



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SLINUTÉ KARBIDY PRO OBRÁBĚNÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

CEMENTED CARBIDES FOR MACHINING OF STAINLESS STEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin KAKÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Anton HUMÁR, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Kakáč

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Slinuté karbidy pro obrábění korozivzdorných ocelí

v anglickém jazyce:

Cemented carbides for machining of stainless steels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na slinuté karbidy, doporučované pro obrábění korozivzdorných ocelí. Zabývá se druhy korozivzdorných ocelí a jejich vlastnostmi z hlediska obrábění. Rozebírá výrobu, fyzikálně mechanické vlastnosti slinutých karbidů se zaměřením na aplikační oblast obrábění korozivzdorných ocelí, včetně doporučených řezných podmínek pro vybrané materiály domácích i zahraničních výrobců a dodavatelů řezných nástrojů a nástrojových materiálů.

Cíle bakalářské práce:

1. Charakteristika korozivzdorných ocelí (rozdělení, vlastnosti, užití).
2. Charakteristika slinutých karbidů (druhy, výroba, značení, fyzikálně mechanické vlastnosti, povlaky).
3. Slinuté karbidy pro obrábění korozivzdorných ocelí (nepovlakované a povlakované) v sortimentu výroby vybraných domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů a doporučené podmínky v aplikační oblasti obrábění korozivzdorných ocelí.

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
4. Odborné časopisy: CIRP Annals - Manufacturing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00078506>), International Journal of Machine Tools and Manufacture (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/08906955>), International Journal of Refractory Metals & Hard Materials (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02634368>), Journal of Materials Processing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09240136>), Materials Science and Engineering: A (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09215093>), Surface and Coatings Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02578972>), Thin Solid Films (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00406090>), Wear (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>).
5. Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Kyocera, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Sumitomo, Walter, Widia, WNT.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanovený časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 30.10.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr.h.c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou korozivzdorných ocelí a jejich obráběním, slinutými karbidy a to jak povlakovanými, tak nepovlakovanými. První kapitola je věnována podrobnému rozdělení korozivzdorných ocelí, jejím vlastnostem a užitím v praxi. Dále jsou charakterizovány slinuté karbidy (SK) jako celek. Od jejich druhů, výroby, značení přes fyzikálně mechanické vlastnosti až po jejich povrchovou úpravu, tedy povlaky. Poslední kapitola práce je zaměřena na SK pro obrábění korozivzdorných ocelí. Vybrány jsou řezné nástroje od firem WNT, Pramet Tools a Sandvik Coromant. Provádí se porovnání doporučených řezných podmínek v aplikační oblasti korozivzdorných ocelí. Dále je proveden praktický test s vyměnitelnou břitovou destičkou HCN 2125 od WNT.

Klíčová slova

slinutý karbid, korozivzdorná ocel, obrábění

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with stainless steels and their machining, cemented carbides, both coated and uncoated. The first chapter is devoted to a detailed distribution of stainless steel, its properties and their use in practice. Next cemented carbide are characterized as a whole. From the species, production marking via physical and mechanical properties to the coating. The last chapter is focused on cemented carbides for machining stainless steels. Tools from companies WNT, Pramet Tools and Sandvik Coromant are selected. The comparison of recommended cutting conditions in the area of application of stainless steels. It is made practical test with indexable cutting insert HCN 2125 by WNT.

Keywords

cemented carbide, stainless steel, machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAKÁČ, Martin. *Slinuté karbidy pro obrábění korozivzdorných ocelí*. Brno, 2014. 40s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Odbor technologie obrábění. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Slinuté karbidy pro obrábění korozivzdorných ocelí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Kakáč

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále mé rodině za podporu.

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 KOROZIVZDORNÉ OCELI.....	9
1.1 Odolnost vůči korozi.....	9
1.2 Značení korozivzdorných ocelí.....	10
1.3 Druhy korozivzdorných ocelí.....	11
1.3.1 Feritické oceli.....	11
1.3.2 Martenzitické oceli.....	13
1.3.3 Austenitické oceli.....	14
1.3.4 Duplexní oceli.....	16
1.3.5 Precipitačně vytvrditelné oceli.....	17
1.4 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí.....	18
2 SLINUTÉ KARBIDY.....	20
2.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti slinutých karbidů.....	20
2.2 Druhy a značení slinutých karbidů.....	21
2.3 Výroba.....	22
2.4 Povlakování.....	23
2.4.1 Výroba povlakovaných slinutých karbidů.....	24
2.4.1.1 Povlakovací metoda CVD.....	24
2.4.1.2 Povlakovací metoda PVD.....	24
2.4.1.3 Nové vývojové trendy v povlakování.....	25
3 SLINUTÉ KARBIDY PRO OBRÁBĚNÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ.....	26
3.1 WNT.....	26
3.2 Pramet Tools.....	27
3.3 Sandvik Coromant.....	28
3.4 Doporučené řezné podmínky v aplikační oblasti obrábění korozivzdorných ocelí...28	
3.5 Praktický test s použitím vyměnitelné břitové destičky HCN 2125.....	30
ZÁVĚR.....	33
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	34
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	38
SEZNAM TABULEK.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	40

ÚVOD

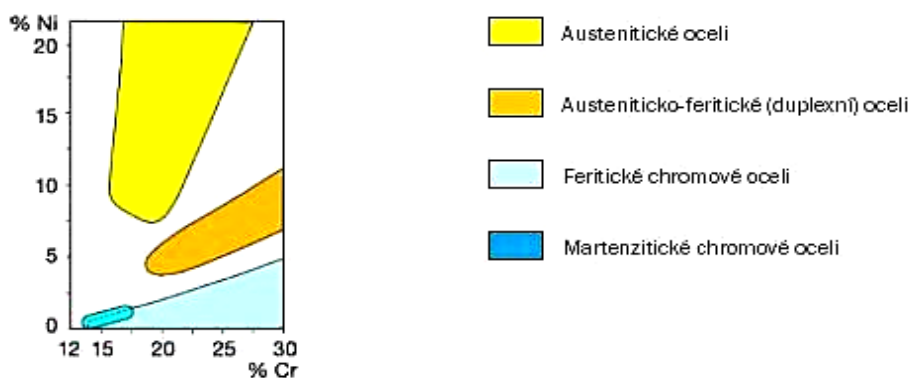
S intenzivním rozvojem průmyslu se v současnosti kladou čím dál vyšší nároky na konstrukční materiály. Užití korozivzdorné oceli jako konstrukčního materiálu je zejména v potravinářském a chemickém průmyslu ideálním řešením z hlediska provozu, životnosti, bezpečnosti a v poslední době stále aktuálnější otázky ekologie. Aplikace tohoto druhu oceli v praxi zajišťuje možnost zvýšení technických parametrů zařízení. Dále je zaručena velmi vysoká životnost při maximální bezpečnosti provozu. V mnoha případech je pro jeden specifický technologický proces vyvinuta jedna konkrétní korozivzdorná ocel. Mezi největší spotřebitele se řadí se 45 % veškeré vyrobené korozivzdorné oceli energetický a chemický průmysl. Následuje potravinářský průmysl, který spotřebuje 25 % korozivzdorné oceli, dále architektura nebo automobilový průmysl.

U všech navrhovaných výrobků musí být dosaženo požadovaného rozměru a tvaru. Toho docílíme většinou obráběním. A to soustružením, frézováním či vrtáním, které se řadí mezi základní technologie obrábění. Tyto technologie vyžadují vhodné řezné materiály. V současnosti největší podíl na trhu s řeznými materiály zaujímají slinuté karbidy, jak nepovlakované, tak hlavně skupina slinutých karbidů, která je opatřena velmi tvrdými a oteřuvzdornými povlaky. Zároveň se jedná o skupinu řezných nástrojů, u které je v dnešní době zaznamenáván nejintenzivnější vývoj a kde se uplatňují nové vývojové trendy. Technologie výroby slinutých karbidů se neustále zdokonalují, což má za výsledek výrobu efektivnějších řezných nástrojů, u nichž se zvyšuje jejich trvanlivost při současném nárůstu řezného výkonu.

Při obrábění korozivzdorných ocelí se klade důraz zejména na dosažení co nejvyšší kvality struktury povrchu a rozměrové přesnosti obrobku, což mnohdy není u těchto těžkoobrobitelných ocelí jednoduchý úkol. Důvodem je jejich sklon ke zpevňování za studena a nízká teplená vodivost.

1 KOROZIVZDORNÉ OCELI

Korozivzdorné oceli patří mezi konstrukční kovové materiály s typickým chemickým složením. Obsahují minimálně 11,74 % chromu (Cr), některé typy pak obsahují až 30 % jak je uvedeno na obr. 1. Oproti nelegovaným ocelím mají výrazně lepší odolnost proti korozi. Tuto odolnost zlepšují prvky nikl (Ni, až 30 %) a mangan (Mn, až 24 %). Pro zlepšení dalších vlastností se tyto oceli dále legují prvky niob (Nb), titan (Ti) - odolnost proti mezi-krytalové korozi, dusík (N) - pevnost, korozní odolnost, síra (S) - obrobiteľnosť, měď (Cu), molyben (Mo), křemík (Si), hliník (Al), tantal (Ta), wolfram (W), vanad (V) s obsahem maximálně do několika % těchto prvků. Dalším důležitým prvkem je uhlík (C), jehož obsah se pohybuje v rozmezí 0,01 až 1,5 %. Korozivzdorné oceli patří do skupiny ušlechtilých ocelí, u kterých jsou požadovány speciální podmínky výroby a specifické podmínky zkoušení. Vyrábějí se tvářením, práškovou metalurgií nebo odléváním. V dnešní době se čím dál tím více zvyšují nároky na jejich vlastnosti. Proto se zavádí nové technologie výroby, a to především metalurgické procesy, zaměřené na zvýšení čistoty a vyšší kvalitu struktury korozivzdorných ocelí. [20, 26, 31, 32, 33]



Obr. 1 Vliv obsahu chromu (Cr) a niklu (Ni) na strukturu korozivzdorných ocelí. [38]

1.1 Odolnost vůči korozi

Odolnost korozivzdorných ocelí proti korozi je založena na jejich schopnosti se pasivovat. Podmínkou pasivace oceli je obsah chromu (Cr) minimálně 11,74 %. V místech poškození pasivní vrstvy nebo tam, kde je tato vrstva nehomogenní, dochází v důsledku mechanického namáhání k dalšímu vzniku defektů. Pasivní vrstva dává korozivzdorným ocelím dobrou odolnost proti všeobecné korozi. Každý druh koroze má svůj vlastní mechanismus a probíhá za určitých specifických podmínek. Nejvíce nebezpečnými druhy koroze jsou důlková a štěrbinová koroze. [20, 26, 32]

Druhy koroze:

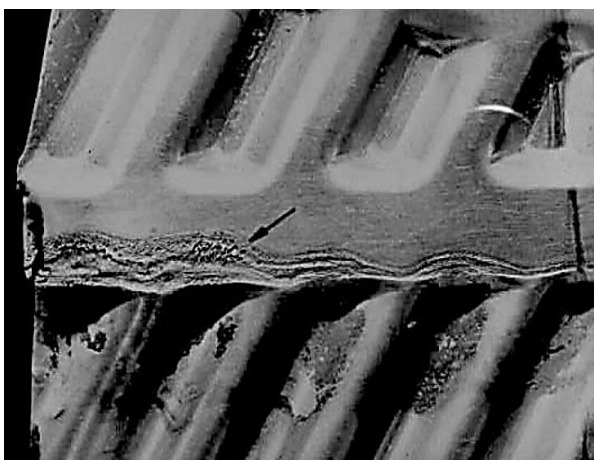
Důlková koroze (pitting) – dochází k ní při místním porušení pasivní vrstvy. Při zvýšených teplotách vznikají důlky o velikosti vpichu jehly jak je vidět na obr. 2. Zvyšovat odolnosti vůči pittingu lze přidáním molybdenu (Mo) a zejména chromu (Cr). [26, 32]

Štěrbínová koroze – vyskytuje se v trhlinách a spárách. Tyto nedokonalosti vznikají konstrukčně nebo za provozu. Její podstata je založena na stejných mechanismech jako pitting. [26, 32]

Koroze při mechanickém napětí – při zatížení vznikají trhliny, které probíhají mezikrytalově. Tento druh koroze je možný při současném splnění 3 podmínek: povrchy součástí jsou namáhány na tlak, specifické působící médium, sklon materiálu ke korozi při mechanickém napětí. [26, 32]

Mezikrytalová koroze – k tomuto druhu koroze dochází působením nadměrných teplot. U austenitických ocelí vzniká v rozmezí teplot 450 až 850 °C, u feritických nad 900 °C. Při svařování korozivzdorných ocelí dochází k místnímu ochuzování o chrom (Cr) v okolí karbidů chromu na hranicích zrn. [26, 32]

Mezi další druhy koroze patří např.: kontaktní koroze, rovnoměrná plošná koroze, koroze za únavy. [26, 32]



Obr. 2 Pitting. [3]

1.2 Značení korozivzdorných ocelí

Značení korozivzdorných ocelí se provádí několika způsoby. Klasické označování podle dosud používané ČSN zařazuje tvářené korozivzdorné oceli do konstrukčních ocelí třídy 17. Toto označení se skládá z 6 číslic: 41 7XYZ. 4 – hutní materiál, 1 – tvářená ocel, 7 – korozivzdorná ocel, X – hlavní legující prvek: 0 – chrom (Cr), 2 – chrom (Cr) a nikl (Ni), 3 – chrom (Cr), nikl (Ni), molybden (Mo). Obvyklé je značení s vynecháním první číslice – pouze např. 17 348.

Příklady značení podle ČSN:

- **17 040** – 0,06 % C, 17 % Cr
- **17 240** – 0,05 % C, 18 % Cr, 10 % Ni
- **17 349** – 0,02 % C, 17 % Cr, 12 % Ni, 2 % Mo

V současné době se korozivzdorné oceli označují podle EN 10 027 – 1 a ČSN CR 10 260 (třídící znak 42 0011). Jedná se o kombinaci číslic a písmen: X *nnnaaa n-n*. X- korozivzdorná ocel, *nnn* – 100x střední obsah uhlíku (C), *aaa* – značky legujících prvků podle sestupného obsahu, *n-n* – střední obsah legujících prvků podle *aaa*.

Příklady značení podle EN 10 027 – 1:

- **X6Cr17** – 0,06 % C, 17 % Cr
- **X5CrNi18-10** – 0,05 % C, 18 % Cr, 10 % Ni
- **X2CrNiMo17-12-2** – 0,02 % C, 17 % Cr, 12 % Ni, 2 % Mo

Podle EN 10 027 – 2 (třídící znak 42 0012) lze tyto oceli označovat také číselně: 1.4XXX. 1 – ocel, 4 – korozivzdorná ocel, X – upřesňuje obsah legujících prvků. Např. 1.43XX – 3 – chromová ocel s obsahem niklu (Ni) nad 2,5 % bez molybdenu (Mo), titanu (Ti), niobu (Nb), poslední dvě číslice blíže specifikují ocel.

Příklady značení podle EN 10 027 – 2:

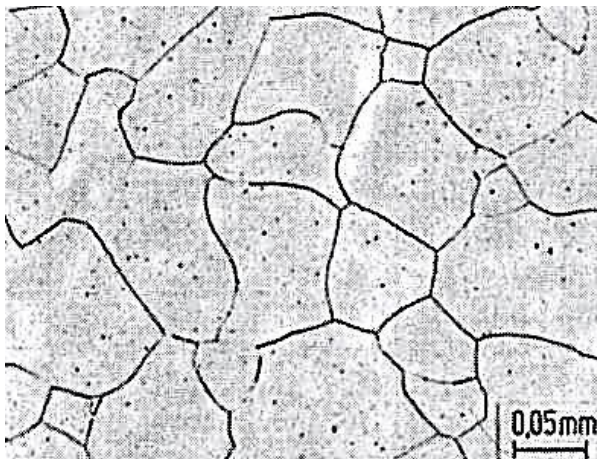
- **1.4016**– 0,06 % C, 17 % Cr
- **1.4301**– 0,05 % C, 18 % Cr, 10 % Ni
- **1.4404**– 0,02 % C, 17 % Cr, 12 % Ni, 2 % Mo. [20, 25, 46]

1.3 Druhy korozivzdorných ocelí

Podle struktury se korozivzdorné oceli rozdělují na feritické, martenzitické, austenitické, duplexní (dvoufázové) a precipitačně vytvrditelné. Tyto oceli se dále dělí do podskupin, které se liší zejména obsahem jednotlivých legujících prvků a mechanickými vlastnostmi. [33]

1.3.1 Feritické oceli

Feritické oceli představují nejjednodušší a nejlevnější variantu korozivzdorných ocelí. Hlavním legujícím prvkem je zde chrom (Cr) a to 11,74 až 30 %. Tyto oceli obsahují méně než 0,1 % uhlíku (C). Na obr. 3 je vidět jejich struktura, které se dosahuje příslušným tepelným zpracováním. Feritické korozivzdorné oceli se vyznačují odolností vůči koroznímu praskání. Nevýhodou je jejich vysoká křehkost za teplot vyšších než 900 °C. Jsou magnetické a mají poměrně malou pevnost (140 až 180 HB). Díky vyššímu obsahu síry (S) je jejich obrobitelnost relativně snadná. Mechanické a fyzikální vlastnosti feritických ocelí jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2. [4, 20, 32, 33]



Obr. 3 Struktura feritické korozivzdorné oceli. [26]

Feritické oceli s obsahem chromu (Cr) mezi 11,5 až 13,5%

Tato skupina feritických korozivzdorných ocelí má dobrou korozní odolnost v atmosféře a ve vodní páře. Naopak se nehodí do prostředí s mořskou vodou. Mají velké uplatnění v chemickém průmyslu – sedla ventilů, výměňkové trubky v zařízeních na zpracování ropy, potrubí čerpadel. Další využití tyto oceli nacházejí v průmyslu potravinářském. [4, 20, 32]

Feritické oceli s obsahem chromu (Cr) asi 17%

Feritické oceli s obsahem chromu (Cr) asi 17 % mají dobrou korozní odolnost proti atmosférické korozi, mořské a znečištěné průmyslové vodě. Dále odolávají benzínu, olejům a chladicím kapalinám. Jejich stabilizace titanem (Ti) zlepšuje odolnost proti mezikrystalové korozi. V potravinářském průmyslu se používají pro zpracování mléka, výrobě piva či octa. Dále jsou používány v automobilovém průmyslu, vzduchotechnice a architektuře. [4, 20, 32]

Feritické oceli s obsahem chromu (Cr) asi 25 %

Feritické korozivzdorné oceli s obsahem chromu (Cr) asi 25 % mají díky jeho vyššímu obsahu lepší korozní odolnost než předešlé dvě skupiny. Naopak mají velkou náchylnost ke křehnutí. Většina výrobků z této skupiny nachází uplatnění jako žáruvzdorné oceli. [20, 32]

Superferitické oceli

Díky rozvoji nových metalurgických technologií lze vyrobit ocel s čistě feritickou strukturou s velmi nízkým obsahem intersticiálních prvků - uhlík (C), dusík (N), tzv. superferitickou ocel. Základním legujícím prvkem je opět chrom (Cr) – 18 až 29 %. Stabilizují se titanem (Ti), niobem (Nb). Tyto oceli jsou dobře svařitelné, tvářitelné, mají dobrou pevnost, tažnost a vrubovou houževnatost. Superferitické korozivzdorné oceli se dělí na oceli obsahující a neobsahující nikl (Ni). Jejich vysoká odolnost proti korozi umožňuje použití těchto ocelí tam, kde by běžné korozivzdorné oceli selhávaly, jako například výměňkové trubky, zařízení na odsolování mořské vody, odsiřovací zařízení a petrochemický průmysl. [20]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti vybraných feritických korozivzdorných ocelí. [13, 16, 17, 18, 19]

Označení	Materiál	Tloušťka [mm]	Tvrdość [HB]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	Prodloužení [%]	
						1) A	2) L_0
X3CrTi17	1.4510	<5	185	270	450 až 600	20	15
X6Cr13	1.4000	<25	200	230	400 až 630	20	---
X6Cr17	1.4016	<100	200	240	400 až 630	20	---
X6CrMoS17	1.4105	<100	200	240	400 až 630	20	---
X6CrMo17-1	1.4113	<100	200	280	440 až 660	18	---

Pozn.: $R_{p0,2}$ - smluvní mez kluzu, R_m – mez pevnosti, 1) prodloužení v podélném směru, 2) prodloužení v příčném směru

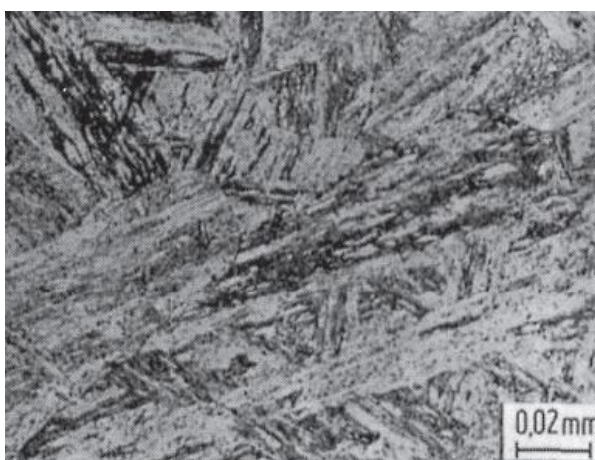
Tab. 2 Fyzikální vlastnosti vybraných feritických korozivzdorných ocelí. [13, 16, 17, 18, 19]

Označení	Materiál	q [J/kg.K]	α [$10^{-6}K^{-1}$]	λ [W/m.K]	l) [Ω]	E [GPa]
X3CrTi17	1.4510	460	10	25	0,6	210
X6Cr13	1.4000	460	11	30	0,6	210
X6Cr17	1.4016	460	10	25	0,6	210
X6CrMoS17	1.4105	460	10,5	25	0,7	210
X6CrMo17-1	1.4113	460	10,5	25	0,7	210

Pozn.: q - měrné teplo při 20 °C, α - součinitel délkové roztažnosti při 20 °C - 200 °C, λ - měrná tepelná vodivost, l) elektrický odpor při 20 °C, E - modul pružnosti v tahu při teplotě 200 °C

1.3.2 Martenzitické oceli

Martenzitické oceli obsahují ze všech korozivzdorných ocelí nejvíce uhlíku (C) a to 0,08 až 1,5 %. S jeho zvyšujícím se obsahem roste tvrdost martenzitických ocelí. Svoji strukturu (obr. 4) tyto oceli získávají rychlým ochlazením - kalením. Ve většině případů po kalení následuje popouštění (mezi teplotami 650 až 750 °C). Tímto procesem se snižuje pevnost a naopak zvyšuje tažnost. Jsou omezeně svařitelné do obsahu uhlíku (C) 0,2 %. Tato skupina korozivzdorných ocelí obsahuje až 18 % chromu (Cr). Pro zachování dobré odolnosti vůči korozi se zvyšuje obsah uhlíku (C) a obsah chromu (Cr). Případným dolegováním molybdenem (Mo), vanadem (V), wolframem (W) se zvyšuje odolnost vůči důlkové korozi (pittingu). Tato skupina ocelí je feromagnetická. Mechanické a fyzikální vlastnosti martenzitických korozivzdorných ocelí jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4. [4, 20, 32, 33]



Obr. 4 Struktura martenzitické korozivzdorné oceli. [26]

Martenzitické oceli neobsahující nikl (Ni)

Martenzitické oceli neobsahující nikl (Ni) obsahují 0,15 až 0,45 % uhlíku (C), 13 % chromu (Cr). Hlavní využití je v přírodních podmínkách – atmosféra, voda, pára. Oceli s obsahem uhlíku (C) 0,2 % se používají pro konstrukci lopatek parních turbín, součástí letadel, armatur a dalších výrobků v energetickém průmyslu. Typy obsahující více uhlíku (C) se používají na výrobky s vyššími nároky na otěruvzdornost, jako jsou chirurgické nástroje, kde je požadována také vysoká tvrdost. [4, 20, 32]

Martenzitické oceli obsahující nikl (Ni)

Tato skupina ocelí obsahuje 17 % chromu (Cr), 2 % niklu (Ni), 0,2 % uhlíku (C). Využívají se při výrobě součástí, které přicházejí do kontaktu s vodou a to jak se sladkou, tak hlavně mořskou – lopatky parních turbín. Mají dobrou korozivzdornost i v anorganických kyselinách. Oproti první skupině mají vyšší pevnost, lepší plastické vlastnosti a jsou svařitelné. [4, 20, 32]

Supermartenzitické oceli

Supermartenzitické korozivzdorné oceli představují nový vývojový trend v oblasti martenzitických ocelí. Tyto oceli se vyznačují zejména malým obsahem uhlíku (C). Obsahují 11 až 13 % chromu (Cr), nikl (Ni), molybden (Mo) a síru (S). Legování mědí (Cu), titanem (Ti), dusíkem (N) a vanadem (V) vede k dalšímu zlepšení korozivzdornosti. Mají vysokou pevnost, houževnatost a jsou dobře svařitelné. Využívají se pro stavbu potrubí při těžbě a transportu agresivních plynů. [20]

Tab. 3 Mechanické vlastnosti vybraných martenzitických korozivzdorných ocelí. [5, 6, 11, 12]

Označení	Materiál	Tloušťka [mm]	Stav	Tvrdost [HB]	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	Prodloužení [%]	
							1)A	2)L ₀
X20Cr13	1.4021	<160	3) 700 °C	4) 230	500	700 až 850	13	25
X30Cr13	1.4028	<160	3) 850 °C	4) 245	650	850 až 1000	10	---
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	<160	3) 760 °C	4) 320	550	760 až 960	16	---
X17CrNi16-2	1.4057	<60	3) 800 °C	4) 295	600	800 až 900	14	---

Pozn.: $R_{p0.2}$ - smluvní mez kluzu, R_m – mez pevnosti, 1) prodloužení v podélném směru, 2) prodloužení v příčném směru, 3) zušlechťený při: , 4) v žíhaném stavu

Tab. 4 Fyzikální vlastnosti vybraných martenzitických korozivzdorných ocelí. [5, 6, 11, 12]

Označení	Materiál	q [J/kg.K]	α [$10^{-6}K^{-1}$]	λ [W/m.K]	1) [Ω]	E[GPa]
X20Cr13	1.4021	460	11	30	0,6	205
X30Cr13	1.4028	460	11	30	0,65	205
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	430	10,8	15	0,8	185
X17CrNi16-2	1.4057	460	10,5	25	0,7	205

Pozn.: q - měrné teplo při 20 °C, α - součinitel délkové roztažnosti při 20 °C - 200 °C, λ - měrná tepelná vodivost, 1) elektrický odpor při 20 °C, E - modul pružnosti při teplotě 200 °C

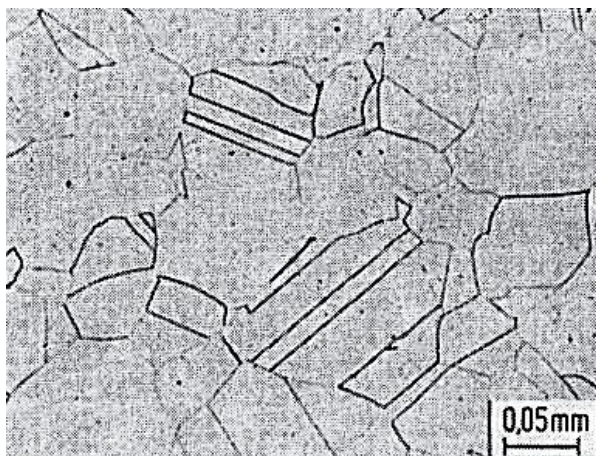
1.3.3 Austenitické oceli

Jedná se o největší skupinu korozivzdorných ocelí. Austenitické oceli se dají dobře tvářet za tepla i za studena, jsou dobře svařitelné a houževnaté. Naopak se vyznačují nízkými pevnostními charakteristikami, špatnou tepelnou vodivostí a obtížnou obrobiteľností. Legováním dusíkem (N) a manganem (Mn) se jejich pevnost zvyšuje. Z důvodu zlepšení obrobiteľnosti se legují sírou (S), selenem (Se) a olovem (Pb), což na druhou stranu snižuje korozní odolnost. Austenitické korozivzdorné oceli nacházejí aplikaci zejména v chemickém, potravinářském, farmaceutickém a energetickém průmyslu.

Austenitické oceli jsou paramagnetické. Jejich struktura je patrná z obr. 5. Základním typem jsou oceli obsahující 18 % chromu (Cr), 9 % niklu (Ni) a cca 0,08 % uhlíku (C).

Chrom (Cr) zvyšuje odolnost v oxidačních prostředích, nikl (Ni) v redukčních kyselinách. Molybden (Mo) zvyšuje odolnost proti všeobecné korozi. Mechanické vlastnosti tohoto typu korozivzdorných ocelí jsou popsány v tabulce 5.

V posledních letech dochází k vývoji nových austenitických korozivzdorných ocelí. Zejména se přechází na oceli s velmi malým obsahem uhlíku (C) – 0,015 až 0,02 %. Zvyšuje se počet typů ocelí pro specifická využití ve vysoce agresivních prostředích. [21, 32, 33, 43]



Obr. 5 Struktura austenitické korozivzdorné oceli. [26]

Chromniklové oceli

Chromniklové oceli se vyrábí jako nestabilizované nebo se stabilizují titanem (Ti) a niobem (Nb). Používají se pro výrobu korozivzdorných pružících součástí. Mají široké uplatnění zejména u zařízení na výrobu a zpracování potravin z toho důvodu, že vyhovují hygienickým předpisům. [21, 32, 26]

Chromniklmolybdenové oceli

Stejně jako chromniklové oceli se vyrábí jak nestabilizované tak stabilizované. S rostoucím obsahem molybdenu (Mo) se zlepšuje jejich odolnost proti bodové korozi. Používají se v oblastech výskytu průmyslové a mořské vody, chladicích systémů a organických kyselin. [21, 32, 43]

Chrommanganové oceli

Chrommanganové oceli obsahují 0,02 až 0,08 % uhlíku (C) a 0,2 až 0,3 % dusíku (N). Tím je dosaženo optimální kombinace pevnosti, tažnosti a odolnosti proti opotřeбенí s dobrou korozivzdorností. Tato skupina zaznamenala v minulých letech velký vzestup. Nachází využití v automobilovém průmyslu (odolnost proti korozi spalnými plyny), potravinářském průmyslu (armatury), chemickém a petrochemickém průmyslu. [21, 32, 43]

Vysokolegované austenitické oceli

Zavádění tohoto typu ocelí do praxe řadíme mezi nové vývojové trendy. Zvýšením obsahu chromu (Cr) na 19 až 23 %, niklu (Ni) do 30 %, molybdenu (Mo) a mědi (Cu) se dosahuje

výrazného zlepšení odolnosti vůči korozi. Používají se v produktech, kde je požadována vysoká čistota – potravinářský a farmaceutický průmysl (odsiřovací zařízení). [21]

Superaustenitické oceli

Superaustenitické oceli patří mezi vysokolegované oceli obsahující obvykle až 42 % niklu (Ni). Vyznačují se dobrou korozivzdorností vůči většině typů koroze. Jsou určeny do nejvíce agresivních korozních podmínek. [21]

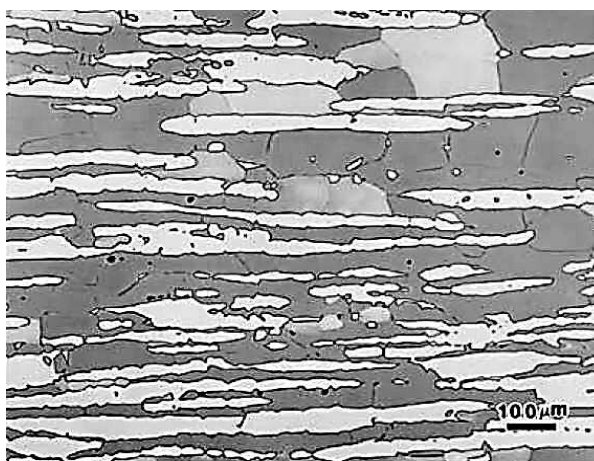
Tab. 5 Mechanické vlastnosti vybraných austenitických korozivzdorných ocelí. [7, 8, 10, 14]

Označení	Materiál	Tloušťka [mm]	Tvrdość [HB]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	L ₀ [%]	KV [J]
X2CrNi19-11	1.4306	<160	215	180	460 až 680	45	100
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	<160	215	200	500 až 700	40	100
X2CrNi18-10	1.4311	<160	230	270	550 až 760	40	100
X5CrNi18-10	1.4301	<160	215	190	500 až 700	45	100

Pozn.: R_{p0,2} - smluvní mez kluzu, R_m – mez pevnosti, L₀ - prodloužení v podélném směru, KV - vrubová houževnatost

1.3.4 Duplexní oceli

Jedná se o nejnovější a nejrychleji se rozvíjející skupinu korozivzdorných ocelí. Svůj název duplexní získaly proto, že se skládají ze dvou fází – jak je vidět na obr. 6. Tyto oceli vyhovují čím dál tím vyšším nárokům na korozní odolnost a to zejména v chemickém průmyslu. Mechanické vlastnosti duplexní korozivzdorné oceli X2CrNiMoN22-5-3 jsou uvedeny v tabulce 6. [22, 32, 33]



Obr. 6 Struktura duplexní korozivzdorné oceli. [32]

Austeniticko-feritické oceli

Austeniticko-feritické oceli spojují výhody obou druhů těchto ocelí. Při dlouhém setrvání v teplotním rozmezí 280 až 500 °C dochází ke stárnutí a křehnutí materiálu. To je důvod toho, proč je dlouhodobý provoz omezen do teplot menších než 250 °C. Obvyklý obsah dusík (N) a uhlíku (C) je 0,25 %, resp. 0,02 %. Tyto oceli mají dobrou korozivzdornost

v anorganických a některých organických kyselinách a mořské vodě. Dále mají vyšší mez kluzu, vyšší pevnost a jsou lépe obrobitelné než austenitické oceli. Zařízení z austeniticko-feritických ocelí se používají v petrochemickém, papírenském, potravinářském a také chemickém průmyslu. Např.: výměníky tepla, chladiče, kondenzátory a další. [22, 32]

Martenziticko-austenitické oceli

Martenziticko-austenitické oceli obsahují 0,06 % uhlíku (C), až 16 % chromu (Cr), nikl (Ni) a molybden (Mo). Mají vysokou pevnost, dobrou tažnost a odolnost proti křehkému lomu. Využití nachází v parních elektrárnách na armatury, čerpadla a kola vodních turbín. [22, 32]

Martenziticko-feritické oceli

Tyto oceli obsahují 13 % chromu (Cr), maximálně 0,04 % uhlíku (C), síru (S) a mangan (Mn) případně se stabilizují titanem (Ti) nebo niobem (Nb). Vyznačují se lepší korozi-vzdorností než martenzitické oceli a mají vyšší pevnostní charakteristiky než feritické oceli. Martenziticko-feritické oceli se používají zejména v prostředích obsahující vodné roztoky s oxidem uhličitým (CO₂) – kyselá voda při těžbě zemního plynu. [22, 32]

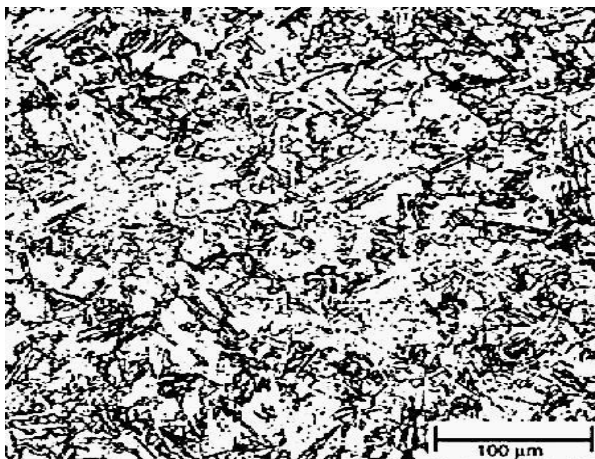
Tab. 6 Mechanické vlastnosti vybrané duplexní korozi-vzdorné oceli. [9]

Označení	Materiál	Tloušťka [mm]	Tvrdost [HB]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	L ₀ [%]	KV [J]
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	<160	270	450	650 až 880	25	100

Pozn.: R_{p0,2} - smluvní mez kluzu, R_m - mez pevnosti, L₀ - prodloužení v podélném směru, KV - vrubová houževnatost

1.3.5 Precipitačně vytvrditelné oceli

Precipitační vytvrzování ocelí spočívá v jejich popouštění za nízkých teplot. Struktura precipitačně vytvrditelných ocelí je vidět na obr. 7. Samotné vytvrzování se pak skládá ze dvou pochodů. Prvním je rozpouštěcí žíhání při teplotě zhruba 1025 °C a následné rychlé ochlazení na teplotu martenzitické přeměny. Dále precipitační vytvrzování při teplotách 400 až 700 °C. V tabulce 7 jsou uvedeny základní mechanické vlastnosti tohoto druhu korozi-vzdorných ocelí. [22, 32, 33]



Obr. 7 Struktura precipitačně vytvrditelné korozi-vzdorné oceli. [32]

Martenzitické precipitačně vytvrditelné oceli

Mezi martenzitické precipitačně vytvrditelné oceli patří oceli, které obsahují 1 % titanu (Ti). Mají mez pevnosti až 1300 až 1500 MPa. Využití mají jako komponenty v letectví, kosmonautice, lodním průmyslu a při zpracování polymerů. Používají se pro velmi namáhané části jaderných elektráren, jako lopatky parních turbín. [22, 32]

Austenitické precipitačně vytvrditelné oceli

Tento druh korozivzdorných ocelí nachází uplatnění u součástí, které jsou extrémně namáhané, jako jsou tryskové motory, turbínová kola, ventilátory, zařízení v petrochemickém průmyslu a zařízení pro velmi nízké teploty. [22]

Tab. 7 Mechanické vlastnosti vybrané precipitačně vytvrditelné korozivzdorné oceli. [15]

Označení	Materiál	Tepelné zpracování	Tvrdość [HB]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	L ₀ [%]	KV [J]
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	1) 800 °C	---	520	800 až 950	18	75
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	1) 960 °C	---	790	960 až 1160	12	---
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	1) 1070 °C	---	1000	1070 až 1270	10	---

Pozn.: 1) precipitační vytvrzování při ; R_{p0,2} - smluvní mez kluzu, R_m - mez pevnosti, L₀ - prodloužení v podélném směru, KV - vrubová houževnatost

1.4 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

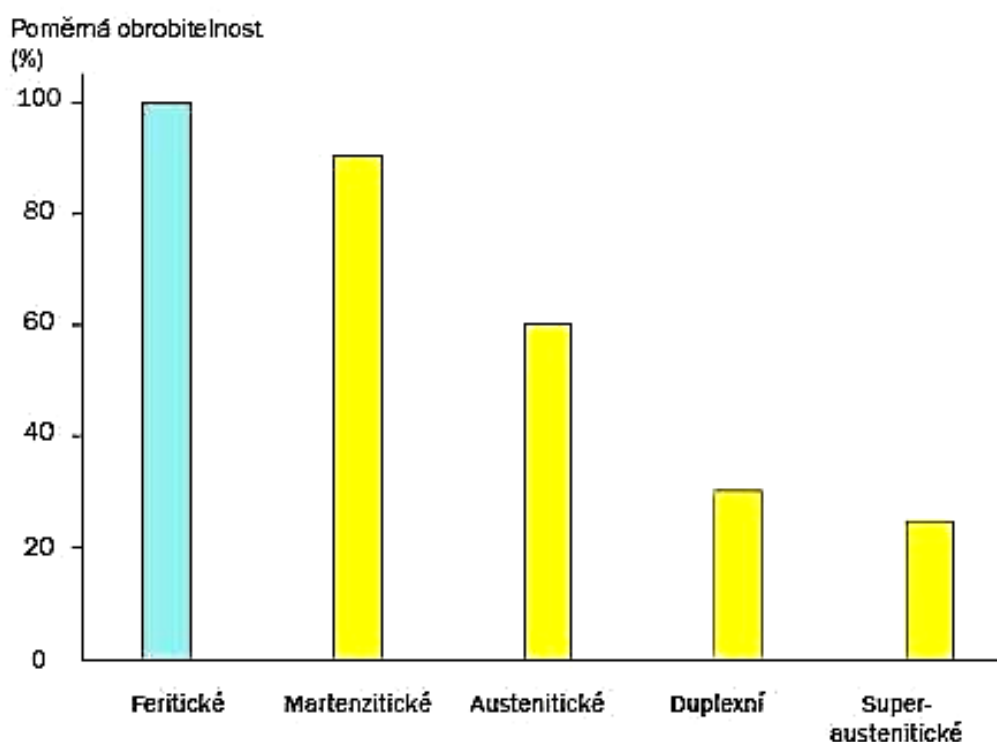
Obrobitelnost lze definovat jako schopnost materiálu být zpracován některou z metod obrábění. Obrobitelnost závisí především na množství legujících prvků, tepelném zpracování a způsobu výroby obráběného materiálu. Dále na metodě obrábění, která je daná řeznými podmínkami, řezným prostředím a geometrií nástroje. Obrobitelnost se snižuje spolu s rostoucím obsahem legujících prvků. Na druhou stranu v každé z výše uvedených skupin korozivzdorných ocelí jsou zastoupeny materiály se zlepšenou obrobitelností. Obrobitelnost tohoto druhu ocelí je závislá zejména na obsahu síry (S), a to tak, že s jejím zvyšujícím se obsahem se obrobitelnost zlepšuje. [29, 30, 32, 38, 42, 43, 46, 48]

Obrobitelnost je relativní vlastnost a pro daný materiál se určuje porovnáním s jiným materiálem, obráběným stejným řezným nástrojem za stejných řezných podmínek. Nejčastějším srovnávacím kritériem je velikost řezné rychlosti při konstantní trvanlivosti nebo utváření třísky, velikost řezných sil a struktura povrchu obrobenej plochy. Pro vyhodnocování obrobitelnosti jsou materiály podle českých normativů rozděleny do devíti základních skupin: a - litiny, b - oceli, c - slitiny mědi, d - slitiny hliníku, e - plastické hmoty, f - přírodní nerostné hmoty, g - vrstvené hmoty, h - pryže, v - tvrzené litiny pro výrobu válců. [29]

Z každé této skupiny je vybrán jeden materiál, který slouží jako etalon obrobitelnosti, pro skupinu **b** je to ocel 12 050.1 (C45). K tomuto materiálu se pak pomocí tzv. indexu obrobitelnosti určuje relativní obrobitelnost ostatních materiálů z celé skupiny. [29]

Při obrábění korozivzdorných ocelí se vytvářejí zejména dlouhé třísky. Měrná řezná síla se pohybuje v rozmezí 1800 až 2850 N.mm⁻². Vznikají značné řezné síly, které se zvyšují při obrábění korozivzdorných ocelí v tomto pořadí: feritické - martenzitické - austenitické - duplexní (austeniticko-feritické) viz obrázek 8. Velmi často dochází ke vzniku nárůstku na břitů vyměnitelné břitové destičky. Do okolí se uvolňuje velké množství tepla a dochází k

deformačnímu zpevňování povrchu obráběného materiálu. Korozivzdorné oceli obvykle vykazují vysokou tažnost. Z toho důvodu musí být řezné materiály houževnatější a je vhodné použít povlakovanou vrstvu s nižší tendencí k adhezi. Tato skupina ocelí má malou tepelnou vodivost. Tím pádem je třískami odváděno méně tepla, proto je více tepla přenášeno do řezného nástroje, což vede k vyšším teplotám na břitu vyměnitelné břitové destičky. Řezné a posuvové rychlosti se volí tak, aby se omezil vznik tepla a co nejvíce tepla bylo odvedeno třískami. Protože korozivzdorné oceli jsou velmi abrazivní, důležitý je i požadavek na vysokou otěruvzdornost nástroje. [29, 30, 32, 38, 42, 43, 46, 48]



Obr. 8 Obrobiteľnosť korozivzdorných ocelí podle společnosti Sandvik Coromant. [38]

Společnost WNT rozděluje korozivzdorné oceli podle obrobiteľnosti do 4 základních skupin:

Skupina 1 (snadné obrábění) – feritické korozivzdorné oceli s obsahem chromu (Cr) 11,5 až 13,5 %, s obsahem chromu (Cr) asi 17 %. Tyto oceli mají nízkou pevnost (140 až 180 HB) a obsahují méně než 0,12 % uhlíku (C).

Skupina 2 (středně těžké obrábění) – martenzitické korozivzdorné oceli. Tato skupina má pevnost (140 až 650 HB) s obsahem uhlíku (C) 0,10 až 1,2 %.

Skupina 3 (obtížné obrábění) – austenitické korozivzdorné oceli, s tvrdostí (140 až 190 HB).

Skupina 4 (extrémně těžké obrábění) – duplexní korozivzdorné oceli. [48]

2 SLINUTÉ KARBIDY

Slinuté karbidy patří společně s nástrojovými oceli, cermety, řeznou keramikou a super-tvrdými materiály (kubický nitrid boru, polykrystalický diamant) mezi základní druhy řezných materiálů. V dnešní době se jedná o nejpoužívanější řezný materiál při obrábění kovů a to zejména v povlakovaném provedení (obr. 9). Hlavní předností tohoto materiálu je odolnost proti opotřebení při vysokých řezných rychlostech. [1, 28, 46, 49]



Obr. 9 Vyměnitelná břitová destička společnosti WNT HCN 2125. [49]

Slinutý karbid je tvořený tvrdými částicemi karbidů, které jsou vázány kovovým pojivem kobaltem (Co). Karbidické částice jsou velmi tvrdé materiály a mezi nejvýznamnější patří: karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalů (TaC), karbid niobu (NbC). Rozměry karbidických částic jsou 1 až 10 μm . Vlastnosti slinutých karbidů (tvrdost, houževnatost) se pak mění s typem a velikostí částic a obsahem pojiva. Dále vlastnosti SK závisí na použité technologii výroby. [1, 28, 46, 49]

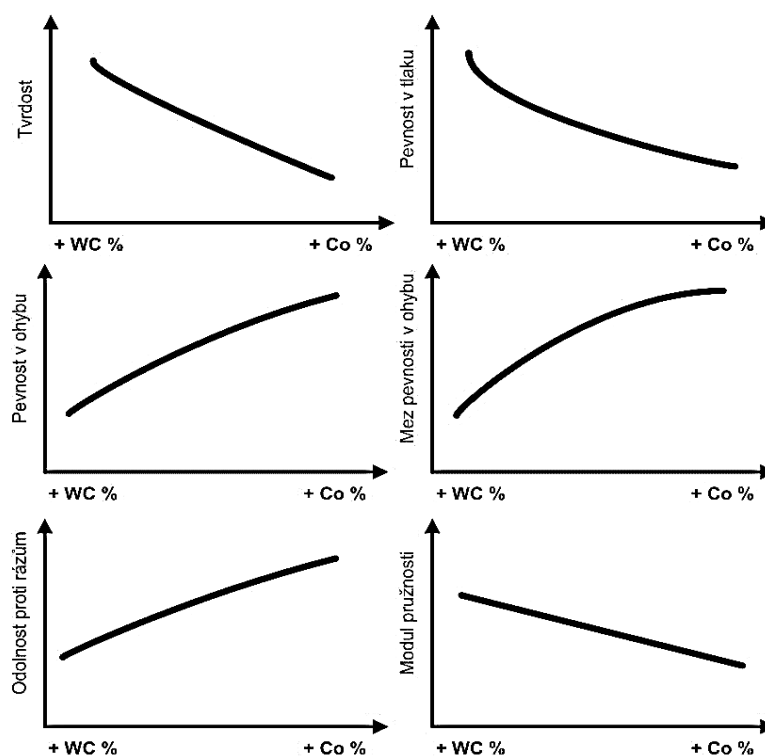
Na začátku vývoje tohoto druhu řezného materiálu byly slinuté karbidy typu WC-Co. Tyto základní slinuté karbidy nebyly schopny odolávat nejzákladnějším druhům opotřebení a používaly se pro obrábění litiny. Nedostatky byly odstraněny přísadami jiných druhů karbidů, a to karbidu titanu (TiC) a karbidu tantalů (TaC), které udržují tvrdost nástroje za vyšších teplot a umožňují jejich použití při obrábění ocelí, kde z důvodu plynulé třísky dochází k vyššímu tepelnému zatížení břitu nástroje. [1, 28, 46, 49]

2.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti slinutých karbidů

Dlouholetý vývoj slinutých karbidů zajistil optimální chemické složení a výrazné zvýšení výkonnosti a odolnosti proti opotřebení. Nejzásadnější vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti výrobku ze slinutého karbidu má celý proces výroby, který musí být od samotné přípravy směsi karbidů a pojiva až po finální slinování velice pečlivě řízen, aby byl výsledný produkt bez defektů. [1, 28]

Téměř všechny mechanické a fyzikální vlastnosti slinutých karbidů jsou ovlivněny obsahem pojícího kovu kobaltu (Co). S jeho rostoucím obsahem klesá měrná hmotnost, tvrdost, pevnost v tlaku, tepelná vodivost, modul pružnosti v tahu a ve smyku. A naopak roste pevnost v ohybu nebo vrubová houževnatost. Slinuté karbidy s nízkým obsahem pojícího kovu kobaltu (Co) mají nejvyšší hodnoty tvrdosti a pevnosti v tlaku jak lze vidět na obr. 10. Vyšší podíl tvrdých karbidických částic v materiálu zvyšuje jeho odolnost vůči opotřebení. Dalším způsobem jak lze změnit mechanické vlastnosti slinutých karbidů je změnit veli-

kost zrna tvrdých částic. Tvrdost SK lze zvýšit zjemněním zrna. Naopak relativně velká zrna tvrdých částic způsobují zvýšení houževnatosti řezného materiálu. [1, 28]



Obr. 10 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů v závislosti na obsahu kobaltu (Co). [30]

2.2 Druhy a značení slinutých karbidů

Z důvodu toho, aby bylo možné popsat nejrůznější slinuté karbidy se specifickými vlastnostmi, byl vyvinut klasifikační systém ISO 513. Klasifikace ISO 513 je dobrou pomůckou, jedná-li se o volbu řezného materiálu pro určitý případ použití. Podrobnosti o dalších vlastnostech je většinou nutno získat z popisu řezného materiálu od jednotlivých výrobců. Podle užití jsou slinuté karbidy klasifikovány do základních šesti skupin – P, M, K, N, S, H. [1, 28, 30, 49]

P – označována modře. Skupina P označuje slinuté karbidy pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku jako např.: uhlíková ocel, feritická korozivzdorná ocel, temperovaná litina.

M – označována žlutě. Tato skupina označuje slinuté karbidy pro obrábění austenitických korozivzdorných ocelí, žáruvzdorných ocelí, tvárné litiny. Slinuté karbidy skupiny M jsou určeny pro obrábění materiálů tvořících střední a dlouhou třísku.

K – označována červeně. Skupina K označuje slinuté karbidy pro obrábění materiálů, tvořících krátkou, drobnou třísku, jako jsou šedá litina, kalená ocel, hliník nebo bronzy. Nejsem vhodné pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, především z toho důvodu, že dlouhá tříška více tepelně zatěžuje čelo nástroje.

N – označována zeleně. Skupina N označuje slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů, slitin hliníku (Al), slitin mědi (Cu), plastů a dřeva.

S – označována hnědě. Slinuté karbidy ze skupiny S se používají při obrábění superslitin. Jedná se o slitiny na bázi niklu (Ni), titanu (Ti), nebo kobaltu (Co). Zejména u slitin niklu (Ni) vede velký sklon k adhezi obráběného materiálu na břitu k vzniku nárůstku.

H - označována tmavošedě. Slinuté karbidy z této skupiny se používají při obrábění zúšlechtěných ocelí s pevností nad 1500 MPa, kalených ocelí a tvrzených kokilových ocelí.

S rostoucím číslem podskupiny se zvyšuje obsah pojícího kovu kobaltu (Co), roste houževnatost, pevnost v ohybu. Naopak klesá tvrdost a otěruvzdornost. Z hlediska doporučených řezných podmínek klesá řezná rychlost, roste rychlost posuvu na otáčku a šířka záběru ostří. [1, 28, 46, 49]

2.3 Výroba

Slinuté karbidy se vyrábějí metodou práškové metalurgie. Výroba slinutých karbidů je velmi technologicky a energeticky náročná operace. Zejména díky tomu, že správné složení směsi karbidů a pojiva má rozhodující vliv na kvalitu výrobku. Základem je lisování práškové směsi tvrdých karbidů s kovovým pojivem a její následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Vzniká konečný výrobek o velmi vysoké tvrdosti a pevnosti. Výroba se skládá ze 4 hlavních fází. [1, 23, 28, 49]

1. Příprava směsi karbidů a pojiva

Pro výrobu prášku se nejčastěji používá wolframová ruda. Cílem této operace je zhotovení jemnozrnné, homogenní práškové směsi karbidů a pojícího kovu (Co). V tabulce 8 se práškové směsi slinutých karbidů rozdělují podle velikosti zrna. [1, 24, 28, 49]

Tab. 8 Rozdělení práškové směsi slinutých karbidů podle velikosti zrna. [49]

Nano	Velmi jemný	Jemnější	Jemný	Střední	Hrubý	Extra hrubý
< 0,2 μm	0,2 až 0,5 μm	0,5 až 0,8 μm	0,8 až 1,3 μm	1,3 až 2,5 μm	2,5 až 6,0 μm	> 6,0 μm

2. Lisování

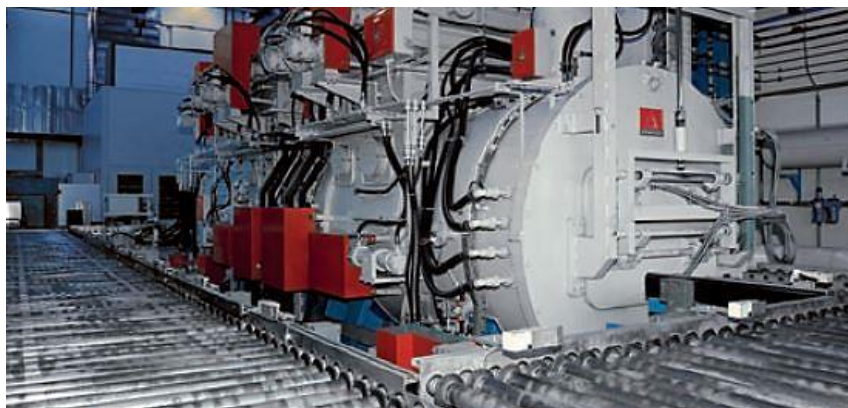
Lisování vzniklé směsi se provádí v lisovacích formách pomocí jednočinných nebo dvojčinných lisů. Pomocí lisování získá polotovar pouze svůj předběžný tvar. Rozměry šířky, výšky a hloubky se po slinování zmenší o 17 až 20 %. [1, 2, 24, 48]

3. Slinování

Slinovací operace při teplotách 1400 až 1600 °C ve slinovacích pecích (obr. 11) spočívá v uzavření pórů vzniklých při předešlé operaci (lisování). Zrnka prášku se spojí díky difuzi, při současném snížení objemu až o 20 %. [1, 2, 24, 48]

4. Konečná úprava výrobku ze slinutého karbidu

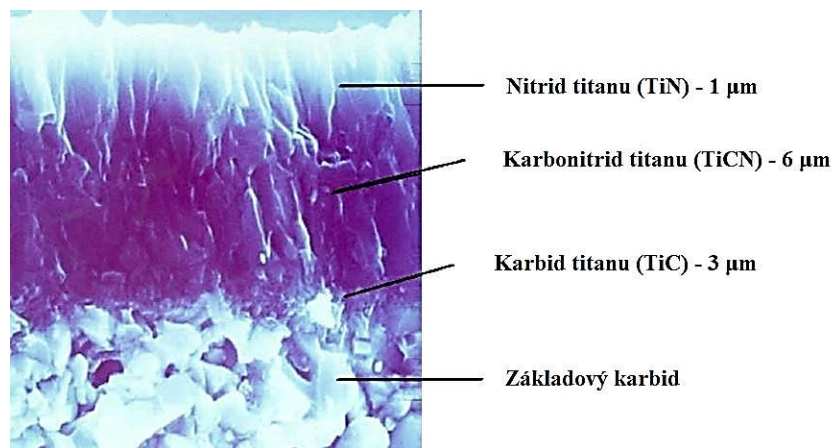
Mezi tyto dokončovací metody patří zejména broušení. Dále pak leštění a povlakování. Při finalizaci dochází k opracování všech funkčních ploch vyměnitelné břitové destičky. [1, 2, 24, 28, 49]



Obr. 11 Slinovací pec společnosti Ceratizit v německém Hitrzackeru. [24]

2.4 Povlakování

Povlakování vyměnitelných břitových destiček znamenalo významný rozvoj využití slinutých karbidů. To především z toho důvodu, že díky povlakům (obr. 12) zaznamenaly řezné materiály ze slinutých karbidů enormní zvýšení odolnosti proti opotřebení a zvýšení houževnatosti. Trvanlivost je oproti nepovlakovaným vyměnitelným břitovým destičkám mnohonásobně vyšší. Dnes jsou téměř všechny druhy slinutých karbidů opatřeny povlakem. V celkové produkci vyměnitelných břitových destiček zaujímají téměř 75 %. Jednotlivé řezné materiály se liší podkladovým slinutým karbidem, druhem povlaku, jeho tloušťkou, kombinací jednotlivých vrstev a metodou povlakování. [1, 24, 27, 28, 40]



Obr. 12 Základní typ vícevrstvého povlaku. [49]

Mezi nejvíce používané materiály pro povlakování patří karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), oxid hlinitý (Al_2O_3) a karbonitrid titanu (TiCN). Odolnost proti opotřebení a chemická neutralita mezi řezným nástrojem a třískou, kde vznikne chemická a fyzikální (tepelná) bariéra, je vytvářena velmi tvrdou vrstvou oxidu hlinitého (Al_2O_3) a karbidu titanu (TiC). Nitrid titanu (TiN) zajišťuje menší součinitel tření na čele destičky. Existují 4 vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů. Dnes mezi nejvíce využívané patří 3. a 4. generace. Jedná se o vícevrstevné povlaky, kde jsou ostře ohraničené přechody mezi vrstvami. [1, 24, 28, 40]

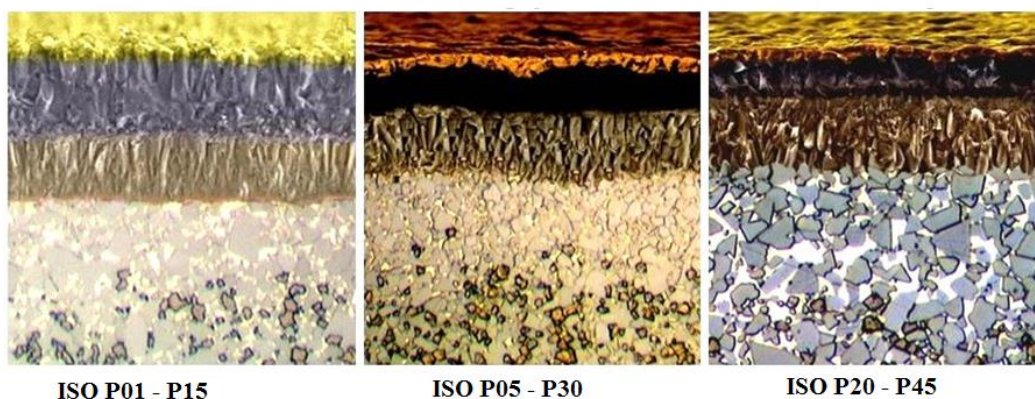
2.4.1 Výroba povlakovaných slinutých karbidů

Výroba spočívá v nanášení tenké vrstvy materiálu s vysokou tvrdostí a výbornou odolností proti opotřebení na podkladový materiál. Výhody vyplývají z toho, že materiál, ze kterého jsou povlaky vyráběny, neobsahuje na rozdíl od substrátu žádné pojivo a má jemnější zrnitost. Dále povlakovaný materiál vytváří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Dnes se povlaky velmi často nanášejí na substráty připravené gradientním slinutím. Tím se dosáhne toho, že struktura jádra slinutého karbidu obsahuje kubická zrna, která mají vysokou tvrdost a tenká povrchová vrstva obsahuje pouze zrna hexagonálního karbidu WC a vyšší podíl pojícího kovu (Co). [1, 24, 27, 49]

2.4.1.1 Povlakovací metoda CVD

Povlakovací metoda CVD (Chemical Vapour Deposition = chemické napařování z plynné fáze) se provádí v reaktorech formou chemické reakce různých plynů jako např. vodík (H) nebo metan (CH₄). Proces je založen na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě v okolí povrchu podkladového SK. Produkty této reakce se ukládají na povrchu substrátu. Povlak je nanášen na zahřáté destičky při teplotě 850 až 1100 °C a jeho tloušťka je 5 až 25 μm. Jednotlivé vrstvy jsou spojeny vlivem difuze. Výhodou této metody je výborná adheze mezi podkladem a povlakem a také možnost povlakování dílů složitějších tvarů. Naopak za nevýhodu se považuje ovlivnění podkladového materiálu (snížení ohybové pevnosti) a nemožnost povlakovat ostré hrany. Další nevýhodou je vysoká energetická náročnost a ekologicky nevyhovující pracovní plynné směsi. K výraznému zvýšení kvality při vytváření povlaků došlo s nástupem plazmaticky aktivované metody CVD. [1, 27, 49, 40, 49]

Slinuté karbidy s CVD povlakem (obr. 13) jsou první volbou u aplikací, kde je požadována velká otěruvzdornost, a to při všeobecném soustružení a vyvrtávání zejména oceli, kde je odolnost proti opotřebení poskytována právě tímto CVD povlakem velké tloušťky. [40]



Obr. 13 CVD povlaky Sandvik-Coromant na gradientním podkladovém SK. [30]

2.4.1.2 Povlakovací metoda PVD

Při povlakování metodou PVD (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování z pevné fáze) se teploty pohybují od 500 °C níže. Nanášený povlak je 1 až 4 μm silný. Proces této metody probíhá v povlakovacích pecích kondenzací částic uvolňovaných z jejich zdrojů (tzv. terčů) na základě dvou fyzikálních metod – rozprašování a odpařování. Tyto uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s inertním a reaktivním plynem (Ar a N₂), jsou

urychlovány k povrchu substrátu a vytváří tak tenkou homogenní vrstvu povlaku. Povlak u metody PVD je vytvářen napařováním, napařováním nebo iontovou implantací. Metoda PVD byla prvotně vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli. Dnes se používá u vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu, určených hlavně pro frézování. [1, 27, 49, 40, 49]

Na rozdíl od metody CVD se povlaky nanesené metodou PVD vyznačují tím, že nemají nepříznivý vliv na vlastnosti podkladového materiálu a lze s ní povlakovat i ostré hrany. Za nevýhodu se považuje nutnost velmi důkladné přípravy povrchu vzorku před samotným povlakováním (odmašťování, čištění). Dále nutnost pohybovat povlakovanými předměty z důvodu rovnoměrného rozložení povlaku po jejich povrchu. [1, 27, 49, 40, 49]

2.4.1.3 Nové vývojové trendy v povlakování

Lze sem zařadit tři nové způsoby založené na metodě CVD a to: plazmaticky aktivovaná metoda CVD, laserem indukovaná metoda CVD a Middle Temperature metoda CVD. Mezi další nové metody v oblasti povlakování patří multivrstvé povlaky, nanokrystalické kompozity, diamantové povlaky a povlaky z kubického nitridu boru. [27, 28]

Multivrstvé povlaky

Vysoká trvanlivost vyměnitelných břitových destiček s multivrstvým povlakem je založena na střídání jednotlivých monovrstev s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi. Tloušťka těchto vrstev se pohybuje kolem 10 nm. Např. multivrstvý povlak TiN-NbN má tvrdost HV až 50 GPa. Tím se dosahuje několikanásobné trvanlivosti oproti monolitnímu povlaku (TiNb)N. [27]

Nanokrystalické kompozity

U tohoto druhu povlakového materiálu je dosaženo lepších mechanických a fyzikálních vlastností snížením mikrostrukturních a prostorových rozměrů na nanometry. Zároveň jsou tyto povlaky složeny z více vzájemně minimálně rozpustných materiálů. [27]

Diamantové povlaky

Diamantový povlak je na slinuté karbidy nanášen metodou CVD nebo plazmaticky aktivovanou metodou PACVD. Tyto povlaky vynikají vysokou tvrdostí oproti ostatním používaným povlakům. Diamantový povlak má velice malý součinitel tření, což se kladně projevuje ve zvýšení řezného výkonu nástroje. Za jejich nevýhodu se považuje nízká houževnatost. Je to způsobeno tím, že diamantové povlaky vytvářené metodou CVD jsou křehké, pokud jsou ukládány na povrch substrátu s nízkým obsahem kobaltu (Co). Přesto mají oproti nepovlakovaným destičkám 10krát až 50krát vyšší trvanlivost. [27, 28]

Povlaky z kubického nitridu boru (CBN)

CBN povlaky se řadí mezi povlaky supertvrde. V současnosti je zatím žádný výrobce řezných nástrojů nevedl do sériové výroby. Tyto povlaky mají mnohem lepší chemickou stabilitu při vyšších teplotách než povlaky diamantové. To je důvod toho, proč jsou považovány za nejlepší řezný materiál. Naopak mají stejně jako diamantové povlaky velmi špatnou adhezi k substrátu. [28]

3 SLINUTÉ KARBIDY PRO OBRÁBĚNÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Z důvodu nárůstu podílu výrobků a dílů vyráběných z korozivzdorných ocelí dochází ke zvyšování nároků na řezné nástroje, které slouží pro jejich obrábění. Je známo, že obrobitelnost těchto materiálů vyžaduje odlišný přístup než u standardních ocelí. Pro vyšší spolehlivost a maximální trvanlivost nástroje je nutné zajistit vysokou tuhost nástroje, optimální geometrii s vynikajícím řezným výkonem. Patří sem vhodná volba slinutého karbidu a povlaku pro dlouhou trvanlivost a v neposlední řadě je nutné umožnit dostatečný přívod procesní kapaliny přímo na břit nástroje. V této kapitole je uvedena nabídka tří výrobců řezných materiálů ze slinutého karbidu: WNT, Pramet Tools a Sandvik Coromant.

3.1 WNT

Pro obrábění korozivzdorných ocelí společnost WNT nově vyvinula řadu CCN 2120, HCN 2125, a CWN 2135. Mikrostruktury jednotlivých povlaků těchto řad jsou na obrázku 14. [44, 45]

CCN 2120 (M10-25, K10-25)

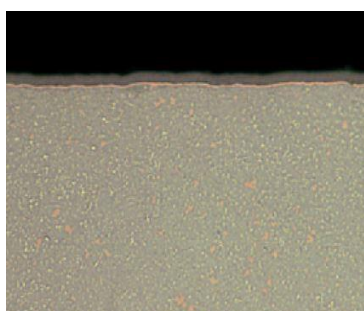
Tento slinutý karbid pro obrábění korozivzdorných ocelí řady CCN obsahuje 10 % Co, 2 % směsného karbidu, zbytek zaujímá karbid wolframu (WC). Velikost zrna je 1 μm . Tvrdost tohoto SK je HV 1560. Povlak je typu PVD, TiAlN o tloušťce 2 až 5 μm . Tento SK se používá pro střední a vyšší řezné rychlosti. Dále vykazuje dobrý výkon při stabilních podmínkách a při dokončovacích operacích. [23, 45]

HCN 2125 (P30-40, M15-35)

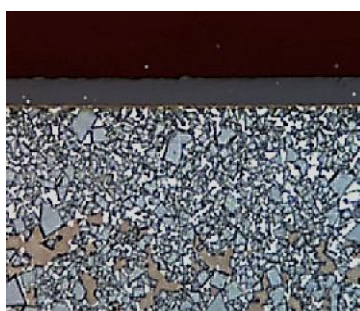
Pro tuto řadu byl vyvinut substrát slinutého karbidu s PVD povlakem. Bylo docíleno maximální houževnatosti při zachování tvrdosti při vysokých teplotách a odolnosti proti opotřebení. Rozsah použití vyměnitelné břitové destičky HCN 2125 sahá od feritických, martenzitických, austenitických až po duplexní korozivzdorné oceli. Složení slinutého karbidu HCN 2125 pro soustružení je: 9,6 % Co, směsný karbid 7,8 %, ostatní 0,4 %, zbytek karbid wolframu (WC). Velikost zrna se pohybuje v rozmezí 1 až 2 μm . Tvrdost tohoto SK je HV 1460. Povlak je typu PVD, TiN/TiAlN o tloušťce 6 μm . Tato řada vykazuje vysokou odolnost proti otěru a stálost při zvýšených teplotách typických při třískovém obrábění korozivzdorných ocelí. [23, 44, 45, 47]

CWN 2135 (P25-45, M30-45)

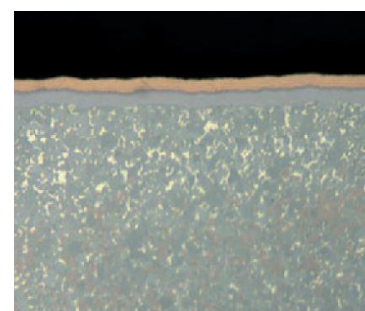
Slinutý karbid CWN 2135 obsahuje 9,6 % Co, 7,4 % směsného karbidu, zbytek karbid wolframu (WC). Velikost zrna je 1 až 2 μm . Tvrdost tohoto slinutého karbidu je HV 1400. Na podkladový SK je nanesen multivrstvý CVD povlak: Ti(C,N)-Ti(C,N)-TiN-Ti(N,B)-Ti(C,N)-TiN o tloušťce 6 μm . Používá se pro střední řezné rychlosti. Řada CWN 2135 je určena pro hrubování a přerušované řezy. [23, 45]



CCN 2120



HCN 2125



CWN 2135

Obr. 14 Mikrostruktura povlaků řady CCN, HCN a CWN od WNT. [23]

3.2 Pramet Tools

Šumperská firma Pramet Tools je jediným českým výrobcem řezných nástrojů ze slinutých karbidů. Pro obrábění korozivzdorných ocelí je určena řada T8300. Tato řada slinutých karbidů je opatřena PVD povlakem s gradientními přechody (obr. 15). Povlak má nano-
vrstvou strukturu na bázi TiN/TiAlN a vyniká optimální kombinací tvrdosti a dobré houževnatosti s vynikající adhezí k podkladovému slinutému karbidu. [35]

T8315 (P5-20, M5-20, K5-25, N5-25, S5-25, H5-15)

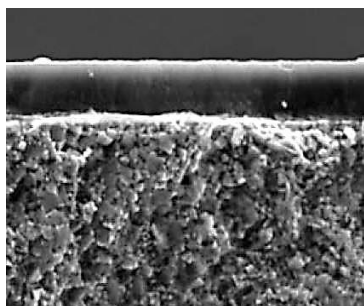
Jedná se o nejotěruvzdornější člen řady T8300. Substrát obsahuje relativně málo pojícího kovu kobaltu (Co). Dále se tento člen řady vyznačuje zmenšením vrubového opotřebení na hlavním břitu, používá se pro vyšší řezné rychlosti se stabilními záběrovými podmínkami. [35]

T8330 (P25-40, M20-35, K20-40, N15-30, S15-25, H15-15)

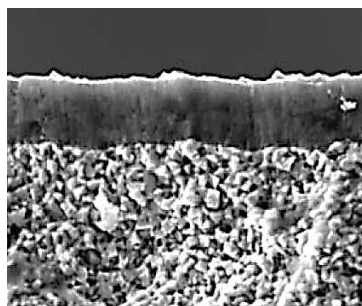
Člen s označením T8330 je nejuniverzálnějším z řady. Substrát obsahuje více kobaltu (Co). Jeho použití se doporučuje při středních řezných rychlostech. Vyznačuje se dobrou provozní spolehlivostí. [35]

T8345 (P30-50, M20-40, K20-40, S20-30)

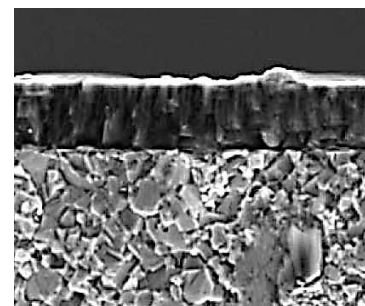
Je to člen s největší houževnatostí z celé řady. Substrát obsahuje nejvíce kobaltu (Co) z celé řady T8300 určených pro soustružení korozivzdorných ocelí. Stejně jako všechny předešlé členy má nanovrstvý PVD povlak s gradientními přechody. Používá se pro nižší až střední řezné rychlosti, větší průřezy třísek a vyznačuje se dobrou provozní spolehlivostí. [35]



T8315



T8330



T8345

Obr. 15 Mikrostruktura PVD nanovrstvých povlaků od Pramet Tools řady T8300. [35]

3.3 Sandvik Coromant

Švédská firma Sandvik Coromant patří mezi lídry na trhu v oblasti výroby řezných nástrojů. Pro obrábění korozivzdorných ocelí má tato společnost určenu řadu GC20XX. Na obrázku 16 jsou vyobrazeny jednotlivé vrstvy CVD a PVD povlaků.

GC2015 (M05-25, P25)

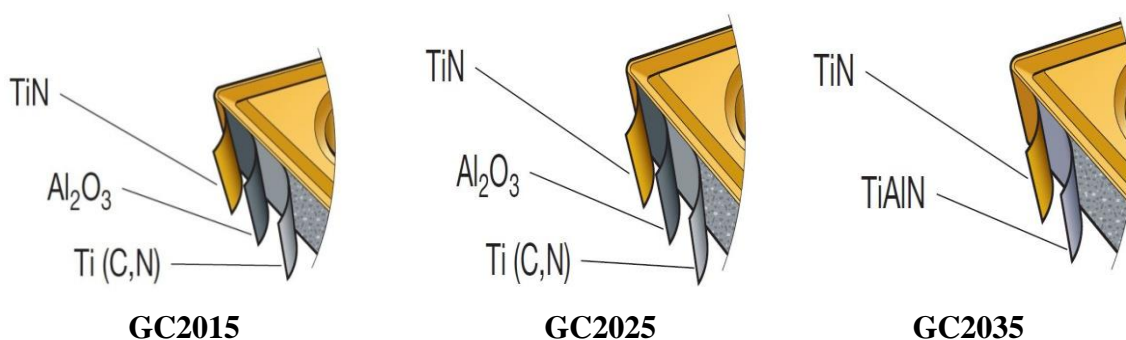
Tento slinutý karbid určený pro obrábění korozivzdorných ocelí má 9 μm tenký CVD povlak, který se skládá z vrstev TiCN-Al₂O₃-TiN. Tento CVD povlak poskytuje vynikající adhezi vrstvy k podkladovému slinutému karbidu a vysokou ochranu proti opotřebení za vysokých provozních teplot. Používá se pro dokončovací operace a lehké hrubování. Proto je tato řada první volbou pro spojitě řezy při středních až vysokých řezných rychlostech. [36, 39, 41]

GC2025 (M15-35, P35)

Vyměnitelné břitové destičky s označením GC2025 mají 5,5 μm tenký třívrstvý CVD povlak. Vrstvy jsou nanášeny v pořadí TiCN-Al₂O₃-TiN na substrát, který má vynikající odolnost proti opotřebení, proti mechanickým a tepelným zatížením. Dále zástupce řady GC20XX poskytuje vynikající řezné podmínky i pro přerušované řezy pro obrábění austenitických a duplexních korozivzdorných ocelí při středních řezných rychlostech. Má dobrou odolnost proti plastické deformaci a opotřebení. [36, 39, 41]

GC2035 (M25-40)

Slinutý karbid GC2035 má 4 μm tenký PVD TiAlN povlak, který nabízí velmi dobrou odolnost proti opotřebení. Snižuje tření a tím působí proti tvorbě nárůstku. Vyznačuje se velkou odolností proti tepelnému šoku. Jeho použití je doporučeno pro hrubování austenitických a duplexních korozivzdorných ocelí při nízkých až středních řezných rychlostech. Vyměnitelná břitová destička GC2035 má maximální houževnatost z celé řady GC20XX. [36, 39, 41]






Obr. 16 Mikrostruktura povlaků řady GC20XX od Sandvik Coromant. [41]

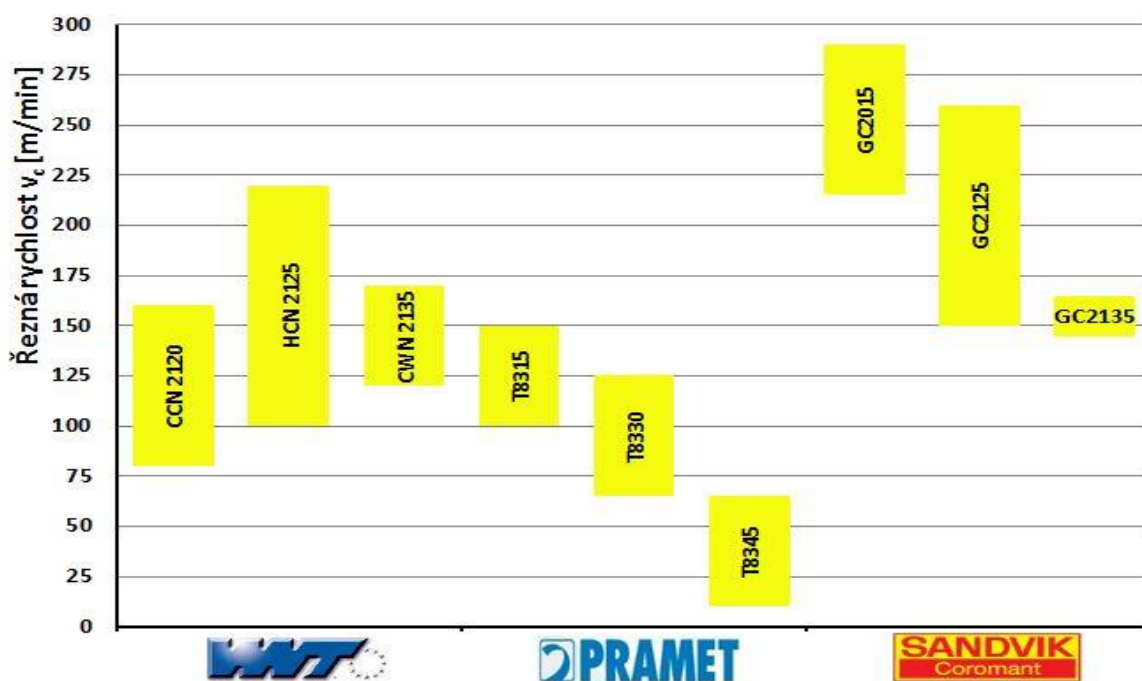
3.4 Doporučené řezné podmínky v aplikační oblasti obrábění korozivzdorných ocelí

Z důvodu porovnání s provedeným praktickým testem v kapitole 3.5, kde byla použita VBD WNMG 080408EN-NM26 HCN 2125 od společnosti WNT, byl výběr doporučených řezných podmínek proveden pro austenitickou korozivzdornou ocel 1.4301 (X8CrNi18-10) a vyměnitelné břitové destičky WNMG s negativní geometrií. Hodnoty doporučených řezných podmínek jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 Doporučené řezné podmínky pro obrábění korozivzdorných ocelí. [35, 37, 45, 48]

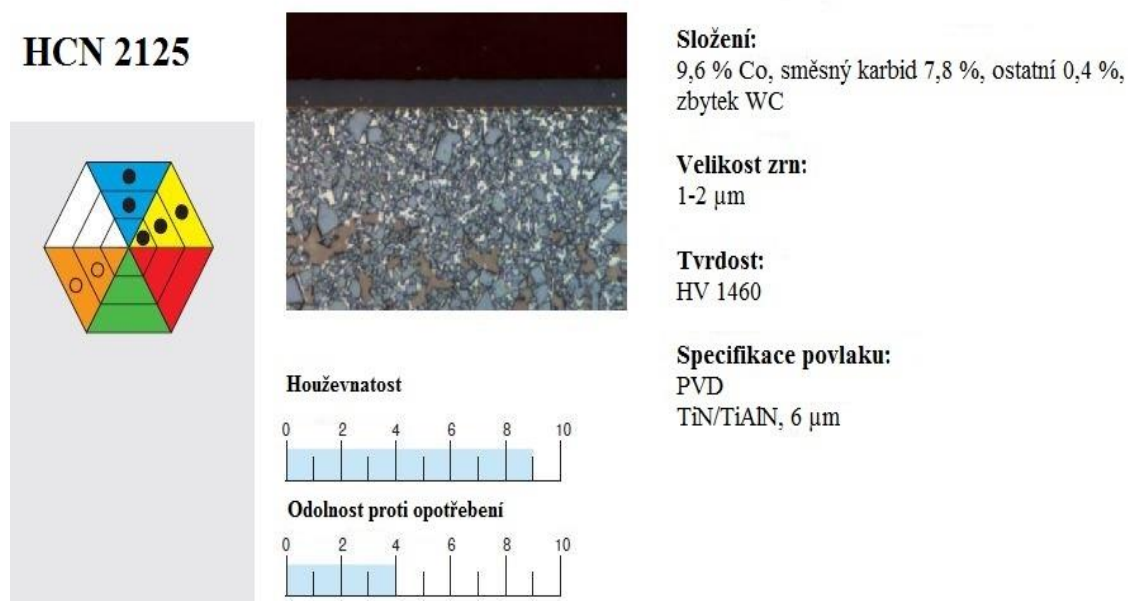
Společnost	Označení	Rozsah M podle ISO	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Řezná rychlost v_c [m/min]
	CCN 2120	10 - 25	0,05 – 0,4	0,05 – 4,0	80 - 160
	HCN 2125	15 - 35	0,1 – 0,5	0,8 – 6,0	100 - 220
	CWN 2135	25 - 45	0,15 – 1	1,0 – 12,0	120 - 170
	T8315	05 - 20	0,06 – 0,53	0,2 – 3,75	100 - 225
	T8330	20 - 35	0,05 – 0,19	0,2 – 1,88	65 - 125
	T8345	20 - 40	0,37 – 1,28	3,0 – 12,0	10 - 65
	GC2015	05 - 25	0,05 – 0,75	0,1 – 6,0	215 – 290
	GC2025	15 - 35	0,05 – 0,9	0,1 – 6,0	150 - 265
	GC2035	25 - 40	0,12 – 0,7	0,5 – 6,0	145 - 165

Společnost Pramet Tools nenabízí ve své řadě vyměnitelných břitových destiček určených pro obrábění korozivzdorných ocelí řady T8300 u členů T8330 a T8345 vyměnitelné břitové destičky tvaru WNMG s negativní geometrií, proto byly pro vzájemné srovnání vybrány hodnoty posuvů na otáčku f , šířky záběru ostří a_p a řezné rychlosti v_c pro ostatní typy negativních geometrií VBD. Posuvy na otáčku f a šířky záběru ostří a_p jsou závislé na rádiu a utvařeci třísky jednotlivých VBD. Grafické znázornění řezné rychlosti v_c je uvedeno na obrázku 17.

Obr. 17 Grafické znázornění řezné rychlosti v_c .

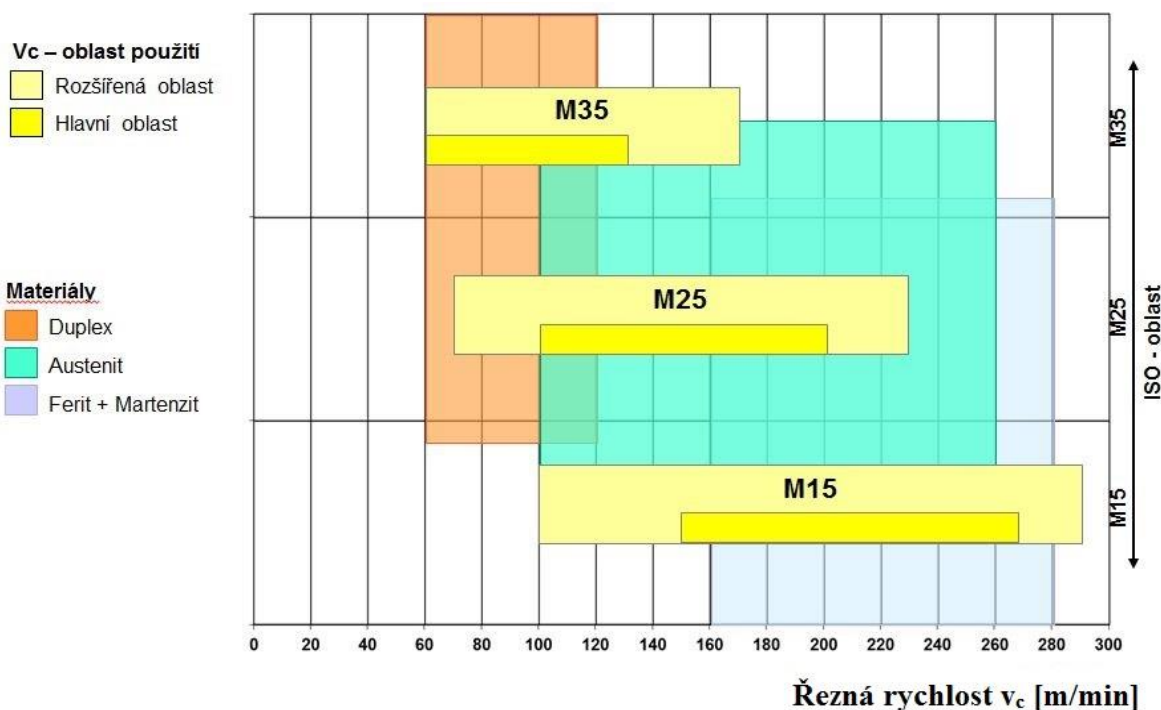
3.5 Praktický test s použitím vyměnitelné břitové destičky HCN 2125

K praktickému testu byla vybrána řada vyměnitelných břitových destiček od firmy WNT - Mastertool Dragonskin HCN 2125 (P30-40, M15-35). Vyměnitelná břitová destička HCN 2125 Dragonskin se vyznačuje vysokou odolností proti opotřebení hřbetu a nízkou tendencí k tvorbě nárůstku. Výsledkem jsou pak optimální parametry s ohledem na řeznou rychlost, produktivitu, spolehlivost, kvalitu obráběného povrchu. Popis složení a typ povlaku SK je na obr. 18. [44, 47]



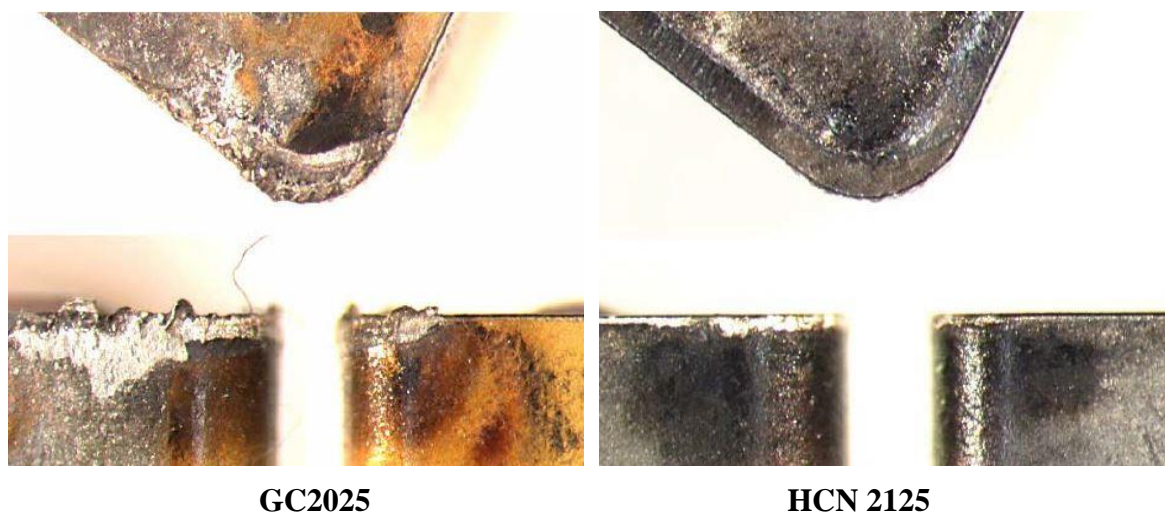
Obr. 18 Parametry vyměnitelné břitové destičky řady HCN 2125. [23]

Za účelem odzkoušení vyměnitelných břitových destiček byl proveden praktický test, který se realizoval přímo v provozních podmínkách. Na obráběcím stroji Mazak Quick Turn Nexus II se při soustružení použily vyměnitelné břitové destičky HCN 2125 Dragonskin. Pozornost byla věnována sledování trvanlivosti nástroje a míry opotřebení ostří nástroje. V rámci sériové výroby se obráběl kroužek z austenitické korozivzdorné oceli. Jednalo se o paramagnetickou ocel 1.4301 – X5CrNi18-10, dle značení ČSN - 17 240. Pro hrubování výrobní součásti byla nasazena vyměnitelná břitová destička WNMG 080408EN-NM26 HCN 2125 od firmy WNT. Na obrázku 19 je uvedena doporučená aplikační oblast VBD HCN 2125. [44, 47]



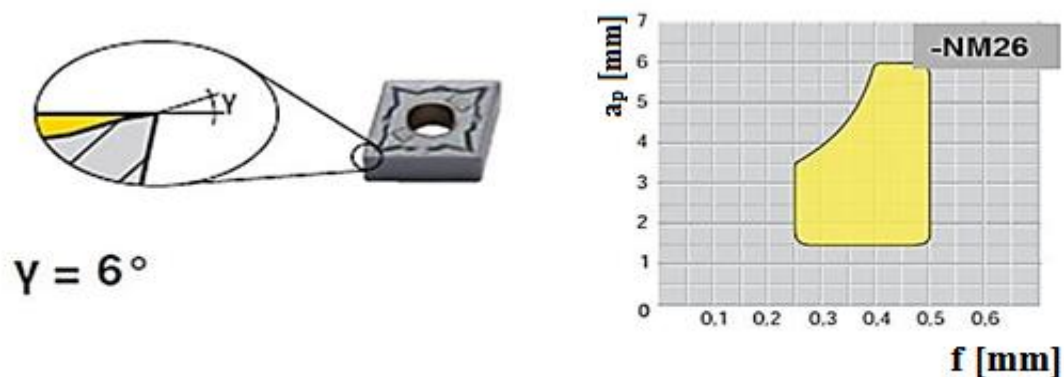
Obr. 19 Přehled oblasti použití vzhledem k typu korozivzdorné oceli. [44]

Původní technologie obrábění používala vyměnitelnou břitovou destičkou WNMG 080408-MM 2025 od firmy Sandvik Coromant. Vlastní parametry obrábění byly následující: řezná rychlost $v_c = 180$ m/min, posuv na otáčku $f = 0,35$ mm a šířka záběru ostří $a_p = 3$ mm. Používalo se vnější chlazení s 8 % koncentrací emulzní kapaliny. Trvanlivost vyměnitelné břitové destičky od firmy Sandvik Coromant byla 15 minut (pro $VB = 0,2$ mm), vyměnitelná břitová destička firmy WNT měla o 20 % vyšší trvanlivost, což je 18 minut. U vyměnitelné břitové destičky GC2025 došlo k vydrolování ostří, naopak u VBD HCN 2125 bylo opotřebení hřbetu břitu $VB = 0,2$ mm jak je vidět na obrázku 20. Tento výsledek ukazuje mimořádnou hospodárnost používání nové řady vyměnitelných destiček ze slinutého karbidu HCN 2125 Dragonskin. [44, 47]



Obr. 20 Opotřebení vyměnitelných břitových destiček GC2025 a HCN 2125. [44]

Vyměnitelná břitová destička použitá při zkoušce měla utvařec NM 26 (obr 21). Tento utvařec nabízí univerzální geometrii a je určen pro lehké až střední hrubování. Spolehlivost pracovního procesu je zajištěna i v případě přítomnosti okují a jiných faktorů ztěžujících proces obrábění. Dále se řada HCN 2125 nabízí se dvěma odlišnými utvařeci, které jsou dimenzované pro různé typy obrábění. Verze s označením NF 23 představuje velmi ostré ostří, které garantuje velmi dobrou kvalitu povrchu při dokončování a u obrábění obrobků s minimálními přídávky. Vyměnitelná destička typu NM 23 je určena pro střední až hrubé obrábění. [44, 47]



Obr. 21 Utvařec NM 26. [44]

ZÁVĚR

V současné době získává v průmyslu na důležitosti růst kvality používaných výrobků a zařízení. Do popředí se dostává využívání nových konstrukčních materiálů a technologie jejich zpracování. Dochází k rozvoji hlavně automobilového, petrochemického a potravinářského průmyslu. Nové typy materiálů se začínají prosazovat i v zařízeních na výrobu energie. Jedná se o oblasti, kde se používají zejména korozivzdorné oceli, protože je zde zapotřebí vysoká odolnost vůči korozi. Dále musí výrobky odolávat zvýšeným teplotám v náročných prostředích. Proto vznikají nové druhy korozivzdorných ocelí, u kterých je důležitou vlastností nejen odolnost proti korozi, ale i schopnost zachování mechanických vlastností materiálu při zvýšených teplotách. Mezi nové a rychle se rozvíjející skupiny korozivzdorných ocelí patří superferitické oceli s minimálním obsahem intersticiálních prvků, které nachází uplatnění tam, kde by běžné korozivzdorné oceli selhávaly. Dále supermartenzitické oceli s vysokou pevností, houževnatostí, dobrou svařitelností a vysokolegované austenitické oceli používané v provozech vyžadujících vysokou čistotu.

Z důvodu nástupu nových materiálů do výroby vznikají pokročilé způsoby zpracování těchto materiálů. Jedná se hlavně o vývoj nových řezných materiálů a technologií výroby výrobků z korozivzdorné oceli. Vznikají nové řady slinutých karbidů, které se vyznačují zvýšeným výkonem a trvanlivostí. Proto mají nově vyráběné řady slinutých karbidů vyšší pevnostní charakteristiky a využívá se větších řezných rychlostí při zachování výkonu obrábění. Toho by se nedalo docílit bez významného rozvoje nových kvalitních druhů povlaků, které snižují přestup tepla z materiálu do vyměnitelné břitové destičky a zvyšují tak odolnost proti opotřebení a trvanlivost řezných nástrojů ze slinutého karbidu. Mezi tyto povlaky patří např.: gradientní, multivrstvé a diamantové povlaky. V budoucnosti se mezi ně zařadí i supertvrdé povlaky z kubického nitridu boru, které jsou již vyvinuty, ale žádný výrobce je na trh zatím neuvedl. Pro problematiku obrábění korozivzdorných ocelí se preferují povlaky typu PVD, které mají tenčí vrstvu povlakových materiálů, ale oproti povlakům vytvářených metodou CVD zachovávají ostrost řezné hrany, která má vliv na celý proces obrábění těžko obrobitelných korozivzdorných ocelí. Tyto požadavky splňuje např. typ slinutého karbidu řady HCN 2125 od firmy WNT. Na základě proběhlých zkoušek vznikla všeobecná doporučení pro výběr vhodných řezných nástrojů určených pro obrábění korozivzdorných ocelí. Je dobré volit vyměnitelné břitové destičky s větší tloušťkou, avšak s ostrou geometrií, velkým úhlem čela a zesíleným břitem. Je zapotřebí využívat velkých šířek záběru ostří a posuvů na otáčku, volit větší rádius špičky nástroje. V případě malého rádiusu dochází k vyhřátí a vylomení břitu. Nadměrně velký rádius pak způsobuje vibrace soustavy stroj – obrobek – nástroj. Dále je potřeba omezit vznik tepla, zajistit dostatečné chlazení v místě řezu použitím chladicího média s 10 až 12% podílem oleje. Dále německá společnost WNT pro obrábění korozivzdorných ocelí nabízí materiály CCN 2120 a CWN 2135. Nové materiály slinutých karbidů pro obrábění korozivzdorných ocelí představují i další producenti nástrojů. Česká společnost Pramet Tools představila řadu T8300, která je opatřena nanovrstevnými TiN/TiAlN PVD povlaky s gradientními přechody. Řadu GC20XX pak nabízí firma Sandvik Coromant.

Vývoj a výroba nových korozivzdorných ocelí tak má za následek vznik nových druhů slinutých karbidů, které zvyšují jak výkony, tak i trvanlivost řezných nástrojů ve výrobě součástí oproti dříve používaným řezným nástrojům.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. str. 857. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] ATEAM.ZCU.CZ, *Prášková metalurgie*. [online] [vid. 2014-02-23] Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf.
- [3] BÉLA, Leffler. *STAINLESS - stainless steels and their properties*. [online] [vid. 2011-01-17] Dostupné z: <http://www.outokumpu.com/files/Group/HR/Documents/STAINLESS20.pdf>.
- [4] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *Charakteristika jednotlivých skupin korozivzdorných ocelí*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/charakteristika-skupin-korozivzdornych-oceli>.
- [5] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X17CrNi16-2*. [online] [vid. 2014-01-12] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x17crni16-2-martenziticke>.
- [6] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X20Cr13*. [online] [vid. 2014-01-12] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x20cr13-martenziticke>.
- [7] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X2CrNi19-11*. [online] [vid. 2014-01-14] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x2crni19-11-austeniticke>.
- [8] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X2CrNiMo17-12-2 a X2CrNiMo18-14-3*. [online] [vid. 2014-01-14] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x2crnimo17-12-2-austeniticke>.
- [9] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X2CrNiMoN22-5-3*. [online] [vid. 2014-01-12] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x2crnimon22-5-3-duplexni>.
- [10] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X2CrNi18-10*. [online] [vid. 2014-01-14] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x2crni18-10-austeniticke>.
- [11] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X30Cr13*. [online] [vid. 2014-01-14] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x30cr13-martenziticke>.
- [12] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X39Cr13*. [online] [vid. 2014-01-12] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x39cr13-martenziticke>.
- [13] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X3CrTi17*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a>

- zaruvzdorných-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x3crti17-feriticke.
- [14] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X5CrNi18-10*. [online] [vid. 2014-01-14] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>.
- [15] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X5CrNiCuNb16-4*. [online] [vid. 2014-02-12] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x5crnicunb16-4-vytvrditelne>.
- [16] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X6Cr13*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6cr13-feriticke>.
- [17] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X6Cr17*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6cr17-feriticke>.
- [18] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X6CrMo17-1*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crmo17-1-feriticke>.
- [19] BOHDAN BOLZANO, s.r.o. *X6CrMoS17*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crmos17-feriticke>.
- [20] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály - část 1. *MM Průmyslové spektrum*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html>.
- [21] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály - část 2. *MM Průmyslové spektrum*. [online] [vid. 2014-01-15] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2.html>.
- [22] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály - část 3. *MM Průmyslové spektrum*. [online] [únor 2014-01-20] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2-2.html>.
- [23] CERATIZIT AUSTRIA, GmbH. *Ultimate Tooling By Pioneering Spirit - Main Catalogue*. Reutte/Tyrol: CERATIZIT Austria, GmbH, 2013.
- [24] CERATIZIT DEUTHLAND, GmbH. *Wear Parts - Main Catalogue*. Empfinger: Ceratizit Deuthland, GmbH, 2010.
- [25] DLOUHÝ, Ivo. *Mezní stavy materiálů: Označování materiálů podle evropských norem*. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012.
- [26] EURO-INOX. *Korozivzdorné oceli - vlastnosti*. [online] [vid. 2014-01-10] Dostupné z: http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf.

- [27] HUMÁR, A., DANG, V.H. Trendy v povlakování slinutých karbidů. *MM Průmyslové spektrum*. [online]. [vid. 2014-03-10] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>.
- [28] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. str. 235. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [29] HUMÁR, Anton. *Technologie I, Technologie obrábění – I. část*. [online] [vid. 2014-05-15] Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf.
- [30] KOURIL, Karel. *Základní pojmy z teorie obrábění - Obráběné materiály*. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012.
- [31] KRÍŽ, Antonín. *Strojírenské materiály: Oceli a slitiny se zvláštními vlastnostmi*. Plzeň: Západočeská univerzita, Katedra materiálů a strojírenské metalurgie, 2011.
- [32] KUTZ, Myer. *Handbook of Materials Selection*. New York: John Wiley & Sons, 2002. str. 1497. ISBN 9780470172551.
- [33] NĚMEC, Karel. *Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli*. Brno: VUT v Brně, Fakulta Strojního inženýrství, 2012.
- [34] NOORDIN, M. Y., VENKATESH, V.C., SHARIF, S. Dry turning of tempered martensitic stainless tool steel using coated cermet and coated carbide tools. *Journal of Materials Processing Technology*. 185,1–3, April 2007, stránky 83–90.
- [35] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Nové soustružnické materiály řady T8300 s PVD povlakem*. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o.
- [36] SANDVIK COROMANT CZECH REPUBLIC, s.r.o. *Austenitic/ferritic/martensitic stainless steel, cast steel, manganese steel, alloy cast iron, malleable iron, free cutting steel*. [online] [vid. 2014-04-22]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general_turning/selection-of-inserts/grade-information/austenitic-ferritic-martensitic-stainless-steel/pages/default.aspx.
- [37] SANDVIK COROMANT CZECH REPUBLIC, s.r.o. *CoroKey 2010*. Praha: Sandvik Coromant Czech Republic, s.r.o., 2010.
- [38] SANDVIK COROMANT CZECH REPUBLIC, s.r.o. *ISO M Korozivzdorné oceli*. [online] [vid. 2014-03-03] Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_m_stainless_steel/pages/default.aspx
- [39] SANDVIK COROMANT CZECH REPUBLIC, s.r.o. *Katalog - Soustružnické nástroje*. Praha: Sandvik Coromant Czech Republic, s.r.o., 2010.
- [40] SANDVIK COROMANT CZECH REPUBLIC, s.r.o. *Povlakovaný slinutý karbid*. [online] [vid. 2014-02-22] Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx.
- [41] SANDVIK HOLDING, GmbH. *Smallparts Catalogue*. Düsseldorf: Sandvik Holding, GmbH, 2009.
- [42] SECO TOOLS CZ, s.r.o. *Obrábění nerezových ocelí. Příručka pro technology*. Brno: Seco Tools CZ, s.r.o, 2012.
- [43] STAINLESS STEEL WORLD. [online] [2011-02-23.] Dostupné z: <http://stainless-steel-world.net/pdf/11022.pdf>.
- [44] WNT ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *HCN 2125 - nová sorta pro soustružení nerezí*. Velké Meziříčí: WNT Česká republika, s.r.o., 2013.
- [45] WNT ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *Katalog 2013/2014*. Velké Meziříčí: WNT Česká republika, s.r.o., 2013.
- [46] WNT ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *Materiály a obrobiteľnosť*. Velké Meziříčí: WNT Česká republika, s.r.o., 2011.

- [47] WNT ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *Nová Dragonskin - Sorta pro obrábění nerezavějících ocelí*. Velké Meziříčí: WNT Česká republika, s.r.o., 2013.
- [48] WNT ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *Sortiment nástrojů WNT pro obrábění nerezavějících ocelí*. Velké Meziříčí: WNT Česká republika, s.r.o., 2012.
- [49] WNT ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *Úvod a výroba tvrdokovu*. Velké Meziříčí: WNT Česká republika, s.r.o., 2012.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vliv obsahu chromu (Cr) a niklu (Ni) na strukturu korozivzdorných ocelí	9
Obr. 2 Pitting.....	10
Obr. 3 Struktura feritické korozivzdorné oceli	11
Obr. 4 Struktura martenzitické korozivzdorné oceli.....	13
Obr. 5 Struktura austenitické korozivzdorné oceli	15
Obr. 6 Struktura duplexní korozivzdorné oceli	16
Obr. 7 Struktura precipitačně vytvrditelné korozivzdorné oceli.....	17
Obr. 8 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí podle společnosti Sandvik Coromant	19
Obr. 9 Vyměnitelná břitová destička společnosti WNT HCN 2125.....	20
Obr. 10 Mechanické vlastnosti slinutých karbidů v závislosti na obsahu kobaltu (Co).....	21
Obr. 11 Slinovací pec společnosti Ceratizit v německém Hitzackeru.....	23
Obr. 12 Základní typ vícevrstvého povlaku.....	23
Obr. 13 CVD povlaky Sandvik-Coromant na gradientním podkladovém SK	24
Obr. 14 Mikrostruktura povlaků řady CCN, HCN a CWN od WNT	27
Obr. 15 Mikrostruktura PVD nanovrstvých povlaků od Pramet Tools řady T8300.....	27
Obr. 16 Mikrostruktura povlaků řady GC20XX od Sandvik Coromant.....	28
Obr. 17 Grafické znázornění řezné rychlosti v_c	29
Obr. 18 Parametry vyměnitelné břitové destičky řady HCN 2125.....	30
Obr. 19 Přehled oblasti použití vzhledem k typu korozivzdorné oceli.....	31
Obr. 20 Opotřebenění vyměnitelných břitových destiček GC2025 a HCN 2125	31
Obr. 21 Utvařeč NM 26.	32

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti vybraných feritických korozivzdorných ocelí	12
Tab. 2 Fyzikální vlastnosti vybraných feritických korozivzdorných ocelí.....	13
Tab. 3 Mechanické vlastnosti vybraných martenzitických korozivzdorných ocelí.....	14
Tab. 4 Fyzikální vlastnosti vybraných martenzitických korozivzdorných ocel.	14
Tab. 5 Mechanické vlastnosti vybraných austenitických korozivzdorných ocelí.....	16
Tab. 6 Mechanické vlastnosti vybrané duplexní korozivzdorné oceli.....	17
Tab. 7 Mechanické vlastnosti vybrané precipitačně vytvrditelné korozivzdorné oceli.....	18
Tab. 8 Rozdělení práškové směsi slinutých karbidů podle velikosti zrna	22
Tab. 9 Doporučené řezné podmínky pro obrábění korozivzdorných ocelí.....	29

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CVD	[-]	Chemické naprašování z plynné fáze
HB	[-]	Tvrдость podle Brinella
HV	[-]	Tvrдость podle Vickerse
KV	[J]	Vrubová houževnatost
PACVD	[-]	Plazmaticky aktivovaná metoda CVD
PVD	[-]	Fyzikální napařování
SK	[-]	Slinutý karbid
VB	[-]	Opotřebení hřbetu břitu
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	Prodloužení v podélném směru
E	[GPa]	Modul pružnosti
L_0	[%]	Prodloužení v příčném směru
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
f	[mm]	Posuv na otáčku
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu
q	[J/kg.K]	Měrné teplo
v_c	[m/min]	Řezná rychlost
α	[$10^{-6}K^{-1}$]	Součinitel délkové roztažnosti
λ	[W/m.K]	Měrná tepelná vodivost