

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 85/2016

Марија Д. Грубач

**Технологија израде резних плочица од тврдог метала
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Бодан Недић, ред. проф., ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Машинско инжењерство**
Студијско подручје: **Производно машинство**
Име и презиме: **Марија Грубач**
Број индекса: 85/2016

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **Технологија израде резних плочица од тврдог метала**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је да кандидат прикупи и изврши систематизацију података о технологијама које се користе за израду плочица од тврдог метала. Потребно је описати карактеристике тврдых метала, добијање прахова, пресовање, синтеровање и завршну обраду плочица. У посебном делу рада описати технологије које се користе у предузећу *Corun* Ужице.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Основне карактеристике тврдых метала,
3. Технологија израде плочица од тврдых метала,
4. Опис примењених технологија у предузећу *Corun* Ужице,
5. Закључци,
6. Литература.

Ментор:

Крагујевац, 13.05.2019.

Др Богдан Недић, редовни професор

Садржај:

1. Уводна разматрања.....	2
2. Основне карактеристике тврних метала.....	10
2.1 Историјат тврних метала.....	10
2.2 Састав и микроструктура тврних метала.....	11
2.3 Врсте тврних метала.....	15
2.4 Својства тврних метала.....	16
3. Технологија израде резних плочица од тврдог метала.....	19
3.1 Основне металургије праха.....	19
3.1.1 Прахови.....	19
3.1.2 Производња праха.....	22
3.2 Пресовање.....	25
3.3 Синтеровање.....	26
3.4 Завршна израда измењивих резних плочица.....	28
3.5 Примери примене резних плочица од тврдог метала.....	29
4. Опис примењених технологија у предузећу Corun Ужице.....	34
4.1 Corun Holding DOO.....	34
4.2 Поступак производње измењивих резних плочица.....	35
4.3 Моделирање резне плочице.....	47
5. Закључак.....	48
6. Литература.....	49

Резиме рада

У оквиру овог завршног рада извршена је анализа и истраживање у вези савремених резних алата, са фокусом на алате са измењивим резним плочицама који се данас примењују. Уводним разматрањем дат је осврт на старије типове алата и материјале који су некада имали широку примену, почеци истраживања у вези тврдих метала, геометрије алата, измењивих резних плочица као и металургије праха. У другој тачки фокус је на тврдим металима, њиховим карактеристикама, њиховом саставу и микроструктури. Трећа тачка се односи конкретно на измењиве резне плочице, односно на технологију њихове израде која се спроводи у 4 фазе: пресовање праха, синтеровање, брушење и наношене превлаке. Говори се о праховима, превлакама и процесима обраде резањем где се алати са измењивим плочицама највише користе. У оквиру четврте тачке спроведена је посета фирми *Corun Holding doo* у Ужицу, где су посматране све фазе процеса производње, мерења, контроле и испитивања измењивих резних плочица, па је на основу посете објашњен целокупан процес производње.

Кључне речи

Резне плочице, резни алати, тврди метали, пресовање, синтеровање, завршна обрада плочица

Summary of work

Within this paper research and analysis were made about modern cutting tools, with focus on the tools with cutting tiles that we are using today. At the beginning of the paper we are talking about old tools and materials that were once used, research about hard metals, tool geometry, cutting tiles and also metallurgy powder. Within the second part of the paper we are talking about hard metals, their characteristics, their composition and microstructure. Within the third part of the paper we are talking about cutting tiles, apropos on their technology of their making which can be carry out in four stages: pressing powder, sintering, grinding, and coating. We are talking about powders, coating and cutting by cutting where the tools of the cutting tiles can be used. Within the fourth part of the paper we are talking about the company *Corun Holding DOO* in *Užicu* that was visited, were we saw the process of the stages of production, measurements, controls and the cutting tiles testing, and based on the company that was visited, full process was explained

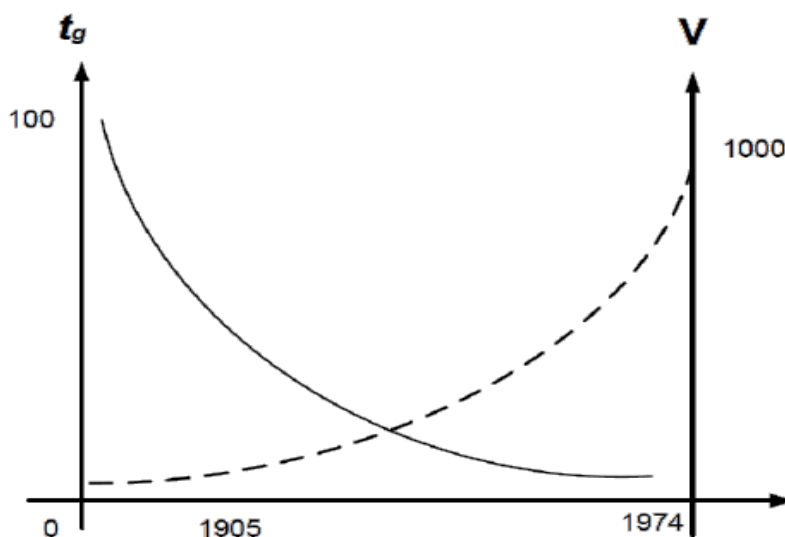
Key words

Cutting tiles, cutting tools, hard metals, pressing, sintering, tile finish

1. Уводна разматрања

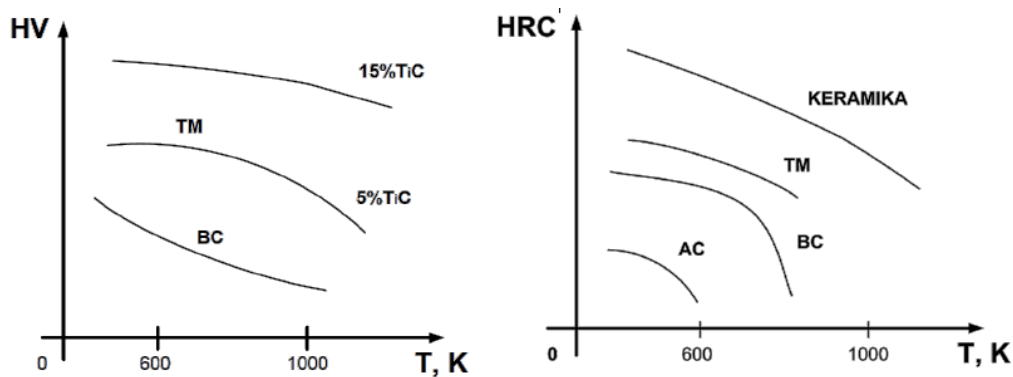
При извођењу процеса резања алати су изложени променљивим механичким и термичким напрезањима. Ова чињеница условила је примену различитих врста алатних материјала. Алатни материјали треба да поседују високу жилавост-отпорност на ударе и вибрације (динамичка оптерећења) и високу тврдоћу (отпорност на хабање) као и низ других особина о којима ће у каснијем излагању бити више речи. Решавање два наведена супротна захтева довело је до развоја широког асортимана алатних материјала, значајног повећања брзине резања и скраћења времена израде.

Тако је, на пример, за обраду једне осовине 1903. године, алатом од алатног челика било потребно 100 минута, а 1974. године за обраду исте осовине алатом од тврдог метала са превлаком Al_2O_3 , само 1 минут, (слика 1).

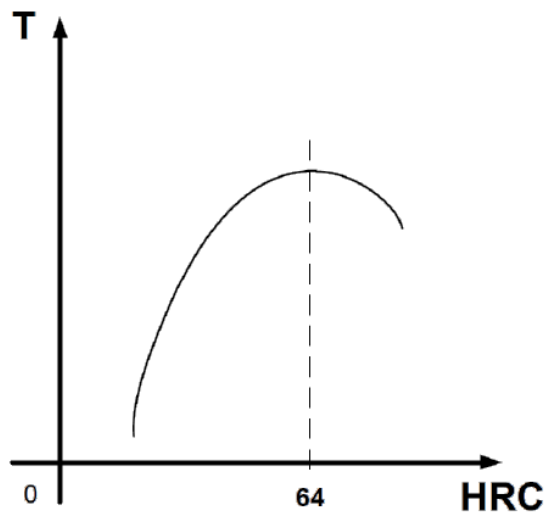


Слика 1. Утицај врсте алатног материјала на брзину и време обраде [1]

Зависно од врсте алатног материјала мења се и понашање алата на високим температурама (слика 2), а тиме и његова постојаност (слика 3). Са порастом температуре у процесу резања долази до пада механичких карактеристика алатног материјала, смањења његове резне способности, а тиме и смањења постојаности алата.



Слика 2. Утицај температуре на механичке карактеристике алатних материјала [1]



Слика 3. Утицај промене тврдоће алатног материјала на постојаност глодала [1]

Потребе да резни алат поседује:

- високу тврдоћу и отпорност на високим температурама,
- високу отпорност на хабање, нарочито на високим температурама,
- довољну чврстоћу и жилавост (отпорност на ударна динамичка оптерећења),
- отпорност на термичке шокове,
- добре технолошке карактеристике (обрадивост, посебно у условима завршне обраде алата-брушење алата при оштрењу) и низ других особина, пратио је развој следећих алатних материјала:

Кроз историјски развој довела је до примене:

- угљеничних алатних челика,
- легираних алатних челика,

- брзорезних челика,
- тврдих метала са и без превлака,
- алатне керамике и
- супер тврдих материјала (кубни нитрид бора, синтетички дијамант).

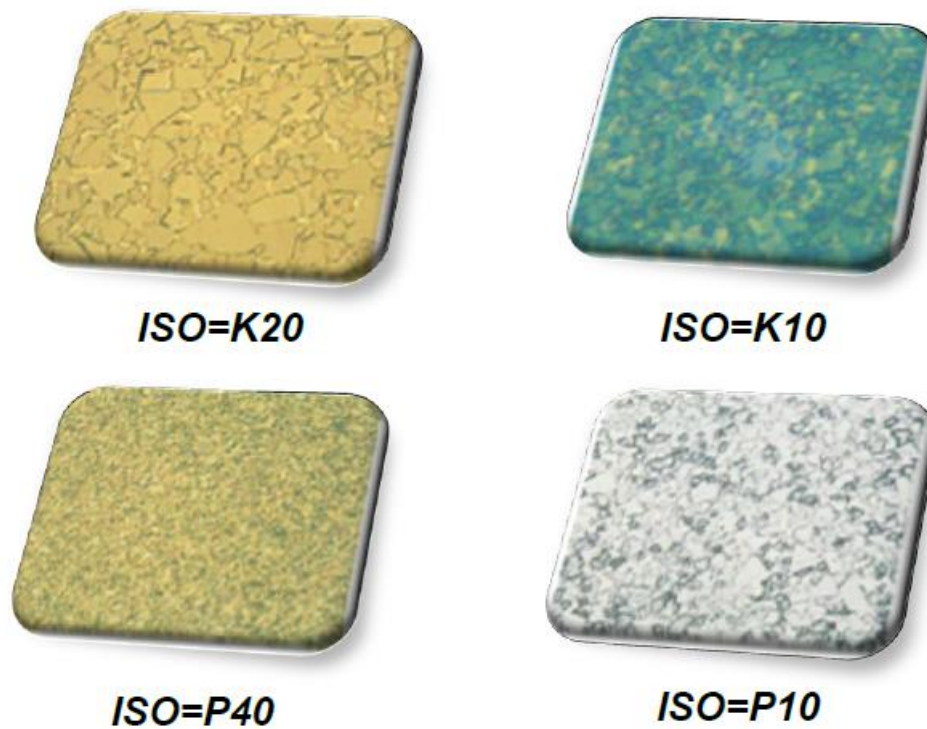
Сви резни алати су се до 1870. године производили од обичног угљеничног челика, легуре гвожђа и угљеника који обично садржи 1% угљеника (C) 0.2% мангана (Mn) и остатак гвожђа (Fe). Овакав алат је имао малу способност одржавања тврдоће на високим температурама, тако да се резна ивица ломила већ на температурама од 250°C. Ово је у пракси ограничавало брзине резања приближно на 5m/min. Ови раније коришћени резни алати су често имали пукотине које су значајно слабиле резну ивицу, а настајале су услед наглог хлађења водом са интензитетом хлађења већим од 1000°C/s током каљења, што је било неопходно ради постизања одговарајуће тврдоће челика.

Вероватно највише коришћен материјал за проиводњу резних алата данашњице је фамилија тврдих метала, од који је тврди метал на бази волфарма најчешће употребљаван. Волфрам (Tungsten) хемијски симбол W, је најтежи метал VIб групе Менделејевог периодног система елемената, редни број му је 74. Име је добио по немачкој речи волфрам, од минерала волфрамита. Немачки проналазач К. Schroter је произвео први метални композитни материјал данас познат као тврди метал. Schroter је комбиновао партикуле монокарбида волфрама са кобалтном матрицом. Ове партикуле су правиле веома чврсте везе. Тврди метал је карбид чврстог прелазног метала (волфрам припада групи прелазних метала) који садржи 60% до 95% W и остатак кобалта који је растегљивији (жилавији) елемент.

Структура овог карбида варира, од хексагоналне кристалне решетке, преко структуре чврстог раствора (solid solution) титанијумских, танталских и нобијумских карбида до NaCl структуре. Величина униформних зрна карбида волфрама иду од 0.2 до 7 μm , то омогућава пажљиву контролу синтеровања финалног производа. Шта више, додавањем финог кобалта у каснијим фазама процеса и мокрим млевењем после тога, добија се финији прах и прецизнија контрола величине зрна. Пре синтеровања, млевени прах се суши и тако се добија агрегат сферичног слободног праха, (слика 4).



Слика 4. Цементирани карбид се добија мешањем, подмазивањем, консолидацијом и синтеровањем из праха, формирајући компактан синтеровани цементирани карбид [1]



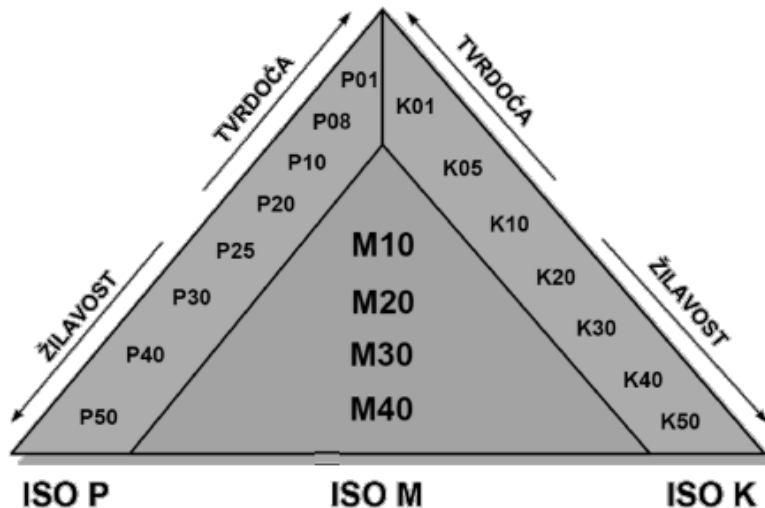
Слика 5. Прах и металуршка структура тврдог метала [1]

Већина водича за селекцију карбидних плочица групише плочице по степену отпорности хабању и жилалвости у односу на материјал за чију обраду су намењене.

Интернационални стандард који се користи преко 30 година је ИСО 513-1975. Овај стандард класификује тврди метал према намени, и у њему су подгрупе означене бојама. Ова класификација у свом оригиналном облику има три велике подгрупе означене одговарајућим великим словом алфавета и бојом, (слика 5).

- Р (плава) високо легирани карбиди за обраду челика и кованог гвожђа,
- М (жута) мање легирани карбид за обраду легура са гвожђем које имају дугу и кратку струготину, ливеног гвожђа и легура без гвожђа и
- К (црвена) "конвенционални" волфрамов карбид за сиво ливено гвожђе, легуре метала без гвожђа и неметалне материјале.

По овој класификацији (слика 6.) и челик и ливено гвожђе се налазе у више подгрупа по особини формирања стругоине. Сваком степену отпорности хабању и жилавости је придодат број да означи његову релативну позицију у континууму између максималне жилавости и максималне тврдоће.



Слика 6. Класификација тврдох метала – означавање ТМ [1]

У наредном делу рада даје се и кратак преглед врста тврдог метала и препорука које дају реномирани произвођачи алата. Бројни део ознаке одређује квалитет тврдог метала и сужава област његове примене. Тако, на пример, отпорност на хабање тврдог метала расте са порастом садржаја TiC и TaC (нижа бројна ознака). У тим случајевима опада жилавост, расте осетљивост не само на механичка, већ и на термичка напезања. Отуда се, на пример, квалитет Р тврдог метала са већим садржајем TiC и TaC (P0-P10) користи за израду алата намењених завршној обради са великим брзинама резања и малим пресецима стругоине.

Основна тежња у развоју тврдох метала је повећање отпорности на хабање, посебно при повишеним температурама (при великим брзинама резања). Та тежња се обезбедјује:

- Повећањем садржаја TiC и TaC,
- Смањењем величине зрна, формирањем ситнозрне структуре применом металургије праха и
- Применом технологије наношења превлака.

Шире поделе тврдих метала према намени и препорукама („Sandvik Coromant“) се могу наћи у одговарајућим каталозима. Извод из каталога, везан за основне групе тврдих метала према поменутиим препорукама је следећи:

- „P“ квалитет тврдог метала - референтни материјал предмета обраде је нискоугљенични челик CMC02.1/180HB
- „M“ квалитет тврдог метала - референтни материјал предмета обраде је аустенитни нерђајући челик CMC05.21/180HB
- „K“ квалитет тврдог метала - референтни материјал предмета обраде је сиви лив CMC08.2/HB220 и нодуларни лив CMC09.2/HB250
- „N“ квалитет тврдог метала - референтни материјал предмета обраде су алуминијумске легуре - ливени нежарен CMC 30.21/HB75
- „S“ квалитет тврдог метала - референтни материјал предмета обраде су ватроотпорне легуре - CMC 20.22/HB 350
- „H“ квалитет тврдог метала - референтни материјал предмета обраде су каљени челици CMC 04.1/HRC60

Резне плочице производе се сабијањем и синтеровањем праха волфрам карбида (WC), после чега се наноси нека од превлака физичким или хемијским путем. Поред волфрам карбида, у плочицама се налази и кобалт, који служи као везивни елемент зрна волфрам карбида, (слика 7). Поред волфрам карбида, плочице могу бити израђене и од синтероване керамике. Такве плочице имају већу тврдоћу и могу поднети веће температуре, али су јако крте. Плочице се после синтеровања брусе, а добијене оштре ивице се благо заобљавају, радијусом од неколико стотих делова милиметра како се не би брзо окрзале при резању. Производња једне резне плочице може да траје и по неколико дана.[4]



Слика 7. Резне плочице [4]

Металургија праха је технологија код које се растопљени метал претвара у прах. Прах се подвргава пресовању на високим притисцима (око 1000 bar) и високим температурама (око 1150°C). Након пресовања изводи се обрада деформисањем (ваљање, ковање) у циљу добијања полуфабриката жељеног облика и димензија и побољшања особина материјала.

Основне одлике ових брзрезних челика у односу на класичне су равномернији распоред ситних кристала-повећање жилавости, побољшање обрадивости при брушењу и смањење грешака након термичке обраде (напрслине, деформације и сл.).

Једна од предности производње челика металургијом праха је да се на овај начин добија структура микрогранула где је пречник карбидне партикуле 1 μ m до 3 μ m, што више одговара производњи резних алата, на супрот производње челика из комада где су карбидне партикуле до 40 μ m. [4]

ТИТАН НИТРИД - TiN	обрада резањем материјала на бази гвожђа
	обликовање метала
	ливење пластике
ТИТАН КАРБО-НИТРИД – TiCN(ML)	обрада тешко обрадљивих легура челика
	велика примена резања при разним температурама
	Одличан за обликовање метала
ХРОМ – НИТРИД - CrN	Обрада бакра и других обојених метала
	Обликовање метала
	Ливење пластике (добро извлачење)
	Матрице у којима се лије алуминијум и магнезијум
КАРБО – НИТРИД - CrCN	Обрада бакра
	Обликовање метала
	Ливење пластике
	Одличан за ливење Al и Mg у калупима
	Матрице за ливење Al и Mg
АЛУМИНИЈУМ ТИТАН КАРБО – НИТРИД AlTiCN	Одличан за обраду јако живих челика
	Копирно и испрекидано глодање тврдих материјала
	Груба обрада са испрекиданом резном ивицом
АЛУМИНИЈУМ ТИТАН – НИТРИД - AlTiN	Обрада термички обрађених каљених комада
	Операције при великим брзинама резања
	Већа постојаност од осталих превлака
ТИТАН АЛУМИНИЈУМ НИТРИД - TiAlN	Пресвлачење широког спектра тврдог метала
	Обрада ливеног гвожђа
	Обрада великим брзинама при сувој обради

Табела 1. Превлаке резних алата

2. Основне карактеристике тврних метала

2.1 Историјат тврних метала

Настанак и развој тврних метала почиње са увођењем волфрама у производњу електричних сијалица. Идеја да се жарне нити сијалице производе од волфрама била је добра, али се израда танких нити од волфрама показала тешком ако не и немогућом. Међутим, американац Coolidge који је почетком 20. века био запослен у General Electricу дошао је на идеју да волфраму повећа растегљивост и након тоа помоћу дијамантних матрица извлачи жицу. С обзиром на то да је у то време израда дијамантних матрица била врло тешка, захтевна и скупа, почело се размишљати о замени дијамантних матрица неким другим материјалом.

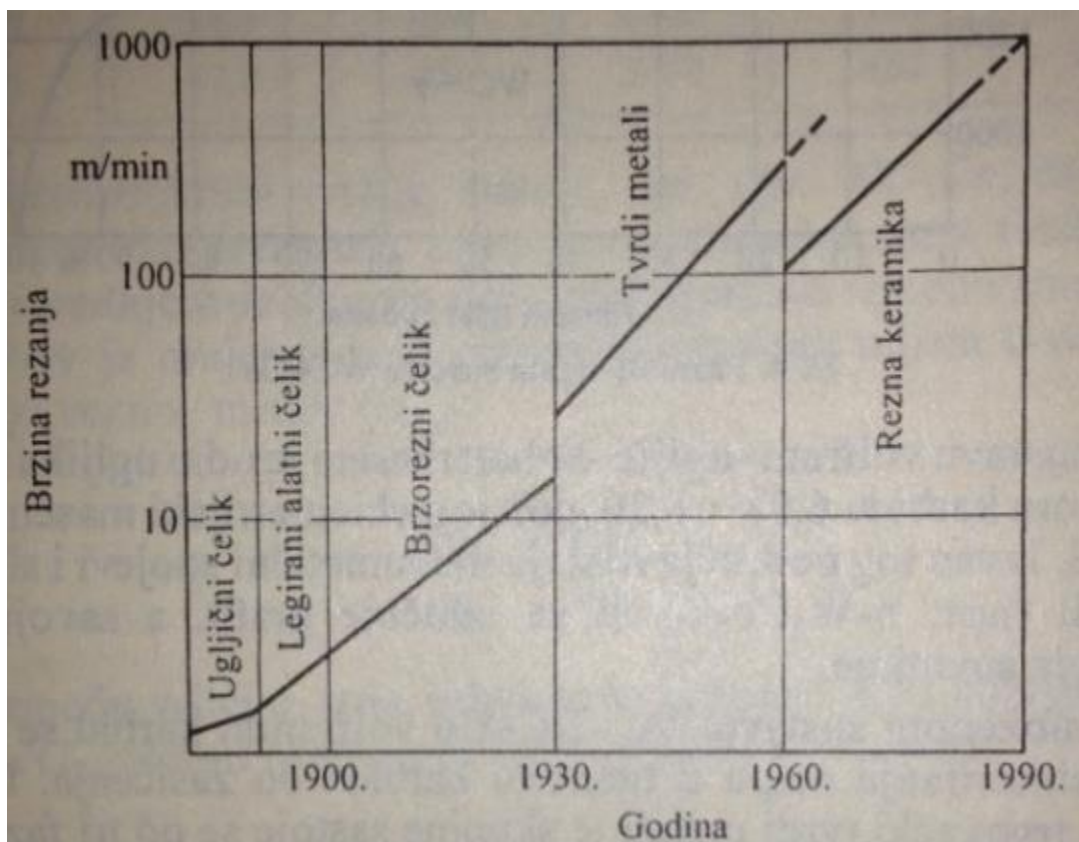
Као добра замена за дијамант показао се волфрам-карбид који поседује одговарајућу тврдоћу. Сад је требало наћи начин како произвести матрицу од волфрам-карбида. Прво се покушало ливењем, али поступак се показао неуспешним. Након низа покушаја, немачка фабрика KRUPP је направила смешу праха волфрам-карбида и праха кобалта која је синтерована у атмосфери водоника. Тако је 1926. године створен материјал под називом Widia (према немачком wie Diamant= као дијамант) погодан не само за израду матрица, него и за израду свих врста алата за различите обраде.[1]

Синтеровани се материјали називају "тврним металима", јер они нису легуре у правом смислу, него су смеша различитих састојака, углавном карбида, који су уложени у неку мекшу и жилавију металну масу. Први вишекарбидни тврди метали (WC-TiC- Co, WC-TiC-TaC-Co) појавили су се 1931.- 1932. године. Сродни се типови тврних метала употребљавају и данас, једнокарбидни за обраду метала који дају кратку струготину (сиви лив, обојени метали), а вишекарбидни за обраду метала с дугом струготином (челик).

У времену након другог светског рата истраживале су се претежно методе синтеровања металних карбида, а почела су и интензивна истраживања могућности синтеровања керамичких и челичних материјала. Керамичке су честице и до тада служиле као брусна зрна односно као састојци различитих паста за полирање. Упоредо су се и на подручју резних алата развили материјали на основу алуминијум-оксида, синтеровани у нормиране алатне облике. Алати од синтерованог челика су последњи усавршавани, а прве прихватљиве поступке синтеровања челика описали су W. Hотор и G. Ritzau 1953. године.

Развојем синтеровања знатно је смањен степен порозности производа. Томе је такође допринела и примена поступака CIP и HIP (Cold Isostatic Pressing – хладно изостатичко пресовање и Hot Isostatic Pressing – топло изостатичко пресовање). Наведени се поступци темеље на деловању хидростатичког притиска на синтеровани производ, чиме се постиже 99%-тна до 100%-тна попуњеност производа.[1]

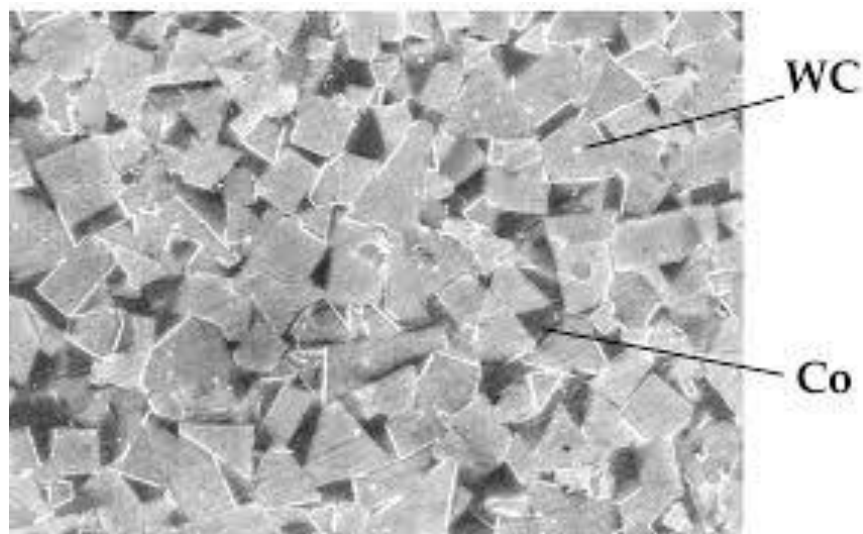
Средином 1960-их година долази до битног повећања брзина резања због употребе тврдих метала с превлаком која им побољшава отпорност према преоревању, корозијску отпорност, изглед и остала потребна својства.



Слика 8. Повећање брзине резања употребом нових материјала [1]

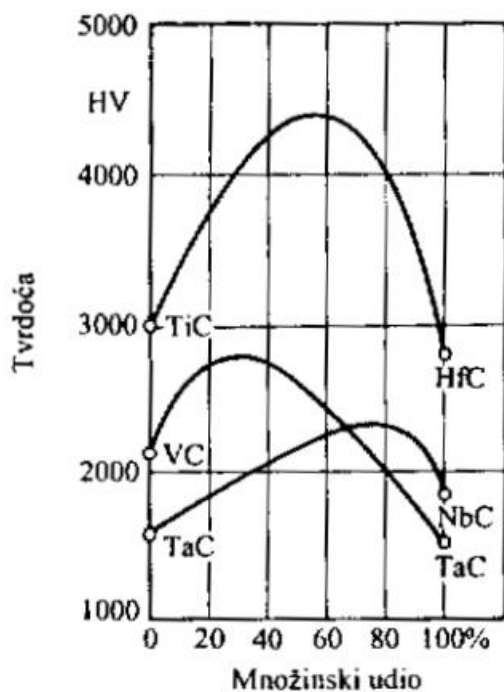
2.2 Састав и микроструктура тврдих метала

Тврда фаза (углавном карбид) је основна компонента микроструктуре тврдих метала. Она има добру електричну и топлотну проводљивост и позитиван топлотни коефицијент електричног отпора, што доказује метални карактер. Тврди метали имају изражена метална својства за разлику од остали неоксидних керамичких материјала. Наведена својства и широко подручје хомогености показују сличност тврдих метала с међуметалним спојевима. Тврди метали имају зрнасту структуру, тј. зрнца карбида су заливена металним везивом. На слици 9. приказана је микроструктура тврдог метала WC – Co.[1]



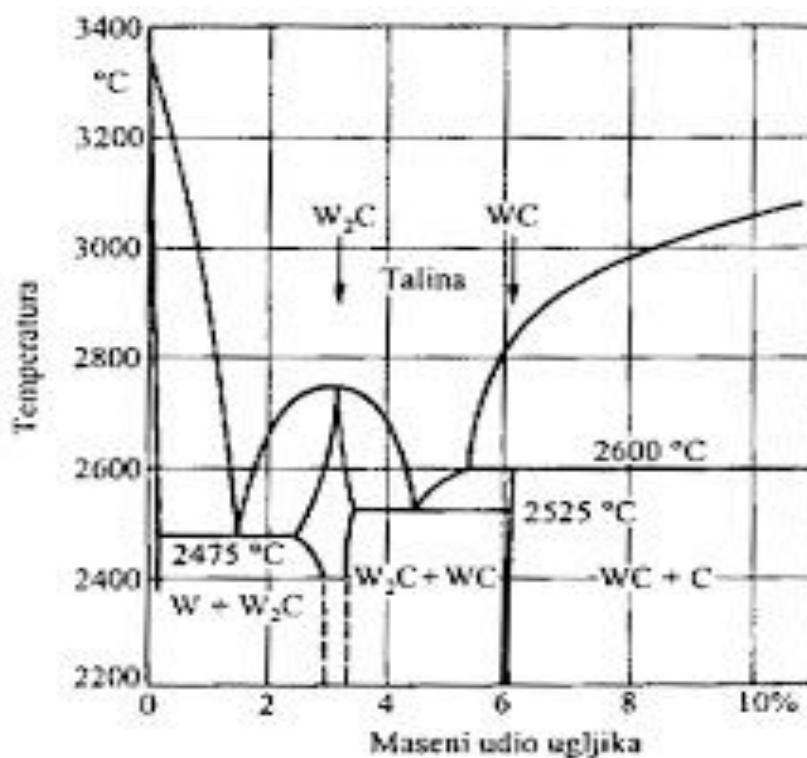
Слика 9. Микроструктура тврдо метала WC – Co [1]

Карбиди и нитриди метала- Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta кристализирају углавном у кубном саставу, док карбиди- Cr, Mo, W кристализирају углавном у хексагоналном саставу. Међусобним мешањем изоморфних кубних карбида добијају се кристали мешавине различитих састава. Као што је приказано на слици 10. у подручју де се евентуално не мешају тврдоћа се често повећава. Карбиди кубно састава могу се мешати са волфрамовим карбидом, при чему настају мешавине кубних кристала.[1]

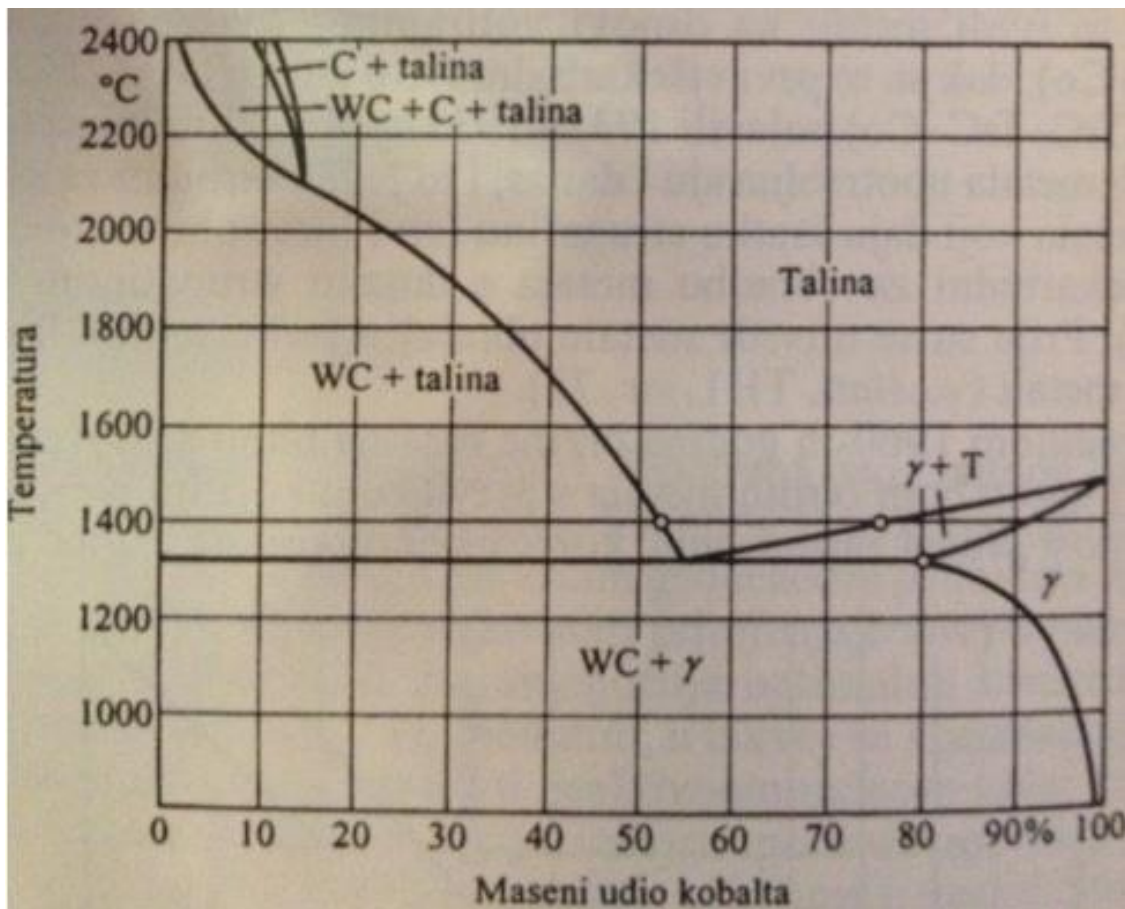


Слика 10. Зависност тврдоће мешавине карбидни кристала о њиховом саставу [1]

У растопљеном везном металу боље се отапа тврда фаза него обратно, а топљивост зависи од температуре. Волфрам карбид у кобалту има највећу топљивост па је и то један од разлога што се тврди метали састоје од тих компоненти. Као што можемо видети на слици 11., волфрамов карбид се распада при температури нижој од топљења, те се због тога производи синтеровањем при нижим температурама (1300 – 1700°C) . Кобалт почиње отапати волфрамни карбид при температури од 700°C. Због тога приликом синтеровања постоји текућа фаза засићена волфрамовим карбидом као што је приказано на слици 12. Након завршетка процеса удео шупљина у обиму није већи од 1%. Највећи део у волфраму отопљеног карбида кристализује се хлађењем на температури нижој од оне потребне за синтеровање. Преостали део стабилизује кубну модификацију кобалта, која се на температури нижој од 417°C преобликује у хексагоналну. Због различитих коефицијената растезања кобалт се након хлађења налази под затезним напрезањима, док се под притисним напрезањима налазе кристали волфрамовог карбида. Због тога се при механичком оптерећењу смањује могућност лома крхке карбидне компоненте.



Слика 11. Фазни дијаграм састава W-C [1]

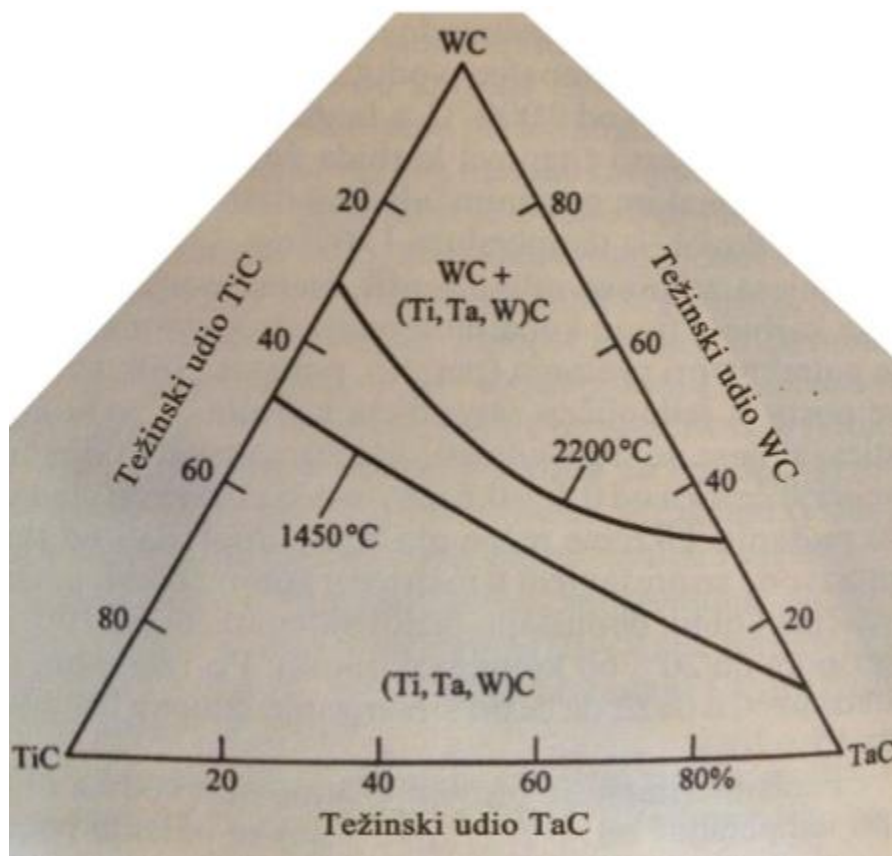


Слика 12. Фазни дијаграм састава WV-Co [1]

У сложенем саставу WC – TiC – Co волфрамов карбид се приликом синтеровања отапа у титановом карбиду до засићења. Тврди метали који припадају том скупу састоје се од 3 фазе:

1. Мешавина кубног карбида (W, Ti)C
2. Хексагонални волфрамов карбид (WC)
3. Кобалт засићен тврдом фазом

Ако се танталов карбид дода мешавини карбида (W, Ti)C долази до настанка мешавине новог карбида (W, Ti, Ta)C чије је подручје постојања сужено. То можемо видети на слици 13.



Слика 13. Изометрички пресек састава WC – TiC – TaC при 1450°C [1]

2.3 Врсте тврдих метала

Тврди метали припадају широком скупу тврдих материјала, који се деле на металне и неметалне. У металне тврде материјале осим тврдих метала убрајају се и њихови главни састојци тј. карбиди и нитриди прелазних метала. Неметални тврди материјали међусобно су спојеви бора, азота, угљеника и силицијума те неких оксида (алуминијум (III) оксид, торијев (IV) оксид, цирконијум (IV) оксид), том скупу такође припадају и супертврди материјали борни нитрид и дијамант.

Тврде метале можемо поделити према компонентама и према саставу. Према компонентама делимо и на:

1. Класични тврди метал
 - Тврди метал на бази WC - Co
 - Тврди метал на бази WC – TiC - Co
 - Тврди метал на бази WC – TiC – Ta(Nb)C – Co
2. Специјални тврди метал
 - Тврди метал на бази WC – Cr₃C₂ - Ni
 - Тврди метал на бази WC – TiC – Ni – Mo.

Осим ове класификације класични тврди метали се класификују према проценту кобалта, према величини зрна волфрам карбида према примени. Таква класификација класичног тврдог метала стандардизована је стандардом ISO 4499. Према стандарду ISO 4499 постоји група са подгрупама:

- P01 – P40 – фина, средња и груба обрада гвожђа, челика, легираних челика и темпер лива,
- M10 – M40 – стругање, глодање, средња брзина резања са великом дубином резања,
- K01 - K40 - фина, средња и груба обрада сивог лива, темпер лива, манганског челика, обојених метала, пластике и дрва,
- G10 – G60 – ковање, провлачење, дубоко извлачење, штанцовање,
- B06 – B40 – све врсте обраде камена, бетона, гранита.

Специјални тврди метали развијени су за потребе машинских делова који морају имати добру отпорност на корозију. Будући да готово све врсте биља и меса садрже киселине које нагризају класични метал и на тај начин могу унети у храну метални отров, једна од важнијих примена специјалних тврдых метала је у машинским постројењима за прераду хране.

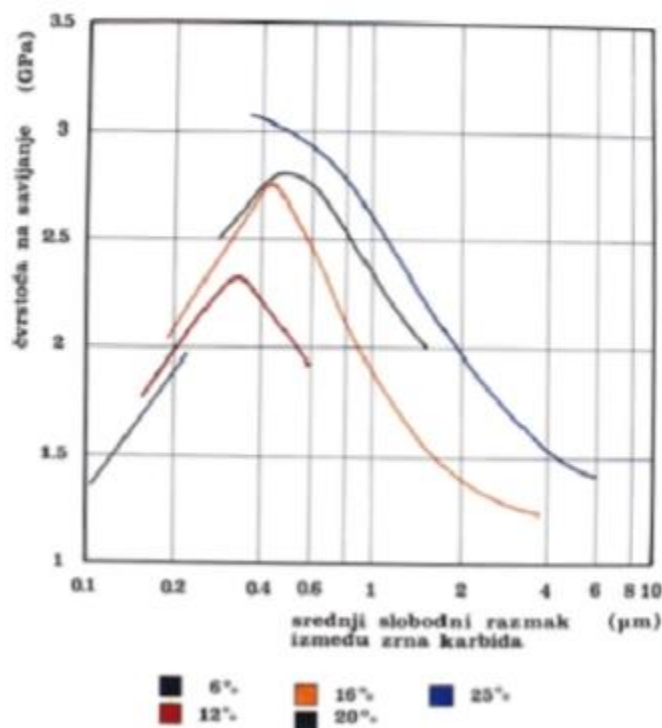
2.4 Својства тврдых метала

Као што и само име говори, једно од најважнијих својстава тврдых метала је тврдоћа. Осим тог главног својства тврди метали одликују се и добром жиљавошћу што им у комбинацији са тврдоћом даје одлична механичка својства. Због тога су тврди алати данас незаменљиви у производњи алата за све врсте обраде и све врсте материјала који се обрађују. У одлична механичка својства тврде метале одликује и добра топлотна и електрична проводљивост, па се коефицијент топлотног ширења разликује у односу на класичне материјале. Као њихова добра својства можемо навести и следеће:

- Висока тачка топљења,
- Висока тврдоћа и отпорност на трошење,
- Висок модул еластичности, висока притисна чврстоћа и чврстоћа на повишеним температурама,
- Добра постојаност на температурне промене,
- Отпорност на корозију

У производњи тврдых метала користи се технологија прашкасте металургије, а то нам омогућава пројектовање својства тврдых метала према захтевима њихове примене уз помоћ одабира састава тј. процента појединих компоненти те величине честице карбида.

Величина честице волфрам карбида је један од параметара који директно утичу на главна својства тврдих метала; тврдоћу и жилавост. Постоје тврди метали који немају исти састав, а разликује их једино просечна величина зрна волфрам карбида. Због разлике у величини зрна, долази и до разлике у својствима, у првом реду тврдоће и жилавости. Већу жилавост и мању тврдоћу имају тврди метали који имају већу просечну величину карбидног зрна. Затезна чврстоћа има максимум у подручју $0,4 - 0,6 \mu\text{m}$ међу карбидним зрнима. На слици 14. приказан је однос чврстоће на савијање у односу на просечну удаљеност карбидних зрна за тврде метале са различитим процентом кобалта.

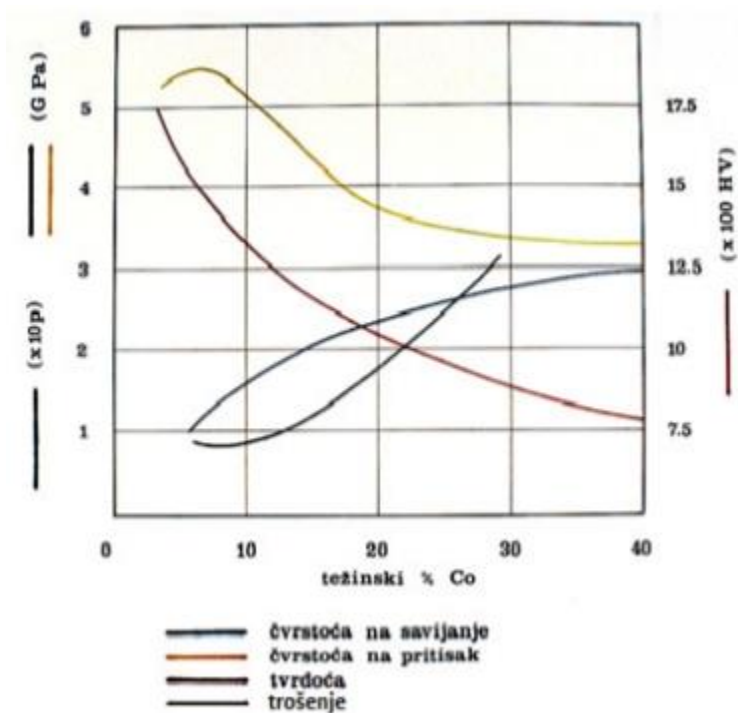


Слика 14. Однос чврстоће на савијање и просечне удаљености карбидних зрна [2]

На тврдоћу и жилавост утиче и састав тврдих метала. У првом реду ту се мисли на проценат кобалта у тврдом металу. Повећањем процента кобалта у тврдом металу типа WC – Co смањују се тврдоћа, чврстоћа на притисак, густина, модул еластичности и притисна чврстоћа, а истовремено се повећава затезна чврстоћа и отпорност на трошење. Нека од ових својстава тврдих метала дата су у табlici 2. Модул еластичности E зависи од вредности модула еластичности појединих фаза, а врло мало од редоследа зрна, чиме се разликује од чврстоће, тврдоће и понашања при лому. На слици 15. приказан је дијаграм промене тврдоће, чврстоће на притисак, затезне чврстоће и трошење са процентом кобалта.

Таблица 2. Својства тврдох метала типа WC – Сон [1]

Maseni udio kobalta %	Gustoća g/cm ³	Tvrdoća po Vickersu HV	Savojna čvrstoća N/mm ²	Tlačna čvrstoća N/mm ²	Modul Elastičnosti kN/mm ²
2,5	15,3	1780	1100	-	660
6	14,9	1550	1600	5300	620
9	14,6	1450	1850	4900	580
12	14,3	1300	2000	4400	570
15	13,9	1250	2200	4000	530
20	13,6	950	2400	3700	490
25	13,2	850	2400	3400	460



Слика 15. Промена тврдоће, чврстоће на притисак и затезна чврстоћа и тошење са процентом кобалта [2]

3. Технологија израде резних плочица од тврдог метала

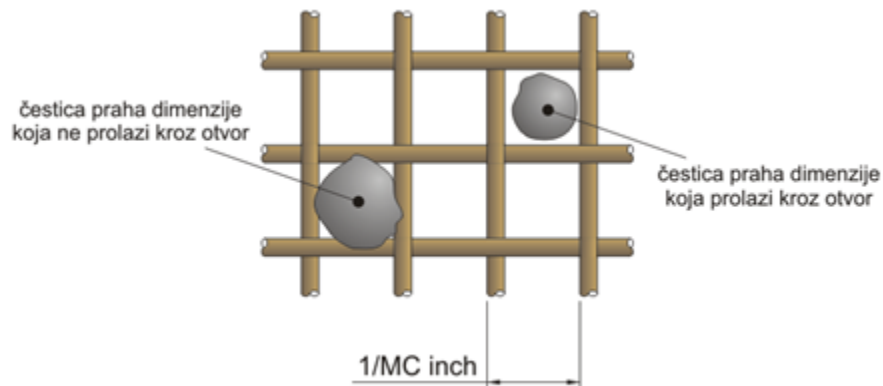
3.1 Основне металургије праха

3.1.1 Прахови

Прах - фино уситњене круте честице. Инжењерски прахови обухватају метале и керамике. Геометријска су им својства:

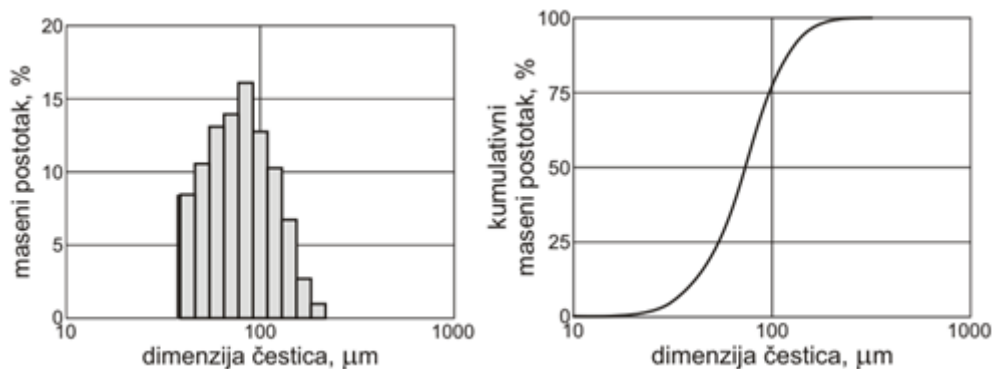
- димензије честица
- облик и унутрашња грађа честица
- површина честица

Димензије честица- При одређивању димензија честица, прах се просејава кроз серију сита различитих димензија квадратних отвора, као на слици 16. "Број mesh-а", МС (*en. mesh count- број отвора*) описује број отвора сита по инчу (1 inch = 25,4 mm). Према томе, са МС= 100 означава сито које има 100 отвора по инчу, односно $100 \times 100 = 10\,000$ отвора по квадратном инчу. У SI јединицама је то 4 отвора/mm, односно 16 отвора/mm². Што је већи МС то су ситнији отвори сита и кроз њих ће пропадати ситније честице. [3]



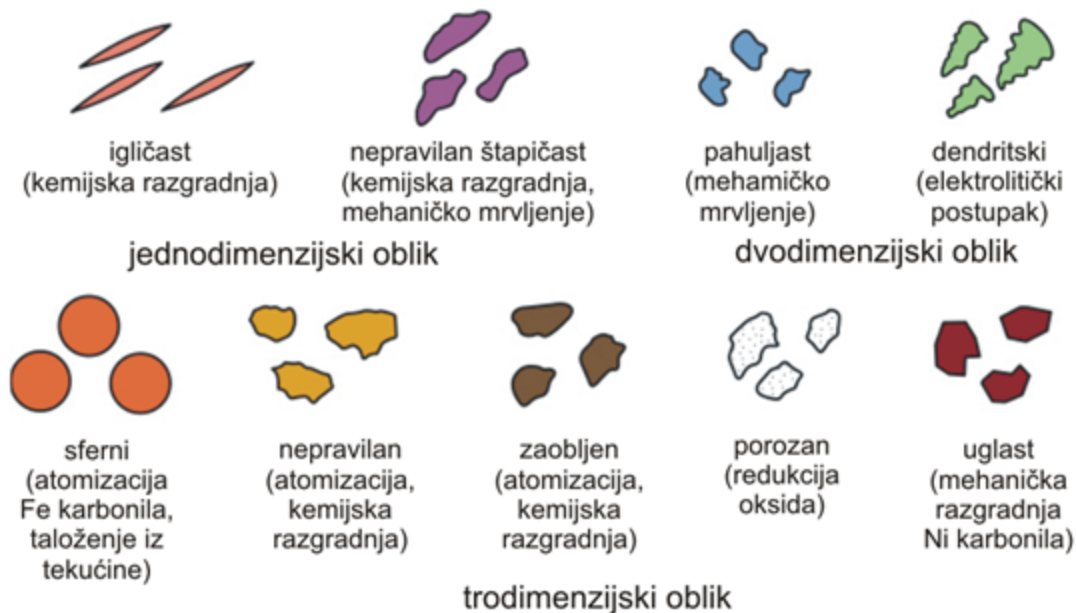
Слика 16. Честице праха и сито за сортирање [3]

Производе се прахови димензија честица $10^{-6} \div 0,1\text{mm}$. Пример резултата анализе димензија честица једног праха приказан је на слици 17.



Слика 17. Димензије честица праха [3]

Облици и грађа честица- Облици и грађа честица у великој мери зависе од технологија њихове производње. Слика 18.:

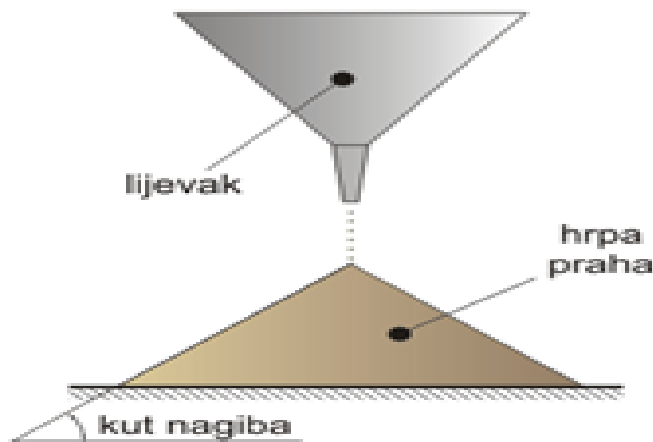


Слика 18. Честице праха [3]

Технолошка својства праха су:

- способност течења - зависи од величина и облика честица те додатним везивима, а од способности течења зависи ефикасност попуњавања калупа,
- способност сабијања – зависи од величина и облика честица, а од прахова с већим способностима сабијања се добијају производи веће густине и чврстоће,
- способност синтеровања - показатељ је повећања чврстоће веза међу честицама праха, смањења порозности и повећања густине производа при синтеровању.

Узајамно трење и течење честица – Узајамно трење честица може се утврдити према углу нагиба хрпе која се формира при изливању праха кроз уски левак, (слика 19). Већи углови указују на веће узајамно трење честица.



Слика 19. Одређивање узајамног трења честица [3]

Прахови материјала који се користе у **РМ** су скупљи од комадних материјала јер се за добијање прахова морају улагати додатне енергије. У складу с тим, **РМ** је конкурентна само у одређеним границама примене.

У употреби поступака **РМ** користе се прахови различитих хемијских састава.

1. Елементарни - садрже само један хемијски елемент и користе се када је потребно постићи високу чистоћу производа. Уобичајени су елементарни прахови од:
 - гвожђа,
 - алуминијума и
 - бакра.
2. Смеше – за добијање специјалних легура, које је тешко добити на конвенцијалне начине, мешају се честице више елементарних прахова. Пример су алатни челици.
3. Предлегирани прахови – састав честица праха одговара по саставу легури коју је тешко добити мешавином честица више елементарних прахова. Уобичајени су предлегирани прахови од:
 - нерђајућег челика,
 - одређене легуре бакра и
 - брзорезни алатни челици.

3.1.2 Производња праха

Скоро се сви метали могу произвести у облику праха, а производњом прахова се баве специјалне компаније које се не баве израдом делова од прахова.

У производњи прахова користе се три основна поступка:

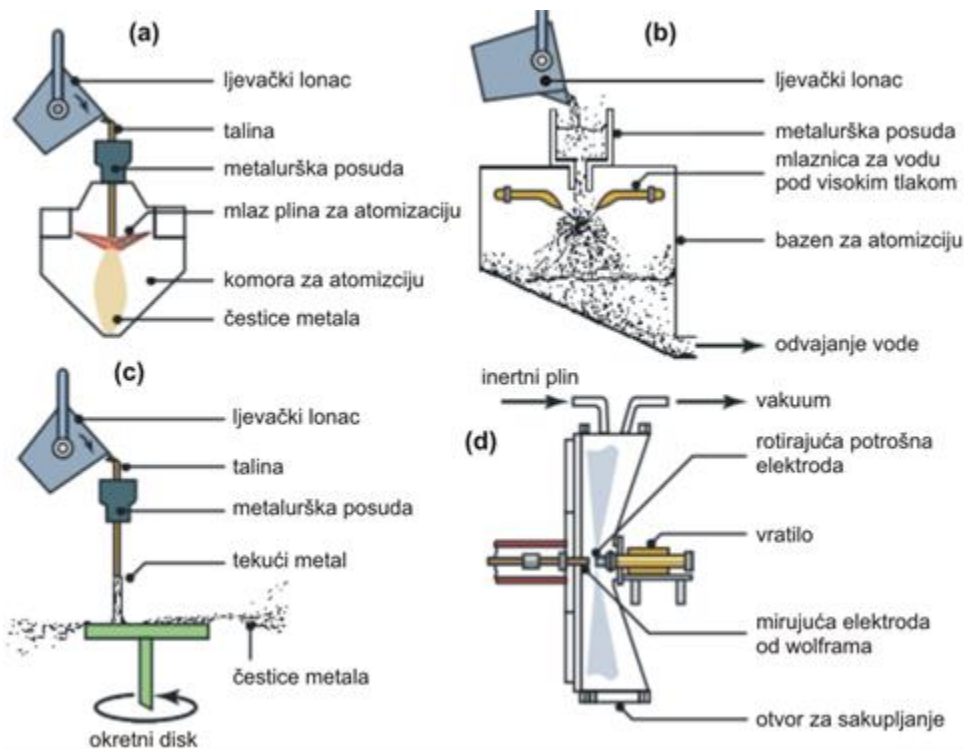
- атомизација,
- хемијски,
- електролитички.

Додатно се честице уситњавају механичким поступцима.

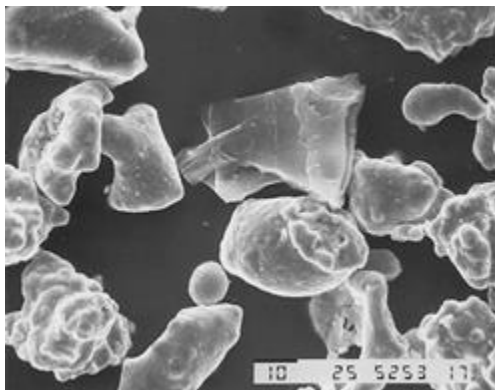
Користе се четири поступка атомизације, слика 20.:

- плинном,
- водом,
- центрифугална с ротирајућим диском,
- ротирајућом потрошном електродом.

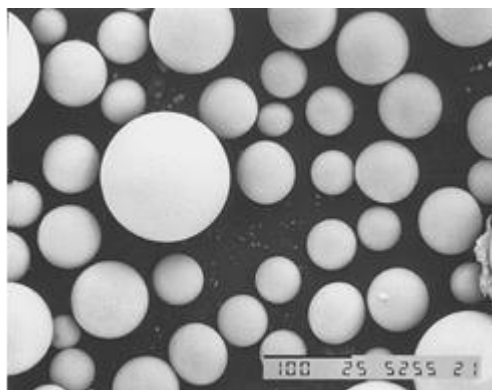
На слици 21. су приказана зрна два праха снимљена на електронском микроскопу.



Слика 20. Поступци атомизације [3]



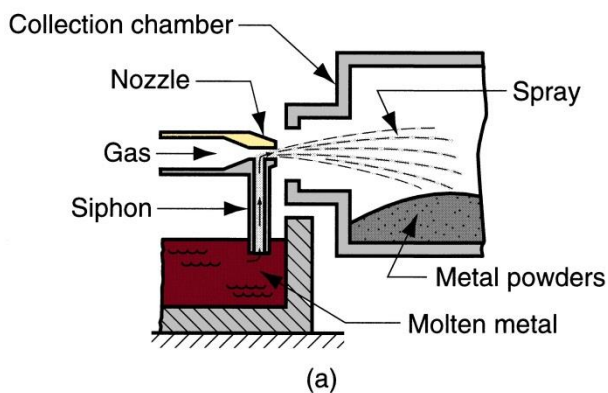
честице праха Fe добијеног атомизацијом гаса из истопљеног метала



честица праха Ni суперлегури (Udimet 700) добијеног атомизацијом ротирајуће електроде

Слика 21. Честице праха снимљене на електронском микроскопу [3]

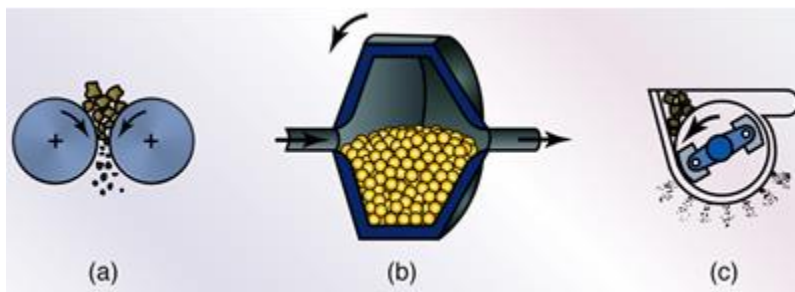
22. Сличан је претходном поступку атомизације гасом и поступак је приказан на слици



Слика 22. Атомизација с гасом [3]

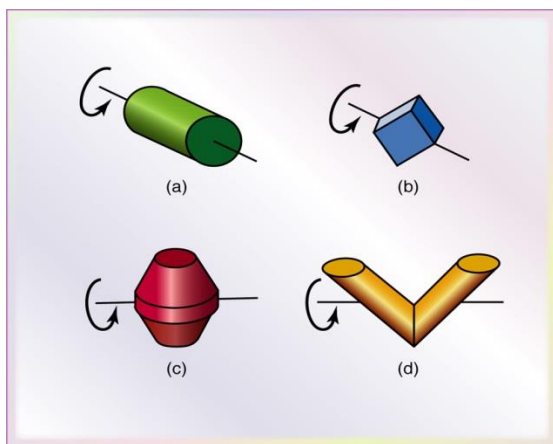
Поступци су механичког мрвљења који су приказани шемама на слици 23.

- међу обртним ваљцима (a),
- у млину с куглама (b) и
- млину с чекићима (c).



Слика 23. Механичко мрвљење праха [3]

Због јаког абразивног деловања прахова, за њихово се мешање не користе мешалице с ротирајућим пропелерима, него само ротирајуће коморе. На слици 24. су приказани: а) облици ротирајућих комора у којима се мешају прахови и б) мешалица с куглама за припрему мешавине металних прахова. [3]



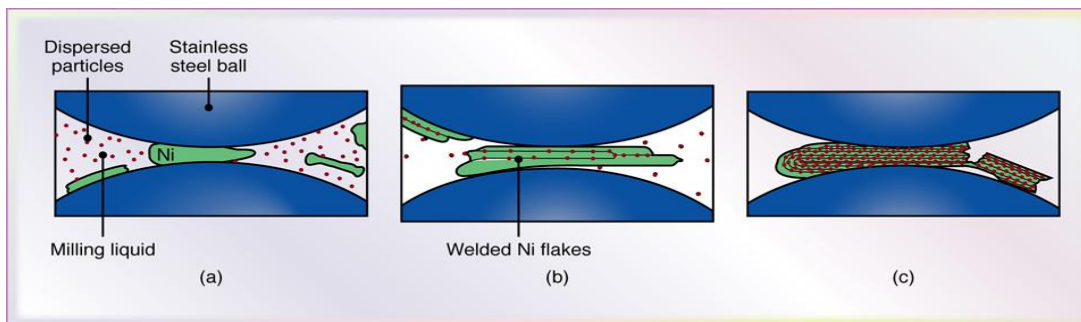
облици комора за мешање



мешалица с куглама

Слика 24. Опрема за мешање прахова [3]

На слици 25. илустровано је механичко легирање крупнијих честица никла с расутим ситнијим честицама. Између челичних кугли честице никла се спљошћују и у њихову се површину утискују додатне ситне честице. Током времена, услед понављаног спљоштавања, ломљења и заваривања додатне ситније честице се равномерно распоређују у крупнијим честицама никла. [3]



Слика 25. Механичко легирање честица никла [3]

3.2 Пресовање

Процес пресовања праха изводи се на хидрауличним пресама, у алатима од тврдог метала, са израђеним гравурама у облику плочице. Прах попуњава гравуре након чега се сабија између 2 калупа који се затварају и формирају облик. Процес достављања праха у калупе најчешће је аутоматизован, са тачном тежином праха који долази како би се формирао пун облик. Тако обликована плочица је крта и осетљива, па се мора пажљиво извадити из алата. Алати се праве у алатницама фирме, па се побољшавају, или се праве од тврдог метала. Ови процеси изводе се у посебним атмосферским условима како би квалитет био што већи. Алати се одлажу на полице, и сортирају (слика 26.)



Слика 26. Сортирање калупа за плочице у фирми Corun Holding doo

3.3 Синтеровање

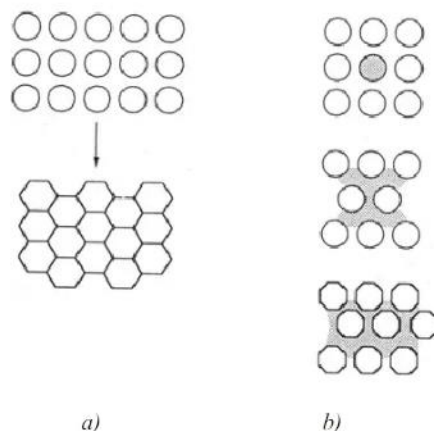
Синтеровање је процес повећања густине и механичке чврстоће обликованог керамичког тела које се одвија у току топлотне обраде процесом печења. Обично је почетни материјал фини прах који је претходно млевен, мешан и моделован у жељен облик, а потом подвргаван третманима жарења и топљења како би се добио чврст и густ материјал.

Једном обликован материјал се даље подвргава загревању или синтеровању. Другим речима синтеровање је процес којим се компактни прах током загревања трансформише у јаку керамику велике густине. Према Балшину дефиниција синтеровања је следећа: "Синтеровањем се назива квантитативна и квалитативна промена природе контакта између честица праха, изазвана топлотном покретљивошћу атома или јона и узајамним деловањем честица са атмосфером синтеровања, које је праћено повећањем контактне површине, смањењем порозности и повећањем механичке чврстоће синтерованог тела."

Синтеровање је веома комплексан феномен у којем се више процеса симултано дешава. Сама суштина процеса синтеровања је добити што је могуће гушћи материјал на што је могуће нижој температури. Према карактеру присутних фаза може се извршити подела на:

- Синтеровање у чврстој фази и
- Синтеровање у присуству течне фазе.

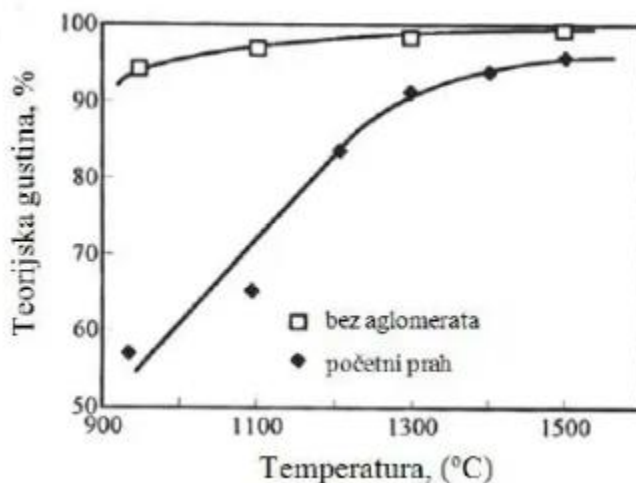
У другом случају састав и температура синтеровања се бира тако да дође до стварања неке течне фазе током самог процеса синтеровања.



Слика 27. (а) Синтеровање у чврстој фази; (б) Синтеровање уз присуство течне фазе [11]

Сама кинетика синтеровања зависи од многих променљивих, као што су: величина честица и њихов распоред, атмосфера у којој се синтеровање врши, степен агломерације, температура, као и присуство нечистоћа.

На примеру кинетике денсификације праха цирконије стабилизоване итриумом, приказано на слици јасно се види разлика у кинетици гушњавања поменутог материјала у односу на исти материјал али који је пре синтеровања био ослобођен агломерата. Уочљиво је да долази до значајног снижавања температуре синтеровања којом се постиже пуна густина и то за чак 300°C код материјала који је претходно био ослобођен агломерата.



Слика 28. Температура зависности густине синтеровања цирконије стабилизоване итријумом истог материјала, али који је пре синтеровања био ослобођен од агломерата [11]

Проучавање процеса синтеровања

Проучавање синтеровања почиње 1946. године, када су се готово истовремено појавили теоријски радови Френкела и Пинеса. Основни циљ проучавања синтеровања је разумевање процеса који доводе до згушњавања материјала, односно денификације, и постигања жељених микроструктурних особина.

Синтеровање је могуће проучавати на два начина:

- Проучавања на реалним праховима и
- Проучавања на моделима

Проучавање на моделима помаже објашњењу реалних система, јер је само проучавање реалних прахова доста компликовано, а понекад готово и немогуће.

3.4 Завршна израда измењивих резних плочица

У завршну израду измењиве резне плочице убрајају се операције као што су брушење плочица, како би се добиле неопходне оштре ивице и резни углови, благо заобљавање резних ивица плочице како би се продужио век постојања, затим наношење неке од превлака. Брушење се изводи на специјално конструисаним бруселицама, где се помоћу шаржера или других механизма врши брзо брушење великог броја плочица. Радници додају плочице у шаржере, и преузимају оне које су готове. Заобљавање се такође врши на бруселицама подешеним да на резним ивицама плочица формирају радијус од неколико микрометара или неколико стотих делова милиметра. Ово је јако важно одрадiti како не би дошло до велике концентрације температуре и уништења резне ивице. Када је плочица добила свој финални облик, прелази се на фазу наношења превлаке, У зависности од захтеваних карактеристика резне плочице бира се одређена превлака која јој доноси нове особине. Превлаке се могу наносити физичким или хемијским процесима у одређеним коморама. Хемијски процес се све више избацује из употребе због испуштања штетних гасова у атмосферу, тако да су физички процеси више у примени.



Слика 29. Поступак завршне обраде плочица

3.5 Примери примене резних плочица од тврдог метала

Стругање

Стругање је једна од најзаступљенијих врста обраде резањем. Примењује се у свим видовима производње, од појединачне па до високосеријске производње. Главно кретање у обради стругањем је обртно кретање и изводи га предмет обраде док помоћно кретање по једној оси или по одређеној контури (кретање по више оса) изводи алат, најчешће једносечни алат. Стругање се у основи сматра као континуални процес резања.[4]

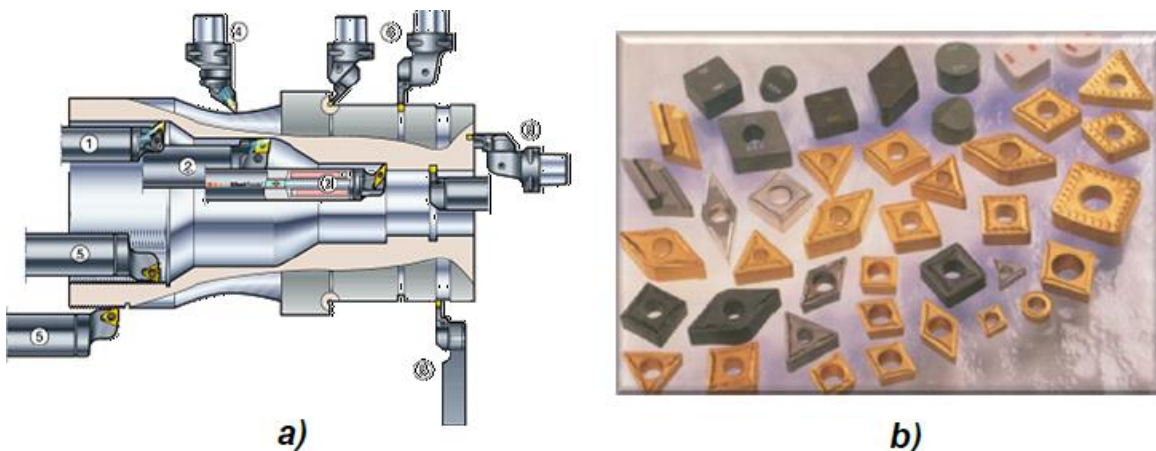
У обради стругањем (слика 30). заступљене су следеће операције:

- Уздужно стругање (спољашње и унутрашње стругање),
- Попречно стругање (чеоно стругање),
- Обрада конусних површина,
- Профилно стругање,
- Укопавање и одсецање.



Слика 30. Основне операције у обради стругањем [4]

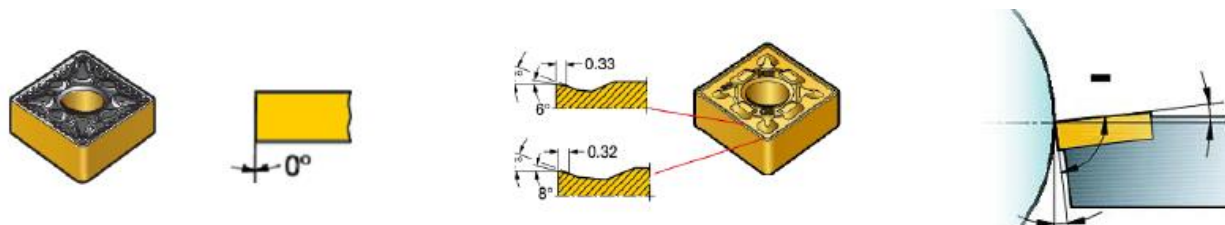
На слици 31.а. приказан је предмет обраде сложеније конфигурације и положаји савремених алата у захвату, док су различите врсте савремених резних плочица приказане на слици 31.б.



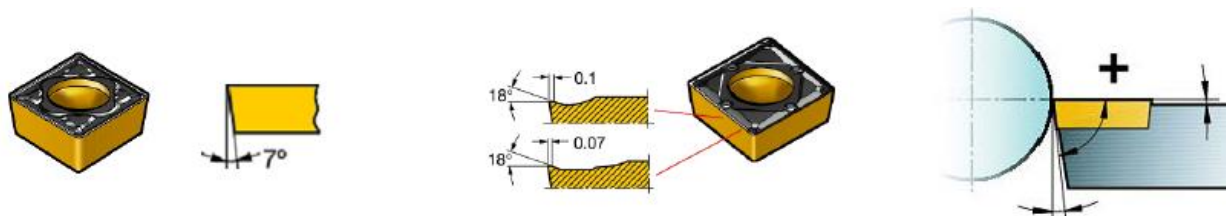
Слика 31. Стругарска обрада предмета сложене конфигурације (а) и различите врсте савремених резних плочица које се користе у обради стругањем (б) [4]

Код савремених резних алата у обради стругањем (алати са изменљивим резним плочицама) геометрија алата је у основи дефинисана на самој резној плочици (слике 32 и 33). Постоје две врсте плочица и то:

- Плочице са оновном негативном геометријом (слика 32.)
- Плочице са основном позитивном геометријом (слика 33.)



Слика 32. Плочице са основном негативном геометријом



Слика 33. Плочице са основном позитивном геометријом [4]

Резне плочице са основном негативном геометријом карактерише:

- Јака резна ивица,
- Израђују се као једностране и двостране,
- Израђује се са и без WIPER геометрије,
- Ове плочице су најбољи избор за спољашње стругање.

Резне плочице са основном позитивном геометријом карактерише:

- Мала вредност сила резања,
- Израђују се само као једностране плочице,
- Доступне су са и без WIPER геометрије,
- Ове плочице су најбољи избор за унутрашње стругање и спољашње стругање при обради танкозидних компоненти.

На слици 34. приказани су савремени облици резних плочица са хеликоидалним резним ивицама и са инкорпорираним ломачима струготине. Изучавање технологије формирања и ломљења струготине и оптималних облика ломача струготине и уопште геометрије алата у данашње време представља веома актуелну област истраживања.[4]



Слика 34. Резне плочице хеликоидне геометрије [4]

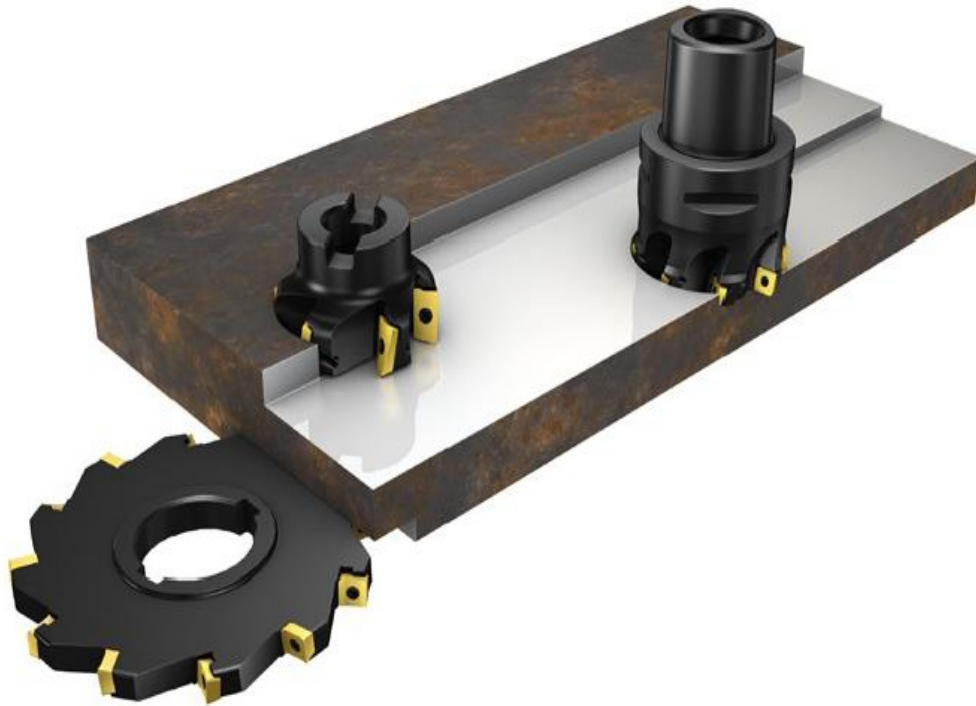
Глодање

У свом најосновнијем облику, обрада глодањем подразумева координисано линеарно, или мулти осовинско кретање вишесечног алата који ротира преко дела који се обрађује, урањајући у њега. Глодала су вишесечени алати намењени за обраду равних, закривљених, степенастих површина обрађеног профила, жљебова, прореза, итд. Усавршавањем облика глодала и прилагођавањем резне геометрије условима рада, може се постићи висока продуктивност обрадних процеса. Глодањем се постиже широк дијапазон квалитета обрађене површине, посебно применом грубог и завршног (финог) глодања. Алати (глодала) се обично постављају на ротирајућа вретена различитих машина. Постоји велики број доступних машина на којима се могу користити глодала: глодалице, обрадни центри (глодалице са аутоматским измењивачем алата), стругарски обрадни центри итд.[4]

На слици 35. приказане су различите операције глодања савременим глодалима са механички причвршћеним плочицама од тврдог метала и других савремених алатних материјала.

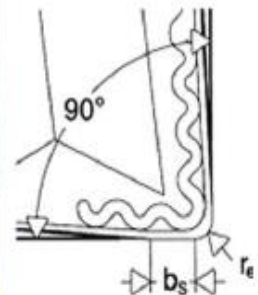
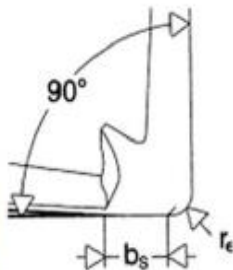


Слика 35. Примери операција и савремених алата у обради глодањем [4]



Слика 36. Операција глодања [4]

Позитивно/негативне резне ивице (слика 37.) На пример, на слици 37. геометрија плочице укључује комбинацију позитивног аксијалог грудног угла и негативног радијалног грудног угла.



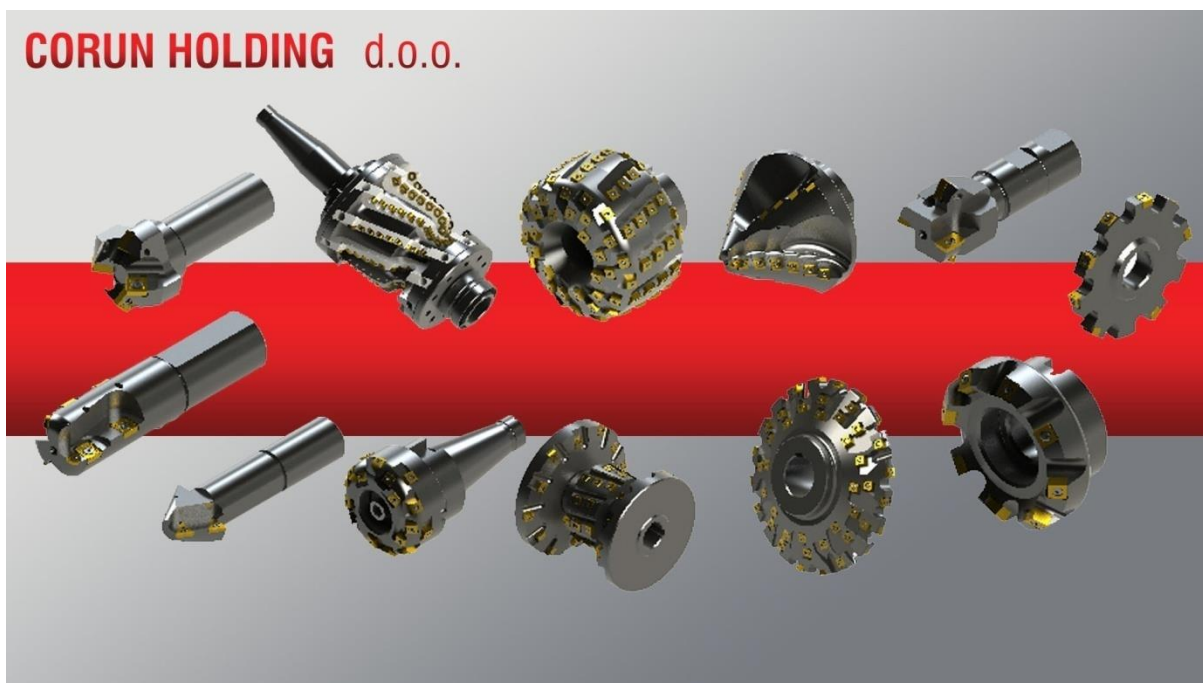
Слика 37. Геометрија резне плочице [4]

4. Опис примењених технологија у предузећу *Corun* Ужице

4.1 Corun Holding DOO

У оквиру истраживања и прикупљања информација за завршни рад, посећена је фирма **Corun Holding DOO**, једина фирма у нашој земљи која се бави производњом савремених резних алата, резних плочица и њихових носача као што је приказано на слици 38. Налази се у Ужицу, фирма је специјализована за производњу резног алата од тврдог метала за машинску обраду, специјалних алата за путну, рударску и нафтну индустрију. Фирма је основана 1983.године. Неколико пута је промењен власник фирме, тако да је данас целокупни власник *Coruna* домаћа наменска индустрија. *Corun* ради по технологији Sandwik Coromant-a.

У фабрици **Corun** производе се сви сегменти савременог резног алата, резне плочице и њихови носачи. Алати, односно калупи у којима се сабија прах и производе плочице различитих дименија и облика такође се праве на лицу места, у алатници фирме. Производња није везана само за алате, већ и за резне друге делове од тврдог метала. Захваљујући сопственом научно-истраживачком центру и служби техничке подршке, вишегодишњем искуству у обради резањем, као и високо обученим специјалистима имају могућност да за сваки конкретан и специфичан проблем понуде јединствено, економично и најбоље могуће решење за потребе купца, у најкраћем могућем року.[6]



Слика 38. Глодачки алати са резним плочицама фирме *Corun Holding DOO*[6]

4.2 Поступак производње измењивих резних плочица

Поступак производње измењивих резних плочица је дуг и захтеван процес, за који је потребан висок ниво чистоће, одређена температура окружења производње, влажност ваздуха, као и број других захтеваних услова. Спроводи се строга контрола ових параметара, а у производњу су уграђени системи за њихово одржавање. Радници морају водити рачуна о томе да приликом производње резних плочица не додирују пресовани прах голим рукама, већ да користе хватаљке и пинцете за премештање. То се ради у циљу спречавања да честице зноја са руку доспеју на површину сабијеног праха, што би у даљем процесу производње довело до задржавања влаге на том месту, а касније иницирање корозије. Радници морају пажљиво руковати са плочицом после пресовања праха, јер је у тој фази плочица веома крта. Важно је да се напомене да фирма купује готове прахове за потребне квалитете.

Производња измењиве резне плочице одвија се у 4 фазе:

1. Пресовање праха
2. Синтеровање
3. Брушење
4. Наношење превлаке

Пресовање праха одвија се на хидрауличним пресамa (слика 40.) у калупима од тврдог метала. У калупе аутоматизовано доспева тачна количина праха, након чега долази до састављања горњег и доњег калупа чиме се добија облик плочице. Радници пажљиво узимају пресовану плочицу и одлажу их у посуду (слика 39.), које се убацују у пећ за синтеровање. Прах од волфрам карбида чија су зрна лоптастог облика сабија се, тако да зрна попримају облик елипсе, а између њих постоје шупљине. Те шупљине испуњене су кобалтом, који служи као везивни елемент волфрам карбида.



Слика 39. Посуде у које се одлажу плочице



Слика 40. Хидраулична преса за пресовање праха

Синтеровање се изводи у посебним пећима, где се тако пресован облик слаже у посудама, а сам процес синтеровања је временски дуг. Пећи су херметички затворене, а пре процеса синтеровања је битно да се у пећи створи вакуум, што такође захтева пуно времена. Путем електронике, сензора и дисплеја можемо пратити стање унутар пећи (температура, притисак итд). Синтеровање је процес печења формираних облика плочица, након чега оне добијају своју чврстоћу.



Слика 41. Пећи у којима се плочице формирају

Брушењем плочица добијају се резни углови и резне ивице плочица. Ради бржег процеса брушења направљени су шаржери у које се плочице слажу и аутоматизовано долазе у зону брушења. Резне ивице се благо заобљавају, са малим радијусом од неколико стотих делова милиметара, да се повећа трајност резне плочице при резању, јер је оштра ивица најрањивија на температуру и крзање. (слика 42.)



Слика 42. Машина за равно брушење резних плочица

Наношење превлаке може се одвијати на 2 начина, физичким и хемијским путем. Хемијски начин наношења превлаке је бољи, али се избацује из примене због еколошких разлога. Испарења гасова која се ослобађају у атмосферу су штетна. Зато је физичка метода наношења превлаке много више у примени. (слика 43.)



Слика 43. Комора за наношење превлака

PVD процес пресвлачења

Опште о пресвлачењу

Наношење тврдих слојева на површину неког металног предмета се изводи са циљем побољшања њених особина. Дебљина и својства нанешеног слоја (или више слојева) могу бити различите, зависно од захтева и примењеног поступка. Најчешћи захтеви који се постављају у примени одређеног металног предмета су: отпорност на хабање, антикорозивна заштита, отпорност на високу радну температуру, висока постојаност особина у примени, мали коефицијент трења и смањење пријања обрађиваног материјала на радни комад. Зависно од материјала металног предмета и услова његове експлоатације бира се процес пресвлачења, а због изразитих предности у односу на остале, најчешће у примени су :

CVD- хемијско таложeње елемената из парне фазе

Код овог поступка тврди слој настаје реакцијом гасова на површини предмета који се пресвлачи при релативно високим температурама (око 1000°C). Кретање честица у радној комори није усмерено тако да се формира равномерни слој без потребе предузимања потребних мера (нпр. кретање комада) овом методом се могу пресвлачити и елементи веома сложеног облика (површине ван зоне видокруга). При хемијској реакцији настају споредни продукти који се могу уклањати из коморе и веома су штетни по околину. Овим поступком се најчешће пресвлаче делови од тврдог метала.

ПВД – физичко таложeње елемената и парне фазе

Овим поступком се могу формирати слојеви чистих метала (алуминијум, хром, титан и др.) или једињења (карбиди титана, тантала, молибдена и др.) на површини металних делова. Делови морају бити електропроводљиви и размагнетисани. Материјал који треба наталожити се прво преведе у парну фазу испаравањем у вакууму. Затим се честице испареног материјала усмеравају електричним пољем на негативно наелектрисану површину радног предмета. Поступак се изводи на релативно ниским температурама од $200-500^{\circ}\text{C}$, а дебљина нанешеног слоја је неколико микрона. Да би слој био једнаке дебљине делови морају планетарно ротирати у радном простору коморе, па се не могу квалитетно пресвући делови које имају површине ван зоне видокруга (максимална дубина пресвлачења отвора је до пречника отвора. Ниска температура процеса омогућава наношење слојева на завршно обрађене делове и не изискује додатну термичку или завршну обраду. Овај процес има скупљу опрему, јер захтева софистицирани реактор и вакуум систем да би се створили услови за генерисање и транспорт парних врста. Али је еколошки прихватљивији, због ниских температура процеса и неиздвајања штетних састојака.

Подручија примене PVD пресвлака

Због лакоће применљивости и карактеристика које даје површини предмета, PVD пресвлака се користи у:

- Металоперађивачкој индустрији за повећање постојаности алата (резни алат, алат за просецање, извлачење, деформацију у топлом и хладном стању),
- Индустрији робе широке потрошње као корозивна заштита и у декоративне сврхе,
- У електроиндустрији.
- У производњи медицинске опреме, итд.

У следећем делу рада представљене су неке од могућих превлака за резне плочице:

Титан нитрид (TiN) пресвлака

Титан нитрид је због својих добро у равнотежених особина пресвлака која се често користи. Највише се примењује у области метала резањем и обликовањем и у декоративне сврхе због своје карактеристичне жуте боје. Примена TiN пресвлаке на резним алатима продужава животни век алата јер смањује коефицијент трења на површини. То помаже проток струготине, спречава наслаге материјала на ивици реног алата, смањује силу резања и загревања резног алата. Висока хемијска постојаност чини TiN погодним за употребу у индустрији хране и у медицини.

Примена TiN

- **Машинска обрада** – обрада материјала на бази гвожђа. Често се користи за алате за израду зупчаника, алата за бушење са ниским и средњим параметрима резања,
- **Примене у медицини** – пресвлагање имплантата, протеза и хируршких алата,
- **Декоративна пресвлака** – санитарна опрема, кућни апарати, часовници оружје,
- **Опрема у прехранбеној индустрији** – ножеви, млинови, мешалице,
- **Обликовање** – пресвлагање алата за обликовање метала и алата за бризгање пластике.



(a)



(б)

На слици 44. (a) су прикаани алати за обликовање, а на слици 44.(б) су приказани медицински инструменти [7]



(ц)



(д)

На слици 44.(ц) су приказани резни алати, а на слици 44.(д) је приказана декоративна обрада [7]

Особине пресвлаке

- Велика површинска тврдоћа,
- Добро пријањање на основу,
- Добра хемијска постојаност,
- Повећана жилавост,
- Еколошки погодна за употребу,
- Ниска проводљивост топлоте.

Титан карбо-нитрид (TiCN) пресвлака

TiCN је специјално пројектован са сложенom вишеслојном структуром, што му даје већу тврдоћу и мањи коефицијент трења од TiN. Поред високе тврдоће, TiCN има високу жилавост и отпорност на хабање при високим температурама. Ове особине су пожељне за многе примене, нпр. код прекидног резања када се на резној ивици јављају променљиве температуре у току рада. Успешно се примењује код глодала, развртача, бургија и плочица од тврдог метала. У операцијама обликовања TiCN смањује хабање и проблеме који настају лепљењем материјала на алат.

Примена TiCN

- Машинска обрада – глодање, стругање, бушење и резане високо и ниско легираног челика. Погодан за обраду тешко обрадивих легираних и нерђајућих челика,
- Обликовање – погодан за пресвлачење алата за извлачење, пресецање, пробијање и пресовање. Одличан у примени у широком спектру обликовања челика и не-гвоздених легура у хладном стању.



Слика 45. резни алати и друге апликације [7]

Особине пресвлаке

- Велика тврдоћа,
- Добро пријањање на основу,
- Добра отпорност на хабање на високим температурама,
- Повећана жилавост,
- Низак коефицијент трења,
- Велика проводљивост топлоте.

Хром Карбо Нитрид (CrCN) пресвлака

CrCN представљају најбољи избор када се захтева отпорност на хабање услед трења, отпорност на корозију и оксидацију као и добро клизање код недовољног подмазивања. CrCN има већу површинску тврдоћу и мањи коефицијент трења од CrCN пресвлаке. Веома је погодан за примену код алата за бризгање пластике, због лакшег избацивања одливка из алата.

Примена CrCN

- **Машинска обрада** – алати за стругање, глодање, бушење и одсецање при обради не-гвоздених метала, посебно легура Ti и Cu,
- **Обликовање** – алати за извлачење, просецање, пробијање, пресовање и ковање при обради не-гвоздених метала. Посебно се користи за обликовање легура Ti и Cu као и за одливке алуминијума и магнезијума,
- **Прерада пластике** – Алати изложени корозивном и абразивном хабању, нпр. под утицајем агресивних и тврдих материјала за ливење, могу се ојачати са CrCN слојем.



Слика 46. Алати за бризгање пластике [7]



Слика 47. Алати и компоненте а обликовање [7]

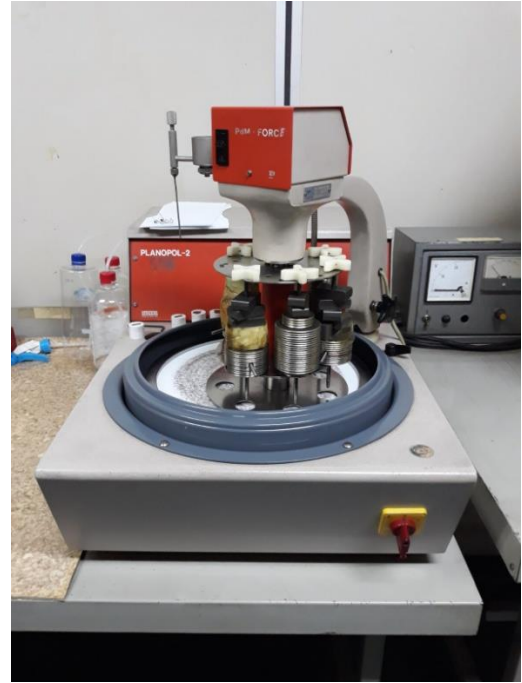
Особине пресвлаке

- Висока тврдоћа и пријањање,
- Веома добра хемијска постојаност,
- Мали коефицијент трења по челику,
- Висока температура постојаност на ваздуху,
- Мали напони у структури слоја,
- Могућа дебља пресвлака.

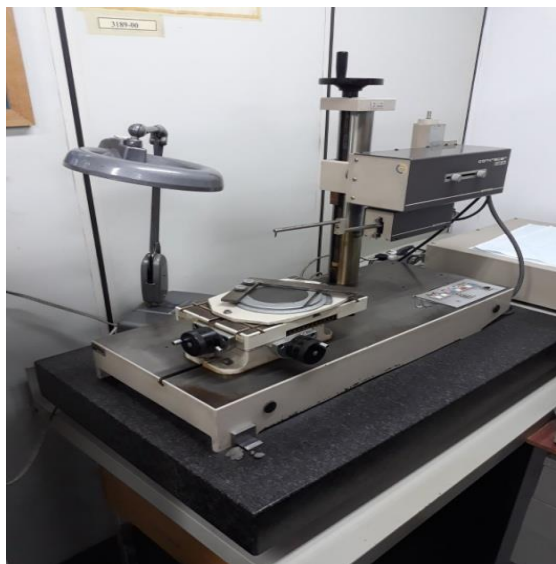
У следећем делу су приказане неке од машина за мерење тврдоће и храпавости у предузећу **Corun Holding DOO** у Ужицу:



Слика 48. Мерење тврдоће



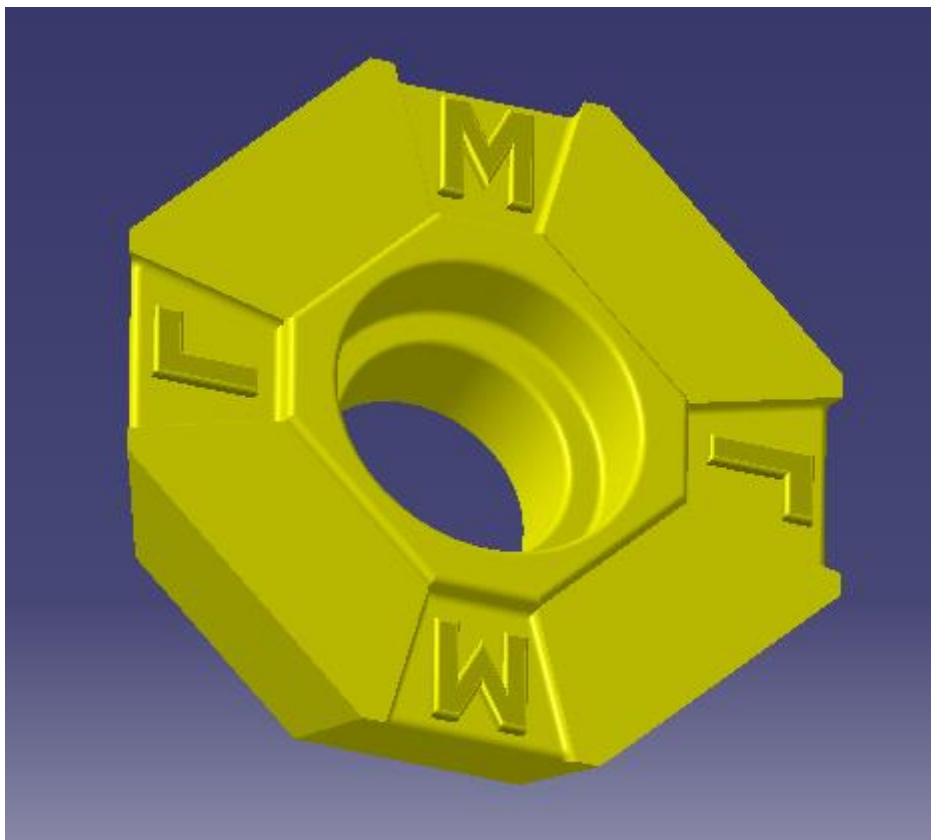
Слика 49. Мерење тврдоће



Слика 50 Машина за мерење храпавости

4.3 Моделирање резне плочице

Циљ је био да се осмисли сопствени дизајн резне плочице која је осмоугаона. У овом случају она има 8 резних ивица и могућност да се окрене 8 пута. Плочица је ширине 18mm и висине 5mm (слика 51.).



Слика 51. Моделирана осмоугаона измењива резна плочица

Гравура која је одрађена на плочици нема улогу када је резање у питању, већ представља иницијале мог имена, по чему би резна плочица била препознатљива, на тај начин произвођачи имају сопствене симболе и гравуре које стављају на површину измењиве резне плочице. Плочица је од волфрам-карбида (WC), са превлаком од титан-нитрида (TiN),.

5. Закључак

Све веће захтеве производње у погледу краћег времена израде и економичности, немогуће је остварити без развоја резног алата, њихових материјала и њихове геометрије. Цена производа у многим случајевима зависи од брзине којом се производе приликом процеса обраде резањем, а најбољи пример за то је аутомобилска индустрија, у којој се најважнији делови аутомобила производе и обрађују управо процесима обраде резањем. Зато су улагања у великој мери усмерена на развој савремених алата и алата од тврдых метала. На темељу проучене литературе, тврди метали имају јако добра својства као што су: висока тврдоћа, висока отпорност на трошење, висока топлотна и електрична проводљивост, отпорност на корозију итд. Та им добра својства омогућују широко подручје примене, у изради резних алата, делова машина, алата за пробијање. Резне плочице донеле су нову еру што се тиче производње алата. Плочице се лако смањују, па се смањују временски губици за оштрење алата. Плочица и носач нису од истог материјала, већ се носач прави од јефтинијег и мање побољшаног материјала, док је мала плочица на носачу од тврдог и скупљег материјала. То је такође донело уштеду у производњи резног алата.

6. Литература

- [1] Група аутора: Техничка енциклопедија – 13. свезак, Лексикографски завод Мирослав Калежа, Загреб 1997.
- [2] Технологија производње класичног не магнетног тврдог метала, Sinter Mak D.o.o., технолошке подлоге, 2011.
- [3] Колумбић З., Томац Н.: Материјали – подлоге за дискусију; Свеучилиште у Ријеци; Филозофски факултет, Одсјек за политехнику, Ријека 2005.
- [4] Алати и прибори: <http://masinstvo.tehnickasd.edu.rs/Alati-i-Pribori-Skripta.pdf> приступљено 07.10.2019.
- [5] Цукор Г.: Производне технологије; Свеучилиште у Ријеци; Технички факултет
- [6] Corun Holding Doo: <https://corun.rs/> приступљено 07.10.2019.
- [7] Plasma vacuum deposition PVD технологија: http://corun.rs/katalog/PVD_serbian_489.pdf приступљено 07.10.2019
- [8] The Multimachine Open Source Concrete Lathe Project: [file:///C:/Users/pc/Downloads/multimachine-concrete-lathe-ver-1-10%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/multimachine-concrete-lathe-ver-1-10%20(1).pdf) приступљено 05.10.2019.
- [9] Тврди метали: <http://tvrdimetal.com/portfolio/alati-za-obradu-alata-rezanjem/> приступљено 05.10.2019.
- [10] SANDVIK Coromant: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/pages/default.aspx> приступљено 07.10.2019.
- [11] Синтеровање: <https://www.scribd.com/doc/114721568/Sinterovanje-Marija-Prekajski> приступљено 05.09.2019.