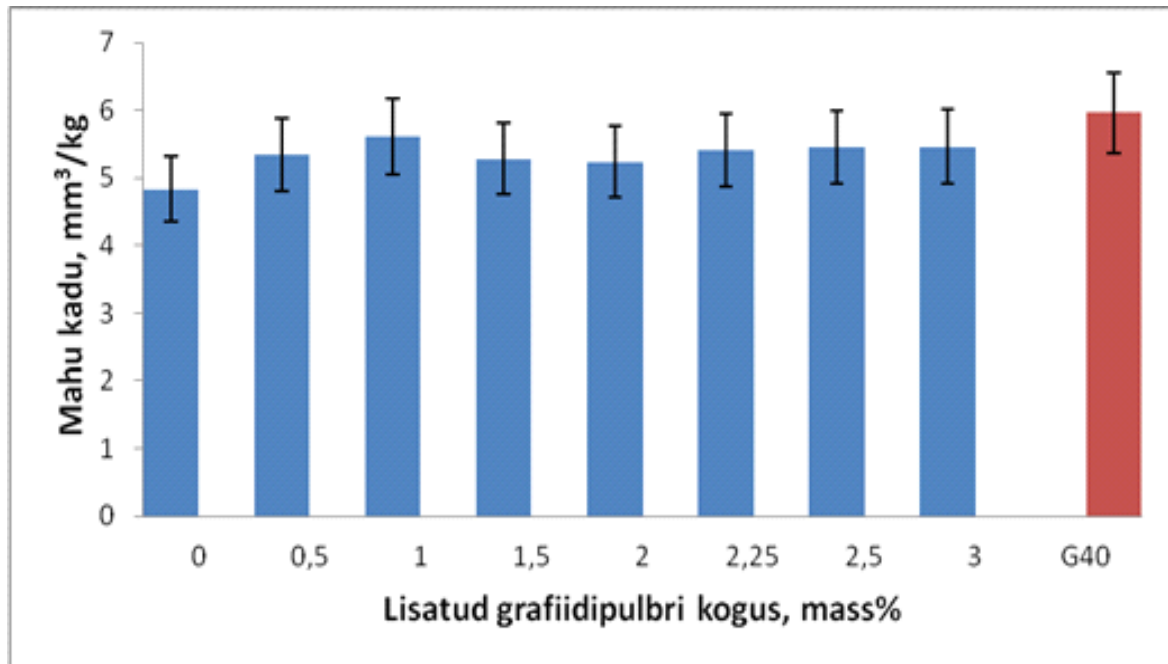
Sele 22. WC- 20%Co sulami paindetugevus sõltuvalt lisatud grafiidipulbri kogusest.

Ka paagutustemperatuur osutab olulist mõju paindetugevusele (Sele 23). Sulamid, mis paagutati kõrgemal temperatuuril on väiksema tugevusega. See on eelkõige tingitud karbiiditera suurusest, mis on suurem, kui paagutustemperatuur on kõrgem. Paagutuse käigus toimub intensiivne karbiiditerade kasv.



Sele 23. WC-20%Co+2%C paindetugevus sõltuvalt paagutustemperatuurist

Regeneereeritud WC-20%Co kõvasulamite erosioonikiirus sõltub ka mõningal määral lisatud grafiidipulbri sisaldusest (Sele 24). Kuigi vähese grafiidi sisaldusega sulamid on kõvemad ja seega peaksid olema suurema erosioonikindlusega, aga suure hapruse tõttu toimub abrasiivosakese löögi tulemusel materjali pragunemine ja väljamurenemine ning sellepärast nad ei ole suurema erosioonikindlusega. Nagu Sele 24 nähtub, kõik katsetatud regeneereeritud WC-20%Co kõvasulamid ei erinenud oluliselt üksteisest ja on veidi paremad firma pulbrist valmistatud sulamist.



Sele 24. Regeneereeritud WC- 20%Co mahu kadu liivajoas ($v=80$ m/s, $\alpha=30^\circ$)

3.6 Kokkuvõte

Käesoleva töö raames töötati välja tehnoloogia WC-Co jäätmete taaskasutamiseks. WC-Co jäätmete peenestamiseks kasutati elektrihüdraulilist meetodit. Leiti, et peenestamisel muutub WC-Co sulami keemilise koostis s.o. toimub süsiniku osaline eraldumine karbiidist. Seepärast süsiniku kao korvamiseks lisati enne pulbrisegu täiendavat jahvatamist kuulveskis erinevad kogused grafiidipulbrit. Antud sulami (WC-20 mass%Co) puhul on optimaalne lisada 2,0 mass% grafiidipulbrit. Paagutusrežiim ei erine tavapaagutuse režiimist.

Sellise koostisega pulbrist valmistatud kõvasulamid on struktuurilt ja omadustelt (kõvadus, painetugevus, abrasiiverosioonikindlus) võrdväärsed firma Element Six pulbrist valmistatud kõvasulamitega.

4. Oksüdeeritud pulbri jahvatamiseks kuulveski projekteerimine

4.1 Ülesande püstitus

Ülesandeks on projekteerida 40 liitri trumlimahuga kuulveski, suuremates kogustes oksiidipulbrite jahvatamiseks.

Mootori valik ja konstruktsioonide arvutused on tehtud kasutades Igor Penkovi ja Priit Põdra loengumaterjale ja harjutusnäidiseid. [18]; [19]; [20]

4.2 Kuulveski projektarvutused

4.2.1 Kuulveski trumli mõõtude ja materjalide valik.

Maht $V=40 \text{ l}=0,04\text{m}^3$

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}$$

Eeldusel et $d \approx h$ saame,

$$V = \frac{\pi d^3}{4}$$

Sellest lähtudes

$$d = \sqrt[3]{\frac{V * 4}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{0,04 * 4}{\pi}} = 0,37$$

Valime $d=0,4\text{m}$

Lähimates mõõtudes saadaolev toru on el. keevistoru Ø377 seinapaksusega 6mm (GOST 10705 St 20)

Kui välisläbimõõt on 377, siis siseläbimõõduks saame, $377 - 12 = 365 \text{ mm}$.

Kulumiskindluse tagamiseks tuleks teha trummel kaheosaline, välisosa Ø377x6mm, sisse valime 4mm paksuse RAEX lehtmaterjali, mis tuleb mõõtu lõigata ja ümaraks rullida või painutada painutuspingis.

Trumli mahu kontroll, kaheosalise trumli puhul,

$$D=377-12-8=357 \text{ mm} = 0,357 \text{ m}$$

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} = \frac{\pi * 0,357^2 * 0,4}{4} = 0,04003 \text{ m}^3$$

Tagamaks igal juhul mahu 40 l valin trumli sügavuseks 410 mm, siis

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} = \frac{\pi * 0,357^2 * 0,41}{4} = 0,041 \text{ m}^3 = 41 \text{ l}$$

4.2.2 Trumli pöörlemiskiiruse arvutamine

Materjalide jahvatamiseks on vaja, et trummel pöörleks vahemikus 70 kuni 80% kriitilisest, kus kriitiline kiirus on see, kus hakkavad jahvatuskuulid ja materjal trumliga kaasa pöörlema.

$$CS = \frac{42,3}{\sqrt{d}} = \frac{42,3}{\sqrt{0,357}} = 70,8 \text{ 1/min} \quad [17]$$

Jahvatamiseks sobiv kiirus,

$$CS_{70\%} = 70,8 * 0,7 = 49,6 \text{ 1/min}$$

$$CS_{80\%} = 70.8 * 0,8 = 56,64 \text{ } 1/min$$

Valin jahvatuskiiruseks $\omega_T = 50 \text{ } 1/min$

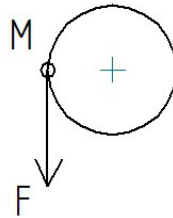
4.2.3 Mootori valik

Käivitushetkel vajalik võimsus

$$P_T = T * \omega_T$$

Kus, T – pöördemoment Nm, ω_T – nurkkiirus rad/s.

Kõige suuremat pöördemomenti on vaja hetkel, kui kuulid asetsevad poolel trumli kõrgusel, mööda trumli seina. (Sele 25)



Sele 25.

M - kuulide ja jahvatatava meedia kogumass

$$P_T = T * \omega_T,$$

$$T = M * g * r,$$

$$\omega_T = 50 \text{ } 1/min = 5,2 \text{ } rad/s$$

$$P_T = T \cdot \omega_T = M \cdot g \cdot r \cdot \omega_T = 100 \cdot 9,81 \cdot 0,2 \cdot 5,2 = 1020 \text{ W}$$

Mootori vajalik võimsus,

$$P_{m,min} = \frac{P_T}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3} = \frac{1020}{0,99 \cdot 0,95 \cdot 0,99} \approx 1,1 \text{ kW}$$

η_1 – mootori kasutegur

η_2 – kettülekanne kasutegur

η_3 – laagripaari kasutegur

Valin mootori R67DT90L4

$$P_m = 1,5 \text{ kW} ; \omega_R = 71 \text{ 1/min} ; M_a = 200 \text{ Nm} ; m = 41 \text{ kg} ; i = 19,89 \text{ [13]}$$

4.2.4 Kettülekanne

$T = 200 \text{ Nm}$

Reduktor 71 1/min

Trummel 50 1/min

$$U = \frac{71}{50} = 1,42$$

Vedava ratta pöördemoment

$$T_k = \frac{T}{u \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{200}{1,42 \cdot 0,92 \cdot 0,99} = 157 \text{ Nm}$$

Ketirataste hammaste arv

$$Z_1 = 18$$

$$Z_1 = 18 \cdot 1,42 \approx 26$$

$$u = \frac{26}{18} = 1,444$$

Koormuse tegur, $K \approx 3,2$

Keti samm

$$t \geq 2,8 * \sqrt[3]{\frac{K * T_k}{Z_1 * p}} = 2,8 * \sqrt[3]{\frac{3,2 * 141,2}{18 * 46,5 * 10^6}} \approx 23 \text{ mm}$$

p – keskmine erisurve; $p=4,6$ kuna $t \neq 17$ siis $p=46,5$ MPa

Valin keti 20B1W

$$t = 31,75 \quad F_{kr} = 95 \text{ kN} \quad b = 19,56 \quad d = 19,05 \quad q = 3,7 \text{ kg/m}$$

Keti kiirus

$$V = \frac{18 \cdot 31,75 \cdot 71}{60 \cdot 10^3} = 0,67 \text{ m/s}$$

Ringjõud

$$F_r = \frac{T_k * \omega}{v} = \frac{T_k * \pi * n_m}{30v} = \frac{200 \cdot 3,14 \cdot 70}{30 \cdot 0,67} \approx 2,2 \text{ kN}$$

Rullis tekkiv surve

$$p = \frac{KF_r}{bd} = \frac{3,2 \cdot 2200}{19,56 \cdot 19,05} \approx 20 \text{ MPa}$$

Jõud ketis

Telgede vahe $a = 0,380\text{mm}$

$$F_f = 9,81 * K_f * q * a = 9,81 * 1,5 * 3,7 * 0,38 = 20,7 \text{ N}$$

Tsentrifugaaljõud

$$F_t = qv^2 = 3,7 * 0,67^2 = 1,66 \text{ N}$$

Koormus võllile

$$F_v = F_r + 2 * F_f = 2200 + 2 * 20,7 = 2241,4 \text{ N}$$

Varutegur

$$S = \frac{F_{kr}}{F_r + F_t + F_f} = \frac{95000}{2200 + 1,66 + 20,7} \approx 42$$

[18]

4.2.5 Võlli arvutus

Võlli lubatud minimaalne läbimõõt

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau]}}$$

Kus T - Pöördemoment

$[\tau]$ – 30 Mpa

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 200}{\pi * 30 * 10^6}} \approx 0,033 \text{ m} \approx 33\text{mm}$$

Keevisosa min lubatud läbimõõt, juhul kui keevise minimaalne lubatud ristlõike kõrgus on 2mm,

$$\frac{d}{D} = \frac{65}{68} = 0,956$$

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau][1 - (\frac{d}{D})^4]}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 200}{\pi * 30 * 10^6 * (1 - 0,956^4)}} \approx 0,043$$

Toru minimaalsed mõõdud on $D=43\text{mm}$; $d=46\text{mm}$

Seega valitud võll, kus momenti üle kandva täismaterjali läbimõõt on 55mm ja keevisosa läbimõõt on 65mm vastab tugevustingimusele.

Liistu arvutus.

Liistu mõõdud valin vastavalt võlli ja ketiratta mõõtudele.

Sobiv liist oleks $b=16\text{mm}$, $h=10\text{mm}$, $t_1 = 6\text{mm}$, $t_2 = 4,3\text{mm}$, liistu pikkuseks valin 32mm .

Liistliitele lubatav pinge, $[\sigma]_c = 130 \dots 200 \text{MPa}$

Muljumispinge

$$\sigma_c = \frac{2T}{d * (h - t_1) * (l - b)} = \frac{2 * 200}{0,55 * (0,01 - 0,006) * (0,032 - 0,016)} = 113\text{MPa}$$
$$\sigma_c = 113\text{MPa} < [\sigma]_c = 130\text{MPa}$$

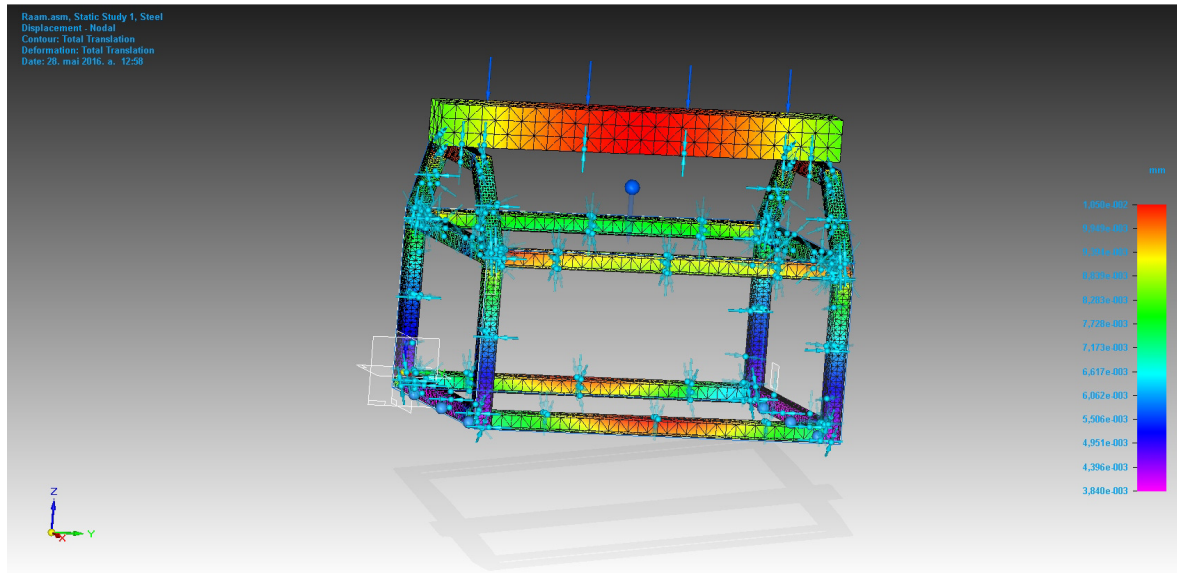
Lõikepinge

$$\tau = \frac{2T}{d * b * (l - b)} = \frac{2 * 200}{0,055 * 0,016 * (0,032 - 0,016)} = 28\text{MPa}$$
$$\tau = 28\text{MPa} < [\tau] = 70\text{MPa}$$

Antud mõõtudega liistu tugevus on tagatud.

4.2.6 Raami arvutus

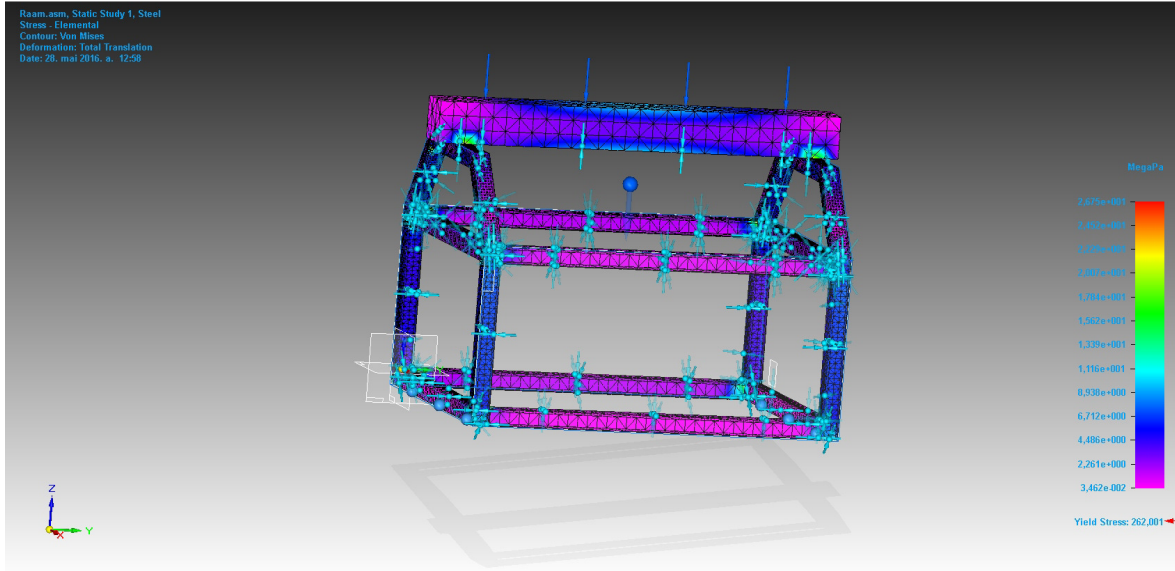
Raami materjali valisin S355J2H $30 \times 30 \times 3$ mm terastoru. Raami arvutamiseks kasutasin testmeetodit ja Solid Edge NX Nastran simulatsiooniprogrammi. Mudeli lihtsustamiseks asendasin veski trumli ja võllid nelikant latiga millele rakendasin jõu 2000N , arvutuskäik – veski omakaal $\sim 70\text{kg}$, jahvatuskuulide kogukaal $\sim 100\text{kg}$, jahvatatav materjal $\sim 10\text{kg}$.



Result component: Total Translation

Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	0,000e+000 mm	422,135 mm	5,200 mm	-33,605 mm
Maximum	4,526e-002 mm	151,354 mm	311,058 mm	441,395 mm

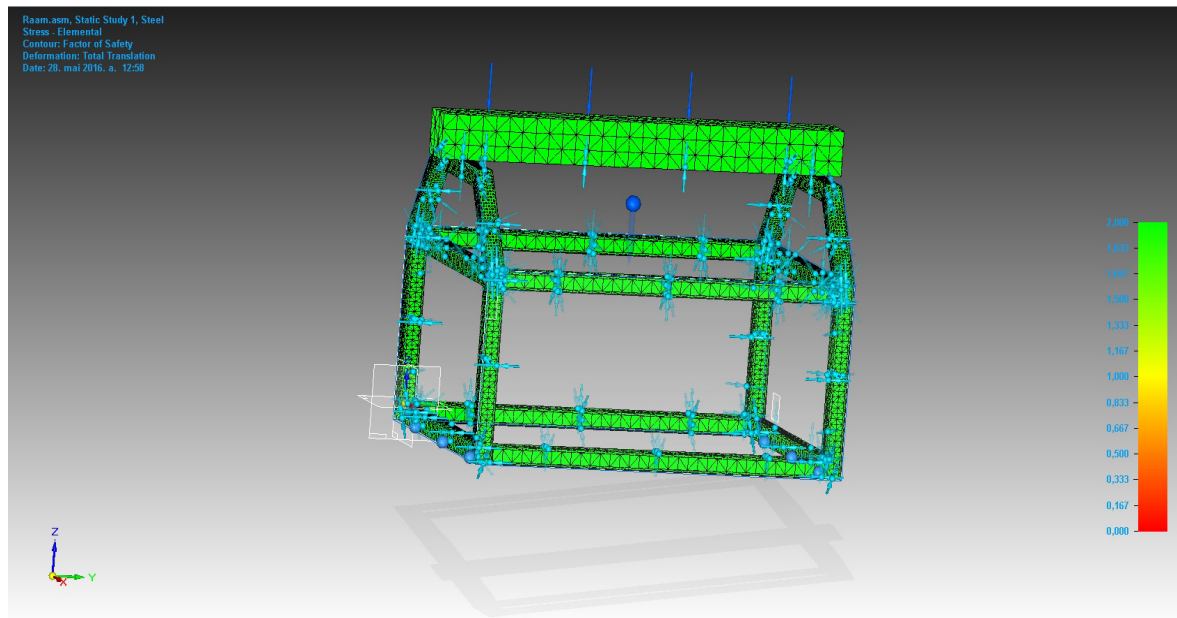
Sele 26. Tekkinud maksimaalne läbipaine 0,04mm



Result component: Von Mises

Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	4,694e-003 MPa	186,024 mm	27,400 mm	-28,405 mm
Maximum	3,729e+001 MPa	225,239 mm	24,800 mm	406,395 mm

Sele 27. Tekkinud maksimaalsed pinged 37,3 MPa



Result Component: Factor of Safety

Extent	Value	X	Y	Z
Minimum	0,000	225,239 mm	24,800 mm	406,395 mm
Maximum	2,000	186,024 mm	27,400 mm	-28,405 mm

Sele 28. Tugevuse varutegur

Antud analüüsi põhjal võib öelda, et valitud materjalid on sobivad raami koostamiseks.

4.3 Kokkuvõte

Käesolevas töös projekteeriti kuulveski vastavalt etteantud nõudele - trumli maht 40 liitrit.

Valmistamisel lähtuda järgmistest nõuetest:

Raam koostada nelikanttorust 30x30x3 mm S355J2H, mootori raam koostada nurkrauast 30x5.

Mootorreduktoriks on R67DT90L4; 1,1kW; 70 1/min; 149Nm; ülekandearvuga 19,89.

Mootorit ja veskit ühendab kettülekanne, ketiga 20B1W ja ketiratasteks N20B1-18 ja N20B1-26.

Kuulveski trummel on koostatud kahest osast, välisosaks on el. keevistoru Ø377 seinapaksusega 6mm (GOST 10705 St 20), ja siseosa 4mm paksuse RAEX lehtmaterjali, mis tuleb mõõtu lõigata ja ümaraks rullida või painutada painutuspingis. Trumli kaaned valmistada samuti RAEX lehtmaterjalist, mille külge tuleb keevitada võllid. Trumlit ja veskiraami valisin ühendama poolitatavad laagripukid SNL309 TA laagritega 309.

Kokkuvõte

Üha kahanevad materjalivarud sunnivad pöörama rohkem tähelepanu materjalide taaskasutamisele. Eriti kehtib see selliste vähelevinud metallide nagu volfram ja koobalt kohta. Ka Eesti ettevõttes TC Special Tools OÜ-s tekib aastas mitmesugustel põhjustel kümneid kilogramme WC-Co kõvasulamjääke, mis seni lähevad utili. Takistuseks on töö- ja energiamahukas kõvasulamjäätmete peenestamine uuesti pulbriks.

Kiievis Ukraina Materjalideprobleemide Instituudis on välja töötatud tehnoloogia materjalide purustamiseks elektrohüdraulilisel meetodil, mida saab kasutada ka kõvasulamjääkide peenestamiseks. TC Special Tools OÜ kõvasulamjäätmelad saadeti Kiievisse, kus nad purustati elektrohüdraulilisel disperseerimise seadmel.

Tagastatud pulbri uurimine näitas, et peenestamise käigus muutub WC-Co kõvasulamite keemiline koostis, täpsemalt väheneb süsiniku sisaldus WC.

Seepärast pole sel viisil peenestatud pulber kõlbulik WC-Co kõvasulamdetailide valmistamiseks, kuna paagutamisel moodustub $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ ja/või $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ nn. η -faas. Viimase olemasolu kõvasulamis muudab selle kõvaks, kuid väga hapraks.

Käesolevas töös uuriti täiendava süsiniku koguse mõju WC-Co struktuurile ja omadustele. Selleks lisati Kiievis peenestatud pulbrile täiendavalt erinevas koguses grafiidipulbrit, mis seejärel jahvatati kuulveskis. Saadud pulbrisegudest pressiti katsekehad paindetugevuse ja erosioonikindluse määramiseks.

Pressised paagutati vaakumis või gaasisurve (Ar) all erinevatel temperatuuridel leidmaks optimaalset paagutusrežiimi. Koos katsesegudega paagutati ka sama keemilise koostisega firma Boart Longyear OY originaalsegu G40. Samast pulbrisegust olid ka jätmed enne purustamist.

Magistritöö käigus tuvastati, et optimaalne täiendavalt sisseviidav grafiidipulbri kogus on 2 mass%. Sellise koostisega kõvasulamite struktuur on kahefaasiline ja kõvadus, paindetugevus ning erosioonikindlus ligilähedane originaalsulamiga. Optimaalne on kasutada sama paagutusrežiimi, mis origaalpulbri puhul ($T=1390\text{ }^\circ\text{C}$, $t=35\text{ min}$, $p=30\text{ baari}$).

Materjalide suuremas mahus jahvatamise jaoks projekteeriti kuulveski trumlimahuga 40 liitrit. Töös on toodud arvutused veski konstruktsioonelementide (mootor, raam, trummel, kuullaagrid, võllid ja kettülekanne) kohta.

Abstract

Ever-dwindling stocks of material force one to pay more attention to the recycling of materials. This especially goes for uncommon metals like tungsten and cobalt. In Estonian company TC Special Tools OÜ occurs annually for various reasons, dozens of kilograms of WC-Co hard metal scrap to go far for scrap. The main obstacle is labor and energy intensive grinding of hard metal into powder.

In Kiev, in the Ukrainian Institute of problems of materials technology has developed a method for breaking materials electro-hydraulically, which can also be used for hard metal scrap. TC Special Tools OÜ hard metal scraps were sent to Kiev, where they were crushed in an electro-hydraulic dispersing device.

Returned powder investigation showed that the pulverization alters the WC-Co cemented carbides chemical composition, in particular carbon content in the WC reduces.

Therefore, in this way finely divided powder is not suitable for preparing WC-Co hard metal products, as $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ is formed by sintering and / or the so-called $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ η -phase. Which existence makes the hard metal stiff, but very brittle.

The purpose of this study was to examine the impact of an additional amount of carbon on WC-Co structure and properties. To the powder, crushed in Kiev, additional carbon was added in different amounts, which were then milled in a ball mill. The obtained powder mix was compressed into test pieces for flexural strength and erosion resistance determination.

Test pieces were sintered in a vacuum or gas pressure (Ar) at different temperatures to find out the optimal sintering mode. Along with the test mixture were sintered the same chemical composition company Boart Longyear OY original blend G40 test pieces. The same powder mixture was also the waste before crushing.

Master's thesis showed that the optimal addition of graphite-powder amount is 2 mass%. With this combination the structure of the obtained material is close to original powder and hardness, flexural strength and erosion resistance approximates original powders. The optimum is to use the same sintering mode as the original powders ($T = 1390^\circ\text{C}$, $t = 35$ min, $p = 30$ bar).

For larger scale milling projects, a ball mill with the capacity of 40 liters was designed. The calculations for the ball mill (engine, frame drum, bearings, shafts, and chain drive) are shown in the thesis.

Kasutatud kirjandus

- [1] A.N Zelikman ja L.S Nikitina, Volfram, Izdat. Metallurgiya, Moskva, (1987) 272.
- [2] R. Joost, Novel Methods for Hardmetal Production and Recycling, D of Philosophy in Engineering, Tallinn (2010)
- [3] B. Aronsson, H. Pastor, Cemented Carbide Powders and Processing, Powder Metallurgy: An Overview, The Institute of Metals, London GB, (1991).
- [4] G. S. Upadhyaya, Cemented tungsten carbides: production, properties, and testing, Noyes Publications, westwood, New Jersey, 1998.
- [5] E. Rudy, St.Windish and J.R. Hoffman, Ternary phase equilibria in transition metal-boron-carbon-silicon systems. Part I. Related binary systems. Volume VI: W-C system: supplemental information on the Mo-C system, Technical Report no. AFML-TR-65-2, I VI (1966) 79.
- [6] F.C. Nava Alonso, M.L.Zambrano Morales, A. Uribe Salas and J.E. Bedolla Becerril, Tungsten trioxide reduction carburization with mixtures: kinetics and thermodynamics, Intern. J. Mineral Processing, 20 (1987) 137-151
- [7] L.L. Shaw, Synthesis and processing of nanostructured WC-Co materjals, J. of Materials Sience, 37 (2002) 3397-3403
- [8] Argo Liiskmann, Süsiniku sisalduse mõju regenereeritud kõvasulamite struktuurile ja omadustele, (2012)
- [9] A. Lackner, M. Rieder, Recycling of cemented carbides, EURO-PM 2008, EPMA European Hard Materials Group, (2008)
- [10] N.Gao, F.Inagaki, R.Sasi, H.Itoh, K.Watari, Key Engineering Materials, 280-283 (2001)
- [11] <http://www.e6.com/wps/wcm/connect/07c40742-3000-4a0a-8d35-a3b46db3f417/Tungsten+carbide+grades.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=07c40742-3000-4a0a-8d35-a3b46db3f417>

- [12] Pirso, J.; Juhani, K.; Tarraste, M.; Viljus, M. & Letunovitš, S., THE EFFECT OF VC, TiC AND Cr_3C_2 ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF WC-15Co HARDMETALS FABRICATED BY THE REACTIVE SINTERING, (2014)
- [13] http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16795210_G03.pdf
- [14] www.skf.com
- [15] www.alas-kuul.ee
- [16] Zhou Wei, Xiong Ji, Wan Weicai, Guo Zhixing, Lin Zihao, Huang Shiwei, Tang Limei, Zhong Hua, The effect of NbC on mechanical properties and fracture behavior of WC-10Co cemented carbides, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (2014)
- [17] <http://www.ballmill-kf.com/news/critical-speed-of-ball-mill.html>
- [18] <http://mh.ttu.ee/igor/MHE0050%20P-%20Projekt/LisaMaterjalid/2%20Ylekanne/>
- [19] <http://mh.ttu.ee/igor/MHE0050%20P-%20Projekt/LisaMaterjalid/3%20Voll/1%20Voll-Projekteerimine.pdf>
- [20] <http://mh.ttu.ee/igor/MHE0050%20P-%20Projekt/LisaMaterjalid/5%20Liistud/1%20Liistu%20arvutus.pdf>