



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ LITIN

CUTTING OPERATION OF CAST IRON

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Zdeněk NEJEDLÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zdeněk Nejedlý

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:

Obrábění litin

v anglickém jazyce:

Cutting operation of cast iron

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše litinových materiálů a nástrojů k jejich obrábění. U materiálů zohlednit vlastnosti, rozdělení, označování, obrobitelnost a výrobu. Nástroje charakterizovat dle jejich materiálu, rozdělení, opotřebení a provozního prostředí.

Cíle bakalářské práce:

Znalost problematiky obrábění litinových materiálů včetně přiřazení firem vyrábějících nástroje.

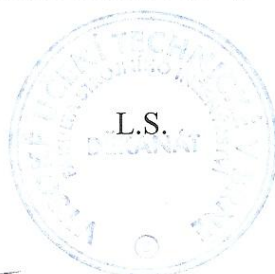
Seznam odborné literatury:


1. CIHLÁŘOVÁ, Petra, Michael Lars George HILL and Miroslav PÍŠKA. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. Miroslav Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, Karel. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.
8. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 25.10.2011





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá obráběním slitin železa s vyšším množstvím uhlíku – litin. První část práce pojednává o vlastnostech těchto materiálů. Je zaměřena na výrobu, chemické složení nebo formy uhlíku, což jsou aspekty, které ovlivňují vlastnosti a obrobitelnost litin. Rozdíly v jednotlivých typech jsou shrnuty v kapitole zabývající se rozdělením litin. Druhá část je věnována obrábění. Obrobitelnost je zhodnocena u každé skupiny litin a jednotlivé části se věnují nástrojovým materiálům, opotřebení břitu nástroje nebo řeznému prostředí.

Klíčová slova

litina, rozdělení litin, technologie obrábění, nástrojové materiály, řezné prostředí

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with cutting operation of alloys of iron with high level of carbon – cast iron. First part of the thesis deals with properties of these materials. This part is focused on production, chemical composition and form of carbon, which are aspects that influence properties and machinability of cast iron. Differences in individual types are resumed in chapter, which deals with distribution of cast iron. Second part is devoted to machining. Machinability is evaluated for each group of cast iron and individual parts devotes to tool materials, wear of the tool edge and cutting surround.

Keywords

cast iron, distribution of cast iron, machining, tool materials, cutting surround

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NEJEDLÝ, Zdeněk. *Obrábění litin*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 44 s. 4 přílohy. Vedoucí práce: Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění litin** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Zdeněk Nejedlý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1 LITINY A JEJICH VLASTNOSTI	10
1.1 Krystalizace litin	10
1.1.1 Formy uhlíku	10
1.1.2 Doprovodné prvky	11
1.1.3 Rychlost ochlazování	12
1.2 Kovová matrice	13
1.2.1 Feritická matrice.....	13
1.2.2 Perlitická matrice.....	13
2 ROZDĚLENÍ LITIN.....	14
2.1 Bílá litina	14
2.2 Grafitické litiny	14
2.2.1 Litina s lupínkovým grafitem.....	16
2.2.2 Litina s kuličkovým grafitem	17
2.2.3 Litina s vermikulárním grafitem	18
2.2.4 Litina s vločkovým grafitem	19
3 OBRÁBĚNÍ LITIN.....	20
3.1 Obrobitelnost	20
3.1.1 Hlediska pro posuzování obrobitelnosti materiálů	20
3.1.2 Hlavní činitele ovlivňující obrobitelnost materiálů	21
3.2 Obrobitelnost litin	21
3.2.1 Vliv matrice na obrobitelnost litin.....	22
3.2.2 Vliv prvků na obrobitelnost litin.....	23
3.2.3 Obrobitelnost jednotlivých druhů litin.....	23
3.3 Základní přehled o nástrojových materiálech	25
3.3.1 Supertvrdé materiály	26
3.3.2 Řezná keramika	26
3.3.3 Cermety	27
3.3.4 Slinuté karbidy	28
3.3.5 Rychlořezné oceli.....	28

3.3.6	Stellity	28
3.4	Nástrojové materiály používané při obrábění litin	29
3.5	Opotřebení břitu nástroje	30
3.5.1	Mechanismy opotřebení	30
3.5.2	Formy opotřebení	31
3.5.3	Opotřebení při obrábění litin	31
3.6	Řezné prostředí	32
3.6.1	Procesní kapaliny	32
3.6.2	Přívod procesní kapaliny do místa řezu	33
3.6.3	Plynné řezné prostředí	34
3.7	Chlazení při obrábění litiny	35
3.8	Obráběcí stroje	35
3.8.1	Soustružnické stroje	35
3.8.2	Frézovací stroje	36
3.8.3	Vrtačky	36
4	DISKUZE	38
	ZÁVĚR	39
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40
	Seznam použitých symbolů a zkratk	42
	SEZNAM PŘÍLOH	44

ÚVOD

V současné době patří technologie obrábění mezi nejdůležitější výrobní metody strojírenské technologie a vzhledem k současnému stavu třískového obrábění a perspektivním směrům rozvoje, zůstane ve strojírenské výrobě základní technologickou profesí. Po mnoho let se výroba kovových součástí a nástrojů zaměřovala pouze na odlévání. Teprve až 19. a 20. století přineslo rozvoj třískového obrábění, metody, která zajišťuje podstatně vyšší přesnost a spolehlivost jednotlivých elementů výrobků a jejich celků. Tím také došlo v první polovině 20. století k prudkému rozvoji velkosériové a hromadné výroby v oblasti technologie obrábění. Velkým impulzem při vývoji této technologie jsou v 50. letech vysoké požadavky leteckého průmyslu a rozvíjející se kosmonautiky na spolehlivost a přesnost obráběných součástí. Tuto dobu lze také označit za zlom, kdy dochází k vývoji a použití nových obráběcích strojů řízených číslicově zadanými informacemi. Důkazem, že použití číslicového řídicího systému a později počítače byl krok správným směrem, nám mohou být dnešní moderní CNC obráběcí centra a jejich obrovské možnosti.

Úkolem strojírenské technologie je analýza výrobního procesu do všech detailů. Tento výrobní proces je realizován prostřednictvím technologických postupů, které definují výrobní zařízení, nástroje, přípravky, pomůcky a pracovní podmínky potřebné k tomu, aby bylo dosaženo splnění všech požadavků kladených na hotový výrobek, přičemž je stále kladen důraz na ekonomiku celého procesu. Pro splnění všech těchto požadavků je pro technologa nutná dobrá orientace nejen v problematice daného obráběcího procesu a jeho hospodárnosti, ale také znalost problematiky obráběného materiálu. A není tím myšlen pouze tvar polotovaru či požadovaná přesnost obrobku, ale především vlastnosti materiálu a jeho vhodnost k obrábění. Proto se také podstatná část práce věnuje obráběnému materiálu, v tomto případě litinám.

Litina patří k velmi starým materiálům, v Číně se odlévala již zhruba ve 4. stol. př. n. l. K odlévání ve větším množství pak došlo v období středověku. V moderní historii došlo k velkému rozmachu výroby v době kolem 2. světové války, kdy se začala vyrábět litina s kuličkovým grafitem. V následujících letech se výroba stále zdokonalovala a tím se také zlepšovaly její mechanické vlastnosti. Výsledkem je fakt, že litina s kuličkovým grafitem je nejpoužívanější druh litiny, která spojuje přednosti ocelí a litiny s lupínkovým grafitem.

V této bakalářské práci bude v celkově třech kapitolách probrána nejprve problematika litinových materiálů. Zde budou představeny základní vlastnosti litin a rozdělení na jednotlivé typy v tomto pořadí:

- bílá litina,
- litina s lupínkovým grafitem,
- litina s kuličkovým grafitem,
- litina s vermikulárním grafitem,
- litina s vločkovým grafitem.

Další část bude věnována obrobitelnosti. Ta bude posouzena z několika hledisek a následně vyhodnocena pro jednotlivé litiny. Poslední část bude zaměřena na samotný proces obrábění z hlediska nástrojových materiálů, opotřebení břitu nástroje či řezného prostředí.

1 LITINY A JEJICH VLASTNOSTI

Litiny jsou slitiny železa s uhlíkem a dalšími doprovodnými prvky, v nichž obsah uhlíku je nad 2,14 hmotnostních % a součet doprovodných prvků nepřesáhne 2 %. Slitina s obsahem uhlíku menším než 2, % se nazývá ocel. Litina se vyrábí roztavením surovin (surové železo, litinový vratný materiál, ocelový odpad,...) v kuplovně, případně v elektrické indukční nebo obloukové peci [1].

Jde o materiál určený výhradně na výrobu odlitků. Různé odlitky se zhotovovaly v Číně již zhruba ve 4. stol. př. n. l. a do Evropy se tato výroba dostala ve 14. stol. n. l. V poslední době výroba slitin železa upadá, ale i tak jde o jednu z nejdůležitějších skupin kovových materiálů [2].

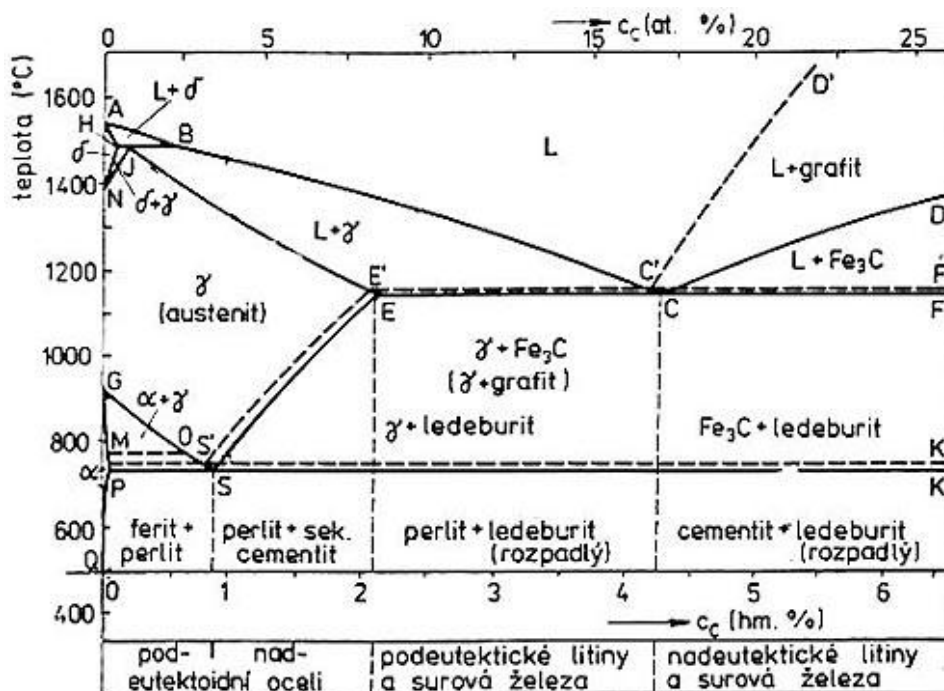
1.1 Krystalizace litin

Odlití a následná krystalizace litin je velice důležitý proces. Způsob jakým litina tuhne, určuje spolu s dalšími vlivy mechanické vlastnosti litiny. Jedním z nejdůležitějších faktorů je obsah samotného uhlíku.

1.1.1 Formy uhlíku

Z rovnovážného diagramu Fe-C (obr. 1.1) vyplývá, že v závislosti na chemickém složení a podmínkách tuhnutí může v litinách vzniknout buď eutektikum cementitické (ledeburit), nebo grafitové. Podle eutektika, které se vyloučí, se rozlišují [1]:

- bíle tuhnutí litiny – tyto litiny mají bílý lom (bílá litina, temperovaná litina v litém stavu, tvrzená litina),
- grafitické litiny – mají šedý lom (litina s lupínkovým grafitem, litina s kuličkovým grafitem, litina s vermikulárním grafitem).



Obr. 1.1 Část rovnovážného diagramu soustavy Fe-C [1].

Uhlík je tedy v litinách přítomen buď jako cementit nebo grafit.

„Cementit je typická intermediární fáze s obsahem 6,68 hm % C. Krystalizuje v orthorombické soustavě. Je velmi tvrdý (800 HV) a křehký a do teploty 217 °C je feromagnetický. Z termodynamického hlediska je fází metastabilní a za vhodných podmínek se rozpadá na železo a grafit. Tento proces je znám pod pojmem přímá grafitizace.

Grafit je čistý uhlík a krystalizuje v hexagonální soustavě. Je měkký a jeho tvárnost a pevnost jsou v porovnání s čistým železem nepatrné. Z hlediska termodynamického jde o fázi stabilní.“ [2]

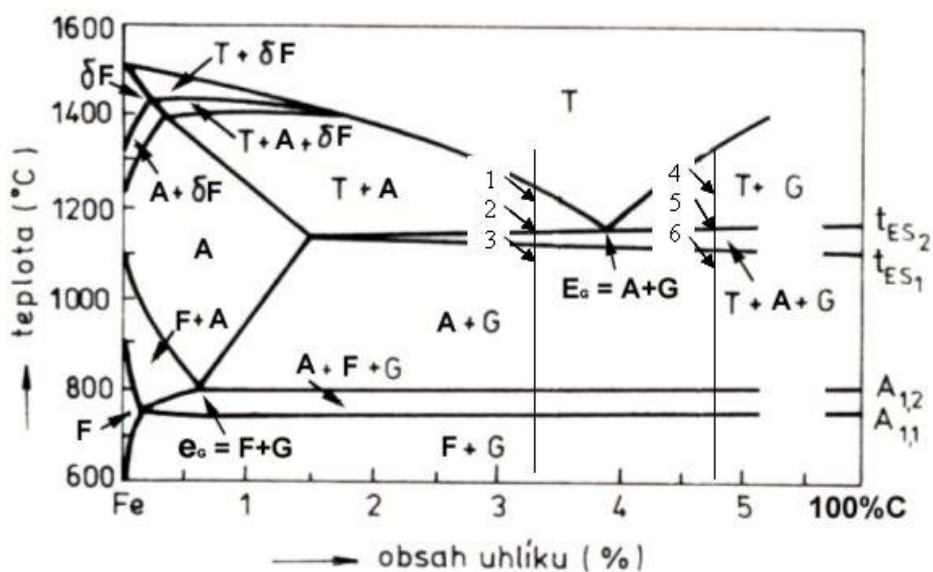
Jaký rozsah struktura přejímá, závisí vedle obsahu samotného uhlíku také na množství doprovodných prvků ve slitině a rychlosti ochlazování.

1.1.2 Doprovodné prvky

Mezi nejdůležitější příměsi litin patří křemík, jehož množství se pohybuje mezi 0,3 – 4,0 %. Malé množství křemíku v litinách stabilizuje karbidy a převládající podíl v litině má cementit na úkor grafitu. Naopak vysoký obsah křemíku způsobuje vyšší obsah grafitu a zanedbatelný obsah cementitu [2, 3].

Křemík totiž podporuje rozpad eutektického i eutektoidního cementitu a snižuje koncentraci uhlíku v eutektiku. Spodní hranice obsahu křemíku je dána požadavkem, aby při eutektické krystalizaci nedošlo k vytvoření ledeburitu. Horní hranice závisí na požadované podobě matrice (tj. na mechanických vlastnostech). Čím více je v litině křemíku, tím větší je podíl grafitu v matrici a vzrůstá i podíl feritu ve struktuře na úkor perlitu. Vlivem těchto změn dochází k poklesu pevnosti v tahu i ohybu [1].

Fázové přeměny těchto litin jsou patrné z pseudobinárního diagramu Fe-C-Si (obr. 1.2).



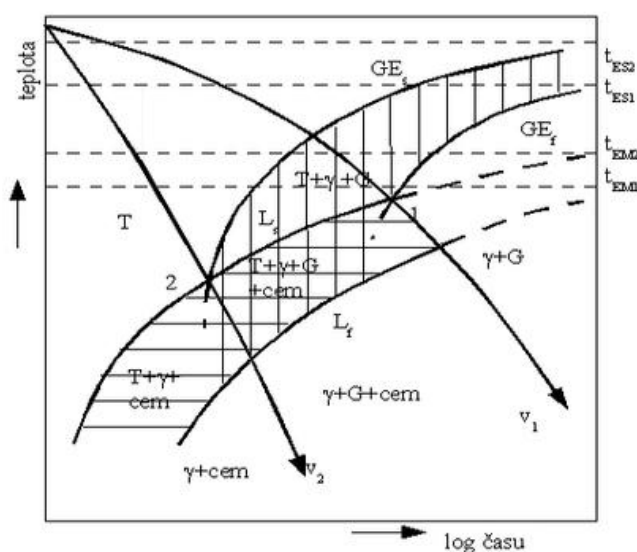
Obr. 1.2 Pseudobinární diagram Fe-C-Si pro obsah 2 % Si [2].

Diagram pro proměnný obsah Fe a C a konstantní obsah Si vychází z ternárního diagramu. V podstatě je tento pseudobinární diagram podobný binárnímu rovnovážnému diagramu železo-uhlík s posunutými teplotami fázových přeměn směrem nahoru a koncentracemi směrem doleva. Významný rozdíl je ale interval teplot $t_{ES1} - t_{ES2}$, který nahrazuje jednu konstantní eutektickou teplotu. Stejně tak i eutektoidní přeměna probíhá v teplotním intervalu $A_{1,1} - A_{1,2}$, místo jedné konstantní teploty. Tyto intervaly teplot se rozšiřují se vzrůstajícím obsahem křemíku [2].

Křemík, stejně jako uhlík, se řadí mezi tzv. *grafitotvorné* prvky, protože svou přítomností podporují tvorbu grafitu. Další prvky, které patří do této skupiny, jsou např. hliník, nikl, hořčík, kobalt, měď aj. Prvky, které naopak snižují aktivitu uhlíku a podporují vznik cementitu, se nazývají prvky *karbidotvorné*. Mezi ně se řadí např. mangan, molybden, chrom, vanad, ... [4]

1.1.3 Rychlost ochlazování

I přes rozhodující vliv křemíku na tvorbu stabilního nebo metastabilního eutektika má pro odlitek značný význam rychlost ochlazování. Tento vliv je zřejmý z kinetického diagramu anizotermické krystalizace litin soustavy Fe-C-Si s eutektickým složením (obr. 1.3). Při pomalém ochlazování ($v < v_1$) vzniká grafitové eutektikum a dochází k tvorbě litiny s lupínkovým (kuličkový) grafitem. Při rychlém ochlazení ($v > v_2$) může u litiny vzniknout nedostatečný časový prostor k vytvoření struktury, začne se tvořit metastabilní eutektikum a vzniká litina bílá. Pokud litina chladne rychlostí v rozmezí v_1 až v_2 , začne se nejprve tvořit grafitové eutektikum a při dosažení teploty L_s ze zbylé taveniny krystalizovat ledeburit. Krystalizace ledeburitu končí na teplotě L_f . Výsledkem takového chladnutí je maková (přechodová) litina. Ve slévárenské praxi tato závislost souvisí s tloušťkou stěny odlitku. Různé tloušťky v jednotlivých částech odlitků ovlivňují rychlost ochlazování a tím i stav uhlíku. U moderních technologií lití se proto provádí analýzy, které umožňují výrobu odlitků s potřebnou grafitovou strukturou [1, 3].



$t_{ES1} - t_{ES2}$...teplotní interval
vzniku stabilního eutektika

$t_{EM1} - t_{EM2}$...teplotní interval
vzniku metastabilního
eutektika

GE_s, GE_f ...začátek a konec
vzniku grafitového eutektika

L_s, L_f ...začátek a konec
vzniku metastabilního
eutektika (ledeburitu)

Obr. 1.3 Schéma diagramu anizotermické krystalizace eutektické litiny podle Fe-C-Si [2].

1.2 Kovová matrice

Mechanické vlastnosti litin však nezávisí pouze na formě uhlíku, tvaru nebo velikosti grafitu. Významně se na nich podílí i matrice – základní kovová hmota. Matrice může být feritická, feriticko-perlitická nebo perlitická. Vliv matrice na mechanické vlastnosti u jednotlivých typů litin je v tabulce (tab. 1.1).

Tab.1.1 Vliv kovové matrice na mechanické vlastnosti litin [2].

Litiny	Feritická matrice	Feriticko-perlitická matrice	Perlitická matrice
Litina s lupínkovým grafitem	100-155 HB $R_m = 100-200$ MPa	120-195 HB $R_m = 150-300$ MPa	145-215 HB $R_m = 250-350$ MPa
Litina s kuličkovým grafitem	$R_m = 350-400$ MPa A = 15-22 %	$R_m = 400-600$ MPa A = 3-10 %	$R_m = 600-900$ MPa A = 2 %
Litina s vermikulárním grafitem	Mechanické vlastnosti leží mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem.		
Temperovaná litina s bílým lomem	$R_m = 350-550$ MPa	A = 4-12 %	200-250 HB
Temperovaná litina s černým lomem	$R_m = 350-800$ MPa	A = 1-10 %	140-320 HB

1.2.1 Feritická matrice

Ferit vzniká při eutektoidní transformaci austenitu podle stabilního systému a jeho vznik podporuje pomalé ochlazování a přítomnost křemíku. Litiny s touto základní fází mají nízkou pevnost a tvrdost (menší než 150 HB) a jsou tvárné a dobře obrobitelné. Vlastnosti feritu značně ovlivňují legury a doprovodné prvky, které mají vliv na jeho tvrdost, pevnost a houževnatost [2, 3].

1.2.2 Perlitická matrice

Perlit je eutektoid, který vzniká rozpadem austenitu podle metastabilního systému. Vedoucí fází perlitické přeměny je cementit, vedle něhož vznikají lamely feritu. Z jednoho austenitického zrna pak vzniká několik zrn perlitu. V porovnání s feritem má perlit stabilnější, tvrdší a méně tvárnou strukturu, horší plastické vlastnosti, horší obrobitelnost a vyšší odolnost proti opotřebení. Vlastnosti perlitu také závisí na lamelární struktuře. Čím jemnější má perlit zrna a lamely, tím vyšší je jeho pevnost a tvrdost [2, 3].

Přechodem mezi maticí feritickou a perlitickou je feriticko-perlitická. Mechanické vlastnosti litin s touto maticí se mění s tím, jaká fáze v nich převládá. Obecně platí, že se zvyšujícím se podílem perlitu narůstají pevnostní charakteristiky a se zvyšujícím se podílem feritu se zvyšuje tažnost a houževnatost. Různými úpravami litin (tepelné zpracování, legování) lze získat i matrice, které obsahují austenit, bainit, martenzit,... [2]

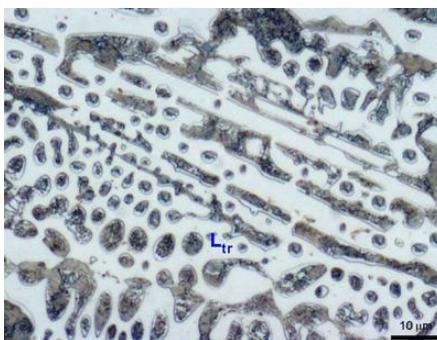
2 ROZDĚLENÍ LITIN

Jak již bylo uvedeno výše, litiny se rozdělují podle jejich struktury na litiny bílé (cementitické eutektikum) a grafitické (grafitové eutektikum).

2.1 Bílá litina

„U bílé litiny je veškerý uhlík přítomen ve formě cementitu (Fe_3C). Název „bílá“ vznikl z charakteristického bílého zbarvení lomové plochy litiny. Tuhnutí i přeměny v tuhém stavu u bílé litiny probíhají podle metastabilního diagramu Fe- Fe_3C . Produktem eutektické přeměny je eutektikum $\gamma+\text{Fe}_3\text{C}$, které se nazývá ledeburit. Bílé litiny obsahují cca 2,4 - 4,5 % C. Vznik cementitu v litinách podporuje vyšší ochlazovací rychlost při tuhnutí, přítomnost karbidotvorných prvků, zejména manganu (0,4–1 %), a nižší obsah křemíku (0,3–1,6 %). Vzhledem k vysokému obsahu tvrdého karbidu železa Fe_3C jsou bílé litiny velmi tvrdé, křehké a prakticky neobrobitelné. Používají se na součástky extrémně namáhané třením, jako jsou čelisti drtičů nebo koule v kulových mlýnech. Jejich hlavní využití je však jako výchozí materiál pro výrobu tzv. temperované litiny.“ [5]

Struktura bílé litiny je znázorněna na obr. 2.1.



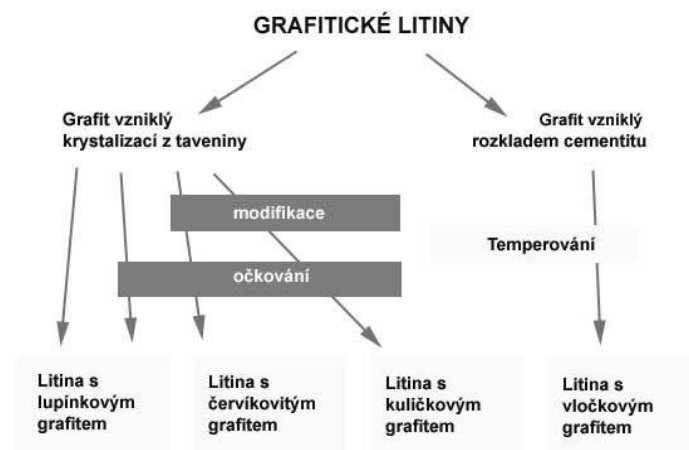
Obr. 2.1 Eutektická bílá litina [6].

2.2 Grafitické litiny

Grafitické litiny neobsahují volný cementit a veškerý uhlík (nebo jeho převážná část) je zde vyloučen jako grafit. Tyto slitiny mají oproti ocelím mnohé přednosti. Mezi ně patří například nižší měrná hmotnost, třecí vlastnosti, schopnost tlumení nebo např. menší citlivost na vruby. Navíc strukturu grafitických litin lze upravit (podobně jako strukturu ocelí vhodnou volbou tepelného zpracování). Litiny s výhodnějším tvarem grafitu (kuličkový) totiž mohou dosáhnout mechanických vlastností srovnatelných s vlastnostmi oceli, aniž by přišly o své specifické vlastnosti [1].

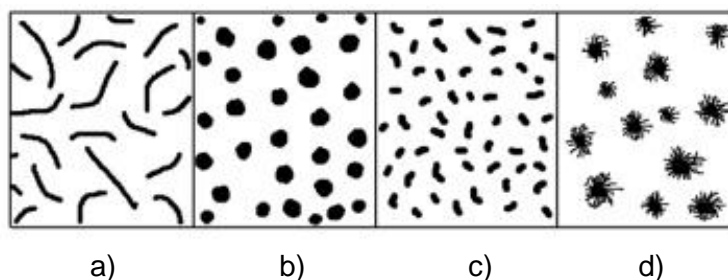
Strukturu grafitických litin tvoří grafit a základní kovová hmota. Na vlastnosti má rozhodující vliv tvar, velikost, obsah a způsob rozložení grafitu, dále pak druh matrice a fosfidické eutektikum – steadit [1].

V grafitických litinách rozlišujeme 4 základní druhy grafitu. Jedná se o grafit lupínkový, vermikulární (červíkovitý), kuličkový a vločkový (viz obr. 2.2). Jejich tvary jsou znázorněny na obr. 2.3.

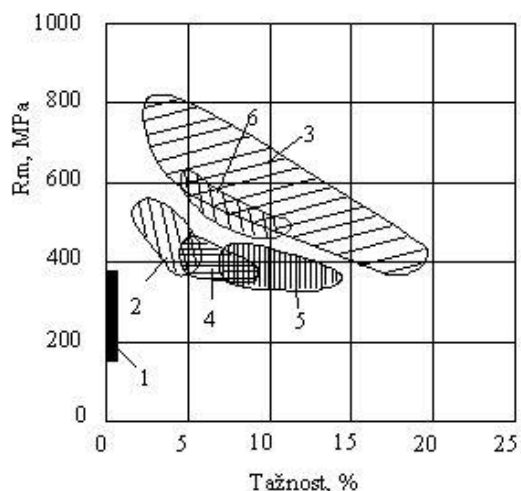


Obr. 2.2 Základní druhy grafitických litin [2].

Vlivem grafitových částic v materiálu dochází k narušování kontinuity základní kovové hmoty. To je příčinou vzniku místních koncentrací napětí právě v oblasti grafitu při namáhání materiálu. Nejsilnější vrubový účinek má vyloučení grafitu ve tvaru hrubých lupínků. Příznivějšími tvary z hlediska porušování celistvosti matrice litin jsou kuličky nebo vločky grafitu (viz obr. 2.4) [1].



Obr. 2.3 Morfologické typy grafitických částic v grafitických litinách:
a) litina s lupínkovým grafitem, b) litina s kuličkovým grafitem, c) litina s vermikulárním grafitem, d) litina s vločkovým grafitem [3].



1. litina s lupínkovým grafitem
2. litina s červíkovitým grafitem
3. litina s kuličkovým grafitem
4. litina s vločkovým grafitem
(temperovaná litina s bílým lomem)
5. litina s vločkovým grafitem
(temperovaná litina s černým lomem)
6. temperovaná perlitická litina

Obr. 2.4 Mechanické vlastnosti grafitických litin [2].

2.2.1 Litina s lupínkovým grafitem

Litina s lupínkovým grafitem (někdy také šedá litina) je definována jako slitina železa a uhlíku na odlitky, ve které je volný uhlík přítomen jako grafit především ve tvaru lamelárních částic – lupínků. Jedná se o poměrně levný konstrukční materiál, který má dobré slévárenské vlastnosti. Nevýhodou je ale velké množství vrubů, které vznikají v základní kovové hmotě v okolí lupínků grafitu. To má za následek nízké mechanické vlastnosti těchto litin (deformační charakteristiky jsou minimální a tažnost je menší než 1 %). Struktura litiny s lupínkovým grafitem je znázorněna na obr. 2.5 [1].

Litiny s lupínkovým grafitem jsou převážně podeutektické slitiny o základním chemickém složení: 2,8 až 3,6 % C, 1,7 až 2,4 % Si, 0,5 až 1,0 % Mn, 0,2 až 0,5 % P, max. 0,15 % S a popřípadě ještě další legující prvky. Pro hodnocení vlivu legujících prvků v litině na polohu eutektického bodu, tj. koncentraci uhlíku v eutektiku a tím i na množství a hrubost grafitu v matici, se používá *stupeň eutektičnosti* S_c . Jedná se o hodnotu, která určuje novou polohu eutektického bodu a lze jej vypočítat z následujícího vztahu [1]:

$$S_c = \frac{\%C}{4,26 - 0,31 \cdot \%Si - 0,27 \cdot \%P - 0,4 \cdot \%S - 0,074 \cdot \%Cu + 0,063 \cdot \%Cr + 0,027 \cdot \%Mn} \quad (2.1)$$

Pokud stupeň eutektičnosti $S_c = 1$, znamená to, že litina odpovídá eutektickému složení (což je 4,3 % C, viz obr. 1.1), $S_c < 1$ znamená podeutektickou a $S_c > 1$ nadeutektickou litinu. Znalost stupně eutektičnosti má význam pro dosažení určité struktury matrice. Stupeň eutektičnosti se také využívá v empirických vztazích k určení mechanických vlastností litin (mez pevnosti, tvrdost, ...) [1].

Litiny s lupínkovým grafitem sice nemají dobré mechanické vlastnosti, na druhou stranu se ale lupínky grafitu projevují pozitivně na zvýšení schopnosti útlumu a tím snižují i citlivost na účinek vrubů. Navíc fakt, že grafit je téměř spojitý rozvětvený útvar, má kladný dopad na slévárenské vlastnosti, které jsou nejlepší z grafitických litin. Tyto litiny se vyznačují vynikající zabíhavostí, relativně malým sklonem k smršťování a také dobrou tepelnou vodivostí [2].

Tvar grafitu však není jediný, co ovlivňuje vlastnosti litiny. Záleží také na velikosti částic grafitu a platí, že čím je částic více a jsou menší, tím je větší pevnost litiny. Proto se využívá tzv. *očkování litiny* k zlepšení pevnostních charakteristik.

Očkování je technologická operace, při které se do tekutého kovu vnáší malé množství očkovadla, a tím se zvýší množství krystalizačních zárodků určité fáze. Grafitizační očkování litiny s lupínkovým grafitem umožňuje zvýšit počet zárodků grafitu. Mechanismus očkování však není dosud jednoznačně objasněný. Převládající názor je, že očkování prvky, které snižují rozpustnost uhlíku, způsobuje v tavenině v uzavřeném objemu lokálně přesycenou taveninu uhlíkem. Tím dojde ke shluku grafitu – nový zárodek. Druhou možností jsou tzv. oxidické zárodky, kdy po přidání FeSi proběhne v tavenině dezoxidace, jejímž produktem jsou jemné částice SiO_2 . Tyto částice pak slouží jako zárodky, na kterých vzniká grafit. Očkovadla se přidávají do taveniny sypáním do proudu kovu při vylévání z pece nebo sypáním do licí pánve. Nejčastěji používaným očkovadlem je ferosilicium FeSi75 (slitina Fe a 75 % Si), a to kvůli jeho ceně a dostupnosti [2].



Obr. 2.5 Litina s lupínkovým grafitem s matricí feriticko-perlitickou [2].

2.2.2 Litina s kuličkovým grafitem

Litina s kuličkovým grafitem (dříve také tvárná litina) je slitina, v níž je uhlík přítomen převážně ve tvaru částic kuličkového grafitu. Ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem má tato litina výrazně lepší mechanické vlastnosti. Vyznačuje se nejen podstatně vyšší pevností, ale také vysokou tažností a houževnatostí. Chemické složení těchto litin odpovídá většinou eutektické, popř. nadeutektické koncentraci a v porovnání s litinou s lupínkovým grafitem jsou obsahy uhlíku a křemíku vyšší [1].

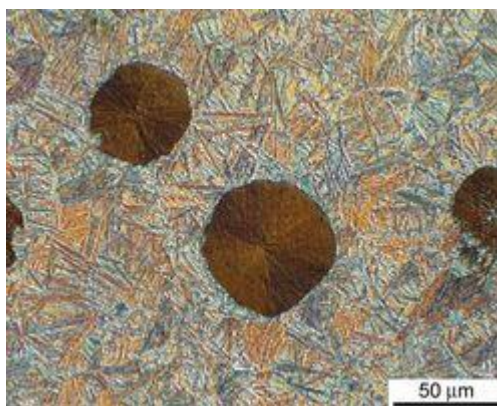
Částice grafitu ve formě kuliček jsou složité polykrystaly, kdy primární krystaly jsou paprskovitě uspořádány a tvoří jednu grafitickou částici. Litina s kuličkovým grafitem krystalizuje tak, že se do tekutého kovu přidávají látky, které zvyšují povrchové napětí na rozhraní grafit – tavenina a vyvolávají tak krystalizaci do tvaru koule (do tvaru s nejmenším povrchem). Ke vzniku kuličkového grafitu proto nestačí jen železo, uhlík a křemík, ale musí se dodat i jiné prvky, které ovlivňují růst zárodku do požadovaného tvaru. Této technologické operaci se říká *modifikování* a látka, která se do taveniny přidává, je *modifikátor*. Modifikátory jsou většinou na bázi hořčíku, a protože hořčík zvyšuje stabilitu karbidů, následuje po modifikaci grafitizační očkování [2].

Modifikování lze uskutečnit pomocí několika postupů. Modifikátor se může do tekutého kovu vpravovat např. metodou přelivací v otevřené pánvi, ponornou metodou, průtokovými metodami, modifikování čistým hořčíkem v konvertoru,... Minimální obsah hořčíku potřebný na vznik kuličkového grafitu je 0,01 % s přídávkem ceru a jiných prvků vzácných zemin nebo 0,02 %, pokud je použit samotný hořčík. Jako modifikátory lze použít kovový hořčík (v tyčích, práškový, plněný profil), slitiny hořčíku s niklem a slitiny hořčíku s křemíkem a dalšími přísadami [2].

Podle požadované výsledné struktury se mění i množství základních přísad. Litina s feritickou matricí se vyznačuje poměrně vysokými deformačními charakteristikami (tažnost až 25 %), houževnatostí a dobrou obrobiteľnosť, zatímco pevnost v tahu je nižší. Této struktury lze docílit zvýšeným obsahem křemíku a nízkým obsahem manganu. Vyšší obsah křemíku má však negativní vliv na tažnosť, a proto se pro zajištění plně feritické struktury s optimální tažností a maximální rázovou a vrubovou houževnatostí využívá tepelného zpracování – feritizačního žihání. Vyšších pevností se dosahuje u litin s perlitickou matricí.

Přísady manganu a mědi podporují tvorbu perlitu a právě legování mědí je pro tvorbu perlitu výhodnější, neboť nehrozí nebezpečí vzniku ledeburitu. Modifikací perlitické litiny směsným kovem Cu-Mg-Ce se dosahuje hodnot pevnosti v tahu vyšších než 700 MPa a tažnosti od 2 do 6 %. Vyšších hodnot pevností lze u litin s kuličkovým grafitem dosáhnout tepelným zpracováním. Přísada legujících prvků (nikl, měď, molybden) je u litin s kuličkovým grafitem užitečná pouze v případě požadavku příznivé kombinace pevnosti a houževnatosti [1].

Tepelné zpracování této litiny lze rozdělit na žhání a zušlechťování a právě izotermické zušlechťování na bainit je velmi časté. Tímto tepelným zpracováním vznikají tzv. **ADI litiny** (z anglického Austempered Ductile Iron, viz obr. 2.6), které jsou vhodné pro vysokopevné odlitky. Izotermické zušlechťování je proces skládající se z austenitizace, rychlého ochlazení na teplotu v bainitické oblasti a následným dochlazením na teplotu pokojovou. Při austenitizaci se materiál ohřívá na teplotu 850 až 1 000 °C a na této teplotě zůstává, než se struktura zaustenitizuje. Poté následuje rychlé ochlazení na teplotu izotermické přeměny v austenitické peci a přemístění materiálu do solné lázně s teplotou 250 až 450 °C. Vyšší teploty způsobí vznik struktury (horní bainit), která má nižší pevnostní vlastnosti a tvrdost, ale vyšší plastické vlastnosti, houževnatost, únavové vlastnosti apod. Nižší teploty zase způsobí vznik struktury (dolní bainit), která má vyšší pevnost, tvrdost a odolnost vůči opotřebení odlitku, ale menší houževnatost [2].



Obr. 2.6 ADI litina s bainitickou maticí [2].

Litina s kuličkovým grafitem je vysoce jakostní materiál a v současnosti nejpoužívanější litina. Jde o materiál, který spojuje přednosti ocelí na odlitky (mechanické vlastnosti) s přednostmi litiny s lupínkovým grafitem (větší schopnost útlumu, menší vrubová citlivost, slévatelnost, třecí vlastnosti, dobrá obrobitelnost) [1].

2.2.3 Litina s vermikulárním grafitem

Litina s vermikulárním grafitem má červíkovitou podobu grafitu a zaujímá místo mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Tento grafit se může vyskytnout při výrobě litiny s kuličkovým grafitem a to v případě, že není modifikace dostatečně účinná. K tomu může dojít, pokud se použije málo modifikační přísady. V současnosti je ale litina s vermikulárním grafitem cíleně vyráběný materiál. Vyrábí se buď přidáním malého obsahu modifikátoru, který není dostatečný

pro úplné vytvoření kuličkového grafitu, nebo se do kovu během modifikace přidá prvek, který zabrání vzniku kuličkového grafitu (titan). Tato litina není tak náchylná k tvorbě staženin a proto se odlívá podobným způsobem jako litina s lupínkovým grafitem [1].

V porovnání s litinou s lupínkovým grafitem má tato litina lepší pevnostní vlastnosti a mírně lepší tepelnou vodivost. Proto se litiny s červíkovitým grafitem používají na tepelně namáhané odlitky a především na odlitky vystavené změnám teploty. Jejich vlastnosti nezávisí tolik na obsahu uhlíku a přísad, ale na poměru feritu a perlitu v základní kovové hmotě a na množství grafitu kuličkového tvaru, který se zde také vyskytuje. Cílem je, aby červíkovitý grafit tvořil ve struktuře litiny minimálně 80 až 90 % grafitu [1].

2.2.4 Litina s vločkovým grafitem

Litina s vločkovým grafitem, nebo také temperovaná litina, je svým chemickým složením podeutektická bílá litina a veškerý uhlík je vázán ve formě cementitu. Po odlití má temperovaná litina světle lesknoucí se lom, je tvrdá, křehká a prakticky neobrobitelná. Teprve až po tepelném zpracování tzv. *temperování* dochází k vyloučení temperovaného uhlíku ve tvaru vloček a litina tak dostává své skutečné charakteristické vlastnosti (dobrou houževnatost a obrobitelnost). Kompaktnější tvar grafitu způsobuje menší vrubový účinek v matici a díky zvýšeným deformačním charakteristikám se temperovaná litina používá na dynamicky namáhané konstrukční součásti, které musí odolávat velkým silám. Mezi její zvláštní vlastnosti patří houževnatost, tlaková těsnost, žáruvzdornost, rozměrová přesnost, otěruvzdornost,... [1, 2]

Temperování je dlouhotrvající grafitizační žihání odlitků z bílé litiny, při němž se začíná rozpadat ledeburitický či perlitický cementit a vzniká vločkový grafit [2].

Temperovaná litina se dělí na 2 skupiny, které se liší hlavně svým chemickým složením [2]:

- temperovaná litina s bílým lomem (vzniká oduhličujícím postupem žihání a má světlou strukturu lomu),
- temperovaná litina s černým lomem (vzniká neoduhličujícím postupem a má tmavou lomovou plochu).

3 OBRÁBĚNÍ LITIN

Tématika této kapitoly je věnována obrábění litin. Obrobitelnost těchto materiálů závisí na mnoha faktorech a je velice ovlivňována mechanickými vlastnostmi jednotlivých druhů litin.

3.1 Obrobitelnost

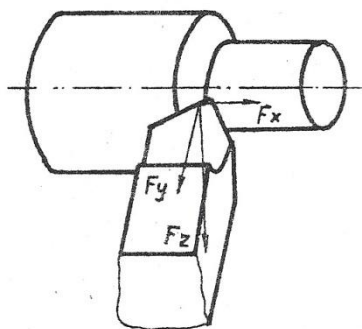
Pod pojmem obrobitelnost materiálu se rozumí souhrn vlastností materiálu, z hlediska vhodnosti pro výrobu součástí konkrétním způsobem obrábění. Myslí se tím, jak jednoduché, či obtížné je opracovávat obrobek při použití řezných nástrojů. Tak například uhlíková ocel střední jakosti se v porovnání s žárovevnou slitinou obrábí snadno. Při obrábění šedé litiny vzniká méně problémů, než při obrábění tvárné perliticko-feritické litiny, která je odlévána do kokil a ocel se sklony k „nalepování“ s nízkým obsahem uhlíku se obrábí hůře, než různé druhy legovaných ocelí. Obrobitelnost ale není obecně platnou definovanou standardizovanou vlastností, a to z důvodu různorodosti operací obrábění, vývoje a zlepšování řezných nástrojů. Z hlediska obrobitelnosti je velice důležité sestavit všechny vlastnosti materiálů a kritéria, které ovlivňují proces obrábění. Obrobitelnost materiálu určuje metalurgie, chemie a mechanika stejně jako tepelné zpracování, druh legujících přísad, vměstky a charakter povrchu materiálu obráběné součásti. Mezi důležité faktory dále patří kvalita břitu a držáku nástroje, obráběcí stroj a podmínky obrábění [3].

Pro uživatele nejsou důležité jen výborné znalosti vlastností obráběného materiálu, ale je nutné znát i prostředky a cesty, které umožní vyhodnocení faktorů určujících úspěšný průběh procesu obrábění. Často však existuje řada nadřazených priorit, mezi které patří např. náklady na jeden obrobek, požadavky na produktivitu práce, trvanlivost břitu, zaručující specifickou jakost obrobeného povrchu a spolehlivost obrábění. To jsou zásady pro vyhodnocení obrobitelnosti u individuálních koncepcí obrábění v závislosti na výrobě. Obrobitelnost je možné zlepšit větší kvalitou odlitků, použitím lepších materiálů, nebo také změnou řezných nástrojových materiálů, geometrie břitu, způsobu upnutí, řezné kapaliny,... [3]

3.1.1 Hlediska pro posuzování obrobitelnosti materiálů

Míru obrobitelnosti materiálu můžeme hodnotit dle následujících parametrů [7, 8]:

- Z **ekonomického hlediska** se obrobitelnost hodnotí objemem materiálu odřezaného za jednotku času při použití hospodárných řezných podmínek, při konstantním průřezu třísky a dohodnutých pracovních podmínkách. Tento objem je úměrný řezné rychlosti, která odpovídá hodnotě trvanlivosti. Řezná rychlost se pak stanovuje při zvolené trvanlivosti z jednoduchých vztahů. Jiným kritériem, které souvisí s ekonomickým hlediskem, je velikost energie potřebné pro odříznutí materiálu určitého průřezu danou řeznou rychlostí, nástrojem s danou geometrií břitu. Velikost energie se hodnotí velikostí tangenciální složky řezné síly (řezného odporu) F_z , popř. posuvové složky F_x , viz obr. 3.1.



Obr. 3.1 Znáornění řezných složek sil při soustružení [7].

- **Kvalitativním hodnocením** se posuzuje obrobiteľnosť z hľadiska jakosti opracovanej plochy dosažené pri obrábění zvolenými řeznými podmínkami. Výsledná drsnost obrobené plochy závisí na řezných podmínkách a materiálu obrobku.
- **Technologické hľadisko** souvisí s hodnocením objemového součinitele a obrobiteľnosť se posuzuje podle utváření třísek při obrábění. Objemový součinitel třísek W je objektivním kritériem pro tvar a stupeň drobení třísky. Je to poměr objemu volně ložených (odebraných) třísek za určitý čas V_t a objemu odebraného materiálu za určitý čas V_m , viz 3.1.

$$W = \frac{V_t}{V_m} \quad (3.1)$$

Mezi další, ale již méně významná, hľadiska by patřilo např. hľadisko podle stálosti rozměrů, teploty řezání,...

3.1.2 Hlavní činitelé ovlivňující obrobiteľnosť materiálů

Na obrobiteľnosť materiálů působí tyto činitelé [7]:

- mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu (tvrdost, pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tepelná vodivost,...),
- chemické složení,
- mikrostruktura materiálu (velikost zrn, vměstky,...),
- způsob výroby a tepelné zpracování,
- metoda obrábění,
- řezné prostředí,
- geometrie nástroje,
- nástrojový materiál.

Tyto faktory spolu navzájem souvisí a ovlivňují se.

3.2 Obrobiteľnosť litin

Obrobiteľnosť většiny druhů litin, které se používají při obrábění řeznými nástroji, se dá všeobecně označit jako dobrá. To, zda se litina opracovává dobře nebo

špatně, převážně závisí na druhu struktury litiny. V tomto pohledu hodnocení je tvrdší perlitická struktura litin méně vhodná k obrábění, než jiné druhy litiny. Litina s lupínkovým grafitem je materiál, který tvoří krátkou třísku na rozdíl od litiny temperované nebo litiny s kuličkovým grafitem, které vytvářejí třísky dlouhé. Všeobecně se dá říct, že s narůstajícím stupněm tvrdosti a pevnosti litiny se horší obrobiteľnosť a zkracuje trvanlivosť brúto nástroje [3].

Hůře se obrábí litiny s lepšími mechanickými vlastnostmi, které jsou upravovány buď již technologií lití, nebo přísadou legujících prvků či tepelným zpracováním. Tyto materiály se vyznačují podstatně lepšími vlastnostmi než běžné litiny a patří mezi ně např. litiny s vyššími mechanickými vlastnostmi, litiny odolné proti opotřebení nebo žáruvzdorné a korozivzdorné litiny. Všechny tyto litiny jsou z těžkoobrobiteľných materiálů a patří mezi nejhůře obrobiteľné materiály. Příčinou špatné obrobiteľnosti je nejen vysoká tvrdost (tvrdost karbidů přesahuje až 1000 HV), ale i silné abrazivní působení cementitu a jiných karbidů na brúto nástroje. Proto se u některých materiálů obrábění omezuje na minimum, např. pouze na úpravu ploch po nálitcích. Některé z těchto materiálů lze ke zlepšení obrobiteľnosti žíhat. Soustružení litinového obrobku nástrojem firmy Sandvik Coromant je znázorněno na obr. 3.2 [10].



Obr. 3.2 Soustružení litinového obrobku [9].

3.2.1 Vliv matrice na obrobiteľnosť litin

Obrobiteľnosť závisí veľkou mierou na mechanických vlastnostiach obráběného materiálu a veľký význam na obrobiteľnosti danej litiny má základná kovová hmota, teda matrice. Litiny s feritickou základnou fázou a malým, prípadne žiadnym obsahom perlitu, jsou obrobiteľné ľahko. Vyznačujú sa nízkou pevnosťou a tvrdosťou. A práve mäkkosť a vysoká ťažnosť feritu môžu mať za následok sklon k „nalepovaniu“ a pri nižších rezných rýchlostiach tak k vytváreniu nárastku na brúto. V prípade, že to umožní operácia obrábění, se dá tento problém eliminovať zvýšením rezných rýchlostí. Perlit má štruktúru stabilnejšiu, tvrdšiu a menej tvárnou než ferit. Jeho pevnosť a tvrdosť je tým väčšia, čím jemnejšia má perlit zrna a lamely. Tieto menšie karbidy ale nevyžadujú rezný materiál s väčšou odolnosťou proti opotrebeniu. Skôr vyžadujú houževnatý rezný materiál a to s ohľadom na sklony k nalepovaniu (vznik nárastku na brúto nástroje). Karbidy jsou veľmi tvrdé častice, bez ohľadu na to, jsou-li z čistého cementitu, alebo obsahujú-li ďalšie legujúce prvky. V tenkých vrstvách (čož je i prípad perlitu) lze cementit obrábět. Ve väčších častiach, pri náraste podílu voľných karbidů v základnej hmotě nad 5 %, však karbidy podstatne zhoršujú obrobiteľnosť. Karbidy se velmi často vyskytujú v tenkostěnných oblastiach a na

základě rychlého zpevňování i ve vystouplých částech nebo rozích odlitků. V těchto oblastech se pak vyskytuje jemná struktura [3].

3.2.2 Vliv prvků na obrobiteľnosť litin

Doprovodné prvky a chemické složení litin ovlivňuje jejich obrobiteľnosť podobně jako u ocelí [8]:

- **Uhlík** má vliv na obrobiteľnosť litiny nejen svým obsahem, ale také svým vlivem na mikrostrukturu, která je v porovnání s ocelí podstatně významnějším faktorem z hlediska obrobiteľnosti. V litinách se uhlík vyskytuje v několika formách a jejich vliv na mechanické vlastnosti a obrobiteľnosť byl popsán v předchozích kapitolách.
- **Křemík** patří mezi příměsi, které významně ovlivňují formy uhlíku v litině (podporuje vznik grafitu) a do obsahu 2,7 % obrobiteľnosť zlepšuje. Při vyšším obsahu ji však zhoršuje.
- **Fosfor** v litině tvoří sloučeninu steadit (Fe-C-P), která svou tvrdostí zhoršuje obrobiteľnosť litiny. Do obsahu 0,3 % steadit obrobiteľnosť příliš neovlivňuje, velmi značné zhoršení nastává při obsahu nad 5 %.
- **Síra** a **mangan** do obsahu 0,8 % vytvářejí sulfid manganu, který je rozptýlen ve feritu a zlepšuje obrobiteľnosť. Pokud se však obsah manganu dostane nad 0,8 %, dochází ke zhoršení obrobiteľnosti.
- **Hliník, titan** a **zirkon** jsou prvky, které jsou silně grafitizující, zpomalují vytvrzování odlitku při chladnutí a působí tak kladně na obrobiteľnosť.
- **Nikl** se rozpouští ve feritu, zvyšuje jeho pevnost a podporuje grafitizaci uhlíku. Do 2 % obsahu způsobuje stejnoměrnost struktury litiny a zlepšuje tak obrobiteľnosť. Při vyšším obsahu má na obrobiteľnosť negativní vliv, protože zvyšuje pevnost.
- **Chrom** tvoří v litině karbidy, čímž značně zhoršuje obrobiteľnosť.
- **Molybden** se rozpouští ve feritu a zvyšuje jeho tvrdost a pevnost. To má za následek negativní vliv na obrobiteľnosť litiny, která se zhoršuje úměrně obsahu molybdenu.
- **Wolfram** a **vanad** jsou prvky karbidotvorné a obrobiteľnosť zhoršují úměrně svému obsahu.

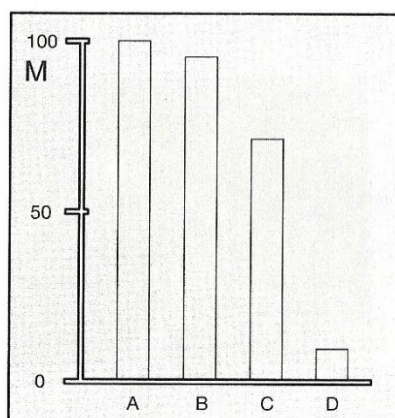
3.2.3 Obrobiteľnosť jednotlivých druhů litin

Rozdíly ve vlastnostech jednotlivých typů litin se logicky promítá i do obrobiteľnosti těchto materiálů. Porovnání relativní obrobiteľnosti je na obr. 3.3 [3, 9]:

- **Bílá (tvrzená) litina** je z hlediska obrábění díky obsahu cementitu specifická a vyžaduje úplně jiné rezné podmínky a geometrii břitu než jiné materiály. Dlouho bylo broušení dominantním způsobem obrábění. Velmi vysoká tvrdost a křehkost totiž dělali bílou litinu téměř neobrobiteľnou a teprve až vznik moderních soustružnických nástrojů výrazně zvýšil hospodárnost při obrábění tvrzené litiny za předpokladu dodržení stabilních podmínek. Obrobky válcovitých nebo podobných

tvary, vyrobené z bílé litiny, lze s výhodou obrábět kubickým nitridem bóru nebo řeznou keramikou při velmi nízkých řezných podmínkách.

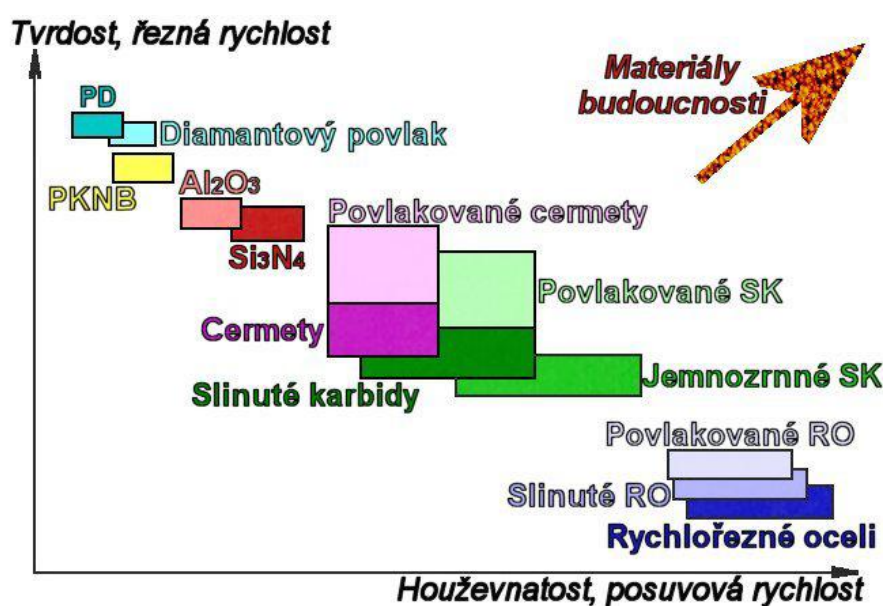
- **Litina s lupínkovým grafitem** se vyznačuje malou rázovou houževnatostí, při jejím obrábění vznikají malé řezné síly a obrobitelnost této litiny lze označit jako velmi dobrou. V průběhu obrábění nedochází k chemickému otěru a příčinou opotřebení je pouze abraze. Ve snaze zlepšit mechanické vlastnosti, je litina s lupínkovým grafitem často legována chromem, což vede ke snížení obrobitelnosti. Relativní obrobitelnost této litiny, v porovnání s dalšími druhy litin, lze porovnat na obr. 3.3.
- **Temperovaná litina** má ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem vyšší mez pevnosti v tahu a z pohledu obrobitelnosti má podobné vlastnosti jako litina s kuličkovým grafitem. Tento materiál se vyznačuje dobrou opracovatelností a obecně platí, že perlitická struktura litiny zvyšuje abrazivní opotřebení, zatímco feritická struktura adhezní.
- Pro **litinu s kuličkovým grafitem** je charakteristická tendence k vytváření nárůstku na břitu nástroje, která se projevuje ještě více u materiálů s větším podílem feritu. Při obrábění takovýchto litin a při přerušovaných řezech je dominantním mechanismem adhezní opotřebení. To může mít za následek problémy s odlupováním povlaku. U tvrdších materiálů, s větším podílem perlitu, jsou problémy s adhezí méně výrazné a mnohem více se vyskytuje abrazivní opotřebení a plastická deformace.
- **Litina s červíkovitým grafitem** se z pohledu obrobitelnosti nachází mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Mez pevnosti v tahu je až třikrát vyšší než u litiny s lupínkovým grafitem a menší tepelná vodivost má za následek vyšší řezné síly při obrábění a větší množství tepla v místě řezu.
- Při obrábění **ADI litiny** (izotermicky zušlechťená litina s kuličkovým grafitem) lze přepokládat snížení životnosti nástroje o 40-50 % v porovnání litinou s kuličkovým grafitem. Pevnost v tahu a tažnost se blíží oceli, ale utvářením třísky se ADI řadí mezi tvárné litiny. U vyšších tříd ADI litin mikrostruktura obsahuje tvrdé částice. Velké tepelné a mechanické zatížení, které jsou důsledkem vysoké pevnosti a tažnosti, vedou k opotřebení soustředující se do blízkosti řezné hrany a dochází tak k opotřebení na čele břitu. Během utváření třísky vzniká vysoký stupeň zpevnění a má za následek velké dynamické změny řezných sil. Hlavním určujícím faktorem pro velikost opotřebení je teplota v místě řezu.



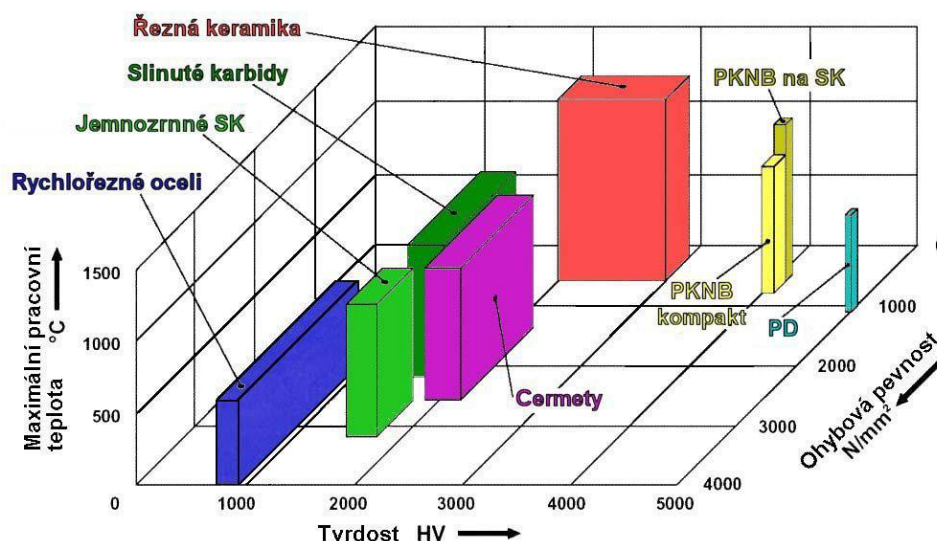
Obr. 3.3 Obecná relativní obrobiteľnosť (M) vybraných litin: (A) litina s lupínkovým grafitem, (B) temperovaná litina, (C) litina s kuličkovým grafitem a (D) tvrzená litina litá do kokily [3].

3.3 Základní přehled o nástrojových materiálech

Současný poměrně široký sortiment materiálů pro řezné nástroje je důsledkem celosvětového dlouholetého a intenzivního výzkumu a vývoje v dané oblasti. A souvisí také s rozvojem konstrukčních materiálů určených pro obrábění, s vývojem nových obráběcích strojů, zejména pak CNC strojů a obráběcích center. Na obr. 3.4 jsou schematicky znázorněny hlavní oblasti aplikace současných nástrojových materiálů, které jsou vyjádřené vztahem mezi základními řeznými podmínkami (řezná rychlost – posuvová rychlost). Tento vztah odpovídá i vztahu mezi jejich základními vlastnostmi (tvrdost – houževnatost). Konkrétní hodnoty vybraných vlastností nástrojových materiálů (maximální pracovní teplota, tvrdost, ohybová pevnost) jsou znázorněny na obr. 3.5 [11].



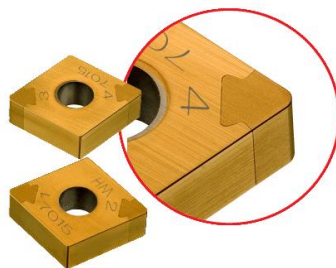
Obr. 3.4 Oblasti použití řezných materiálů [11].



Obr. 3.5 Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [11].

3.3.1 Supertvrde materiály

Pod všeobecný název supertvrde materiály lze zahrnout dva synteticky vyrobené materiály a to polykrystalický diamant – PCD a polykrystalický kubický nitrid boru – CBN. Tyto materiály se odlišují od ostatních svými vlastnostmi a cenou, a proto mají zcela specifické použití. Vyznačují se především velmi vysokou tvrdostí a ořezuvzdorností, čímž výrazně převyšují dosud používané nástrojové materiály jako slinuté karbidy nebo řeznou keramiku. Polykrystalický diamant lze použít při obrábění vláknově vyztužených kompozitů a hlavně hliníkových slitin (se zvýšeným obsahem křemíku), kde lze aplikovat velké řezné rychlosti až do hodnoty 5000 m/min. Vedle toho lze PCD využít také pro velmi jemné dokončovací operace v titanu. Polykrystalický kubický nitrid boru je používán při obrábění tvrdých, kalených materiálů, jejichž tvrdost je minimálně 45 HRC. Nad hodnotu 55 HRC je CBN jediným nástrojovým materiálem, který může nahradit tradičně používané metody broušení. Vyznačuje se mimořádně vysokou tvrdostí za tepla, velmi dobrou houževnatostí a odolností proti tepelným rázům. Břitová destička (viz obr. 3.6) je tvořena hrotem ze supertvrdeho materiálu připájeného na nosič ze slinutého karbidu, viz obr. 3.6 [9, 18].



Obr. 3.6 Břitová destička s hrotem z polykrystalického kubického nitridu boru [9].

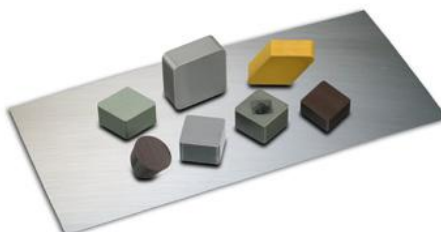
3.3.2 Řezná keramika

Keramika je převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Veškeré nástroje, které využívají řeznou keramiku, se vyznačují mimořádnou odolností proti ořezu při vysokých řezných

rychlostech. Řezné keramiky (obr. 3.7) existuje celá řada tříd, které jsou vhodné pro širokou oblast aplikací. Keramické materiály, používané pro výrobu břitových destiček, se dělí následovně [9, 18]:

- oxidická keramika – může být čistá (čistý Al_2O_3), polosměsná ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2+\text{CoO}$), směsná ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2+\text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}+\text{TiN}$),
- nitridová (Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{TiN}$, sialony),
- vyztužená (oxidická nebo nitridová keramika vyztužená pomocí whiskerů SiC nebo Si_3N_4).

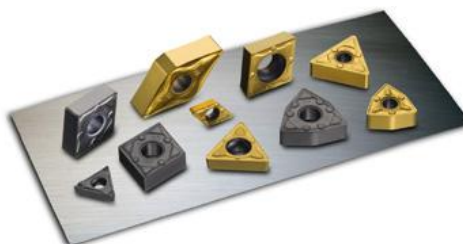
Keramika na bázi Al_2O_3 se používá při obrábění vysokou řeznou a nízkou posuvovou rychlostí, protože se vyznačuje vysokou tvrdostí za tepla a termochemickou stabilitou, ale nízkou houževnatostí. Přísada oxidu zirkoničitého (ZrO_2) zde brání vzniku a šíření trhlin. Směsná keramika je vyztužena kubickými karbidy nebo karbonitridy, tím je zlepšena houževnatost a tepelná vodivost. Keramika z nitridu křemíku (Si_3N_4) se vyznačuje vysokou houževnatostí a je velmi vhodná na obrábění litiny. Keramika vyztužená whiskery (whiskery karbidu křemíku SiC_w) má razantní nárůst houževnatosti a umožňuje použití řezné kapaliny [9, 18].



Obr. 3.7 Břitové destičky z řezné keramiky [9].

3.3.3 Cermety

Jedná se o materiály, které svými vlastnostmi leží mezi keramikou a slinutými karbidy. Jejich charakteristickou vlastností je vysoká tvrdost, nízká měrná hmotnost, dobrá odolnost proti otěru a menší tendence k ulpívání materiálu na břitu v porovnání s běžnými slinutými karbidy. Za účelem zvýšení otěruvzdornosti je také možné cermety povlakovat. Nevýhodou je nižší houževnatost a tepelná vodivost, která při vysokých řezných rychlostech způsobuje vyšší koncentraci tepla v oblasti špičky nástroje. Použití cermetů (obr. 3.8) je vhodné v případech, kde dochází k ulpívání materiálu na břitu nástroje a kde činí problémy tvorba nárůstku. Jejich typický způsob opotřebení se samoostřící schopností umožňuje udržovat malé řezné síly po dlouhé časy v řezu [9, 18].



Obr. 3.8 Cermetové břitové destičky [9].

3.3.4 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou dnes nejpoužívanější materiály na výrobu řezných nástrojů, které jsou vyráběné práškovou metalurgií. Jsou směsí částic karbidu wolframu (WC) a kovového pojiva bohatého na kobalt. Jedná se o nejpevnější materiál mezi tvrdými nástrojovými materiály a lze je použít k obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy. Vzhledem k jejich nízké termomechanické stabilitě však nemohou být použity při vysokých řezných rychlostech. Současné standardní slinuté karbidy jsou rozděleny na základě jejich užití pro různé materiály do šesti základních skupin: **P** (barva značení modrá), **M** (žlutá) a **K** (červená), **N** (zelená), **S** (hnědá), **H** (šedá), (viz příloha 1) [9, 18].



Obr. 3.9 Břítové destičky z povlakovaného slinutého karbidu [9].

Povlakované slinuté karbidy (obr. 3.9) jsou kombinací slinutého karbidu s povlakem a společně tvoří třídu přizpůsobenou pro daný typ aplikace. Jejich hojně využití je dáno především unikátní kombinací odolnosti proti opotřebení, houževnatosti a také schopnosti nechat se formovat do složitých tvarů. Tyto karbidy jsou vyráběny tak, že se na podkladový materiál (slinutý karbid) nanáší tenká vrstva materiálu (nitridy, karbidy, oxidy a jejich kombinace) s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Tyto vlastnosti povlakového materiálu vyplývají z toho, že neobsahuje žádné pojivo, má i o několik řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů (póry, dutiny). Navíc působí jako bariéra proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Výsledkem povlakování slinutých karbidů je větší výkon obrábění díky vyšším rychlostem. Vlivem povlaku také dochází k menšímu tření mezi nástrojem a obrobkem, čímž dochází ke snížení teploty v místě řezu a snížení velikosti řezných sil. Podle principu se metody povlakování dělí do dvou základních skupin: CVD a PVD [9, 18].

3.3.5 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli mají sice v porovnání s ostatními nástrojovými materiály největší houževnatost, ale jejich tvrdost je poměrně nízká. Proto jsou z nich vyráběny nástroje, které jsou určeny pro obrábění nízkými řeznými rychlostmi a pro tvarově složitě nástroje, které by nemohly být vyrobeny z jiných nástrojových materiálů [11].

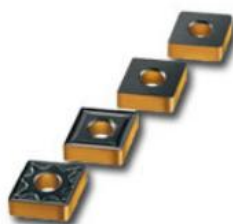
3.3.6 Stellity

Stellity jsou slitiny, jejichž tvrdost a řezivost je určována velkým množstvím karbidů (karbidy chromu a wolframu). Obsahují 2 až 4 % C, 20 až 40 % Cr, 10 až 30 % W, 30 až 55 % Co a pak menší množství niklu, molybdenu, ... Železa by ve stellitech

nemělo být víc jak 10 % a jeho přítomnost se bere jako nečistota. Tyto materiály jsou křehké, nekujné a běžnými nástroji neobrobitelné. Neprovádí se u nich ani tepelné zpracování. Nástroje ze stelitů jsou odlévány, a to buď vcelku, nebo jako břitové destičky. Po odlití jsou pouze přebroušeny [19].

3.4 Nástrojové materiály používané při obrábění litin

Nejpoužívanějším nástrojovým materiálem na obrábění litinových materiálů jsou slinuté karbidy (obr. 3.10). Při volbě nástroje a řezných podmínek je velice důležitá správná identifikace obráběného materiálu. A proto se pro zjednodušení, v souladu s normou ISO 513, rozdělují materiály do šesti základních skupin, ve kterých jsou sdružovány materiály vyvolávající stejné namáhání břitu nástroje. Litiny jsou obráběné slinutými karbidy skupiny **K** (označené červenou barvou), která je určená pro litinu s lupínkovým i kuličkovým grafitem a temperovanou litinu (viz příloha 1). Nástroje vyrobené ze slinutých karbidů jsou velice často povlakovány k získání lepších řezných vlastností. Pro obrábění litinových materiálů existuje široké spektrum těchto povlaků, které mají specifické vlastnosti. Liší se pro každý typ obrábění a záleží i na typu operace daného obrábění (hrubování, dokončování) a druhu obráběné litiny. Mezi výrobce břitových destiček ze slinutých karbidů patří např. Pramet Tools s.r.o., nebo Sandvik Coromant, který nabízí několik základních a doplňkových tříd povlakovaných slinutých karbidů na každý typ obrábění (viz příloha 2) [13].



Obr. 3.10 Břitové destičky na obrábění litiny firmy Walter AG [17].

Další možností při obrábění litiny jsou cermety. Ty je možné použít při obrábění všech materiálů na bázi železa a při obrábění litin mají především uplatnění při dokončování litiny s kuličkovým grafitem. Poměrně velký význam při obrábění litinových materiálů má keramika. Zvláště pak keramika směsná, která je vhodná pro obrábění litiny s lupínkovým a kuličkovým grafitem i temperované litiny. A hlavně keramika nitridová (na bázi Si_3N_4), která je zvláště vhodná pro obrábění všech druhů litin. Navíc se jedná o materiál nejvhodnější pro hrubování s velkým objemem odebíraného materiálu. Na dokončovací operace je zase výhodnější použití řezné keramiky na bázi Al_2O_3 [9], [14].

Na obrábění litin je možné použít i supertvrdé materiály, tedy polykrystalický diamant (PCD) a polykrystalický kubický nitrid boru (CBN). I když se zde vyskytuje jeden problém, kvůli kterému je obrábění litiny polykrystalickým diamantem poměrně složité. Z důvodu vysoké afinity a malé chemické stability za zvýšených teplot, je tento materiál málo vhodný k obrábění ocelí a litin. Při vyšších teplotách (nad $800\text{ }^\circ\text{C}$) se diamant mění na grafit a při obrábění materiálů na bázi železa dochází při ohřevu nad tuto teplotu k silné difúzi mezi nástrojem a obráběným materiálem. Za určitých podmínek ale lze dnes litinu pomocí PCD obrábět. Podmínkou je, že se teplota diamantového nástroje v řezu udrží pod kritickou

hodnotou a nedojde tak ke grafitizaci. Zajistit takový průběh procesu řezání vyžaduje jak určité úpravy nástroje (speciální příprava břítu), tak přesně řízené chlazení a správnou volbu rezných podmínek. To umožní zachovat a využít hlavní přednosti PCD, zejména vynikající tvrdost, v procesu řezání. CBN se vyznačuje velmi vysokou tvrdostí a používá se při obrábění kalených materiálů. Výborných výsledků dosahuje i při obrábění litin a umožňuje použití pro vysokorychlostní hrubování šedé litiny při soustružnických i frézovacích operacích. S výhodou lze tímto materiálem obrábět i tvrzenou litinu, kde nahrazuje operace broušení [9], [12], [18].

3.5 Opotřebenění břítu nástroje

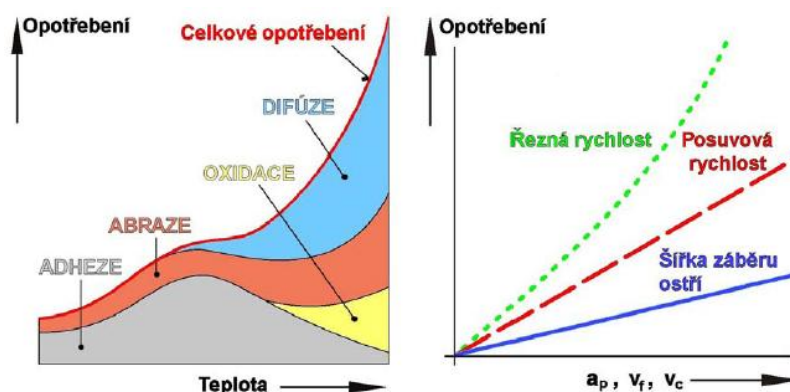
Opotřebenění nástroje je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou v kontaktu a relativním pohybu. Při obrábění dochází k relativnímu pohybu mezi nástrojem a obrobkem a nástrojem a třískou. Navíc zde dochází ke kontaktu nástroje s obrobkem (na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje) a odcházející třískou (na čele nástroje), což vede k opotřebenění břítu nástroje. K procesu opotřebenění nástroje je třeba přistupovat z odlišných pozic, jelikož podmínky práce rezného nástroje se zásadně liší od podmínek práce běžných strojních součástí. Jedná se o velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech (fyzikální a především mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu, druh obráběcí operace, geometrie nástroje, rezné prostředí, pracovní podmínky,...) a v jehož průběhu působí mnoho odlišných jevů, tzv. mechanismů opotřebenění [11].

3.5.1 Mechanizmy opotřebenění

Základní mechanizmy opotřebenění jsou následující [9, 11]:

- **abraze** – brusný otěr vlivem tvrdých částic z obráběného materiálu a materiálu nástroje, jde o nejčastější a preferovaný způsob opotřebenění, jelikož umožňuje dosažení předvídatelné a stabilní životnosti nástroje,
- **adheze** – vznik a následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky vlivem vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti,...
- **difúze** – migrace atomů z obráběného materiálu do nástrojového a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje, účinek se zesiluje s rostoucí reznou rychlostí,
- **oxidace** – vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje vlivem přítomnosti kyslíku v okolním prostředí,
- **plastická deformace** – projevuje se v okamžiku změknutí materiálu nástroje (důsledkem vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase), plastická deformace se může projevit až tzv. lavinovým opotřebením,
- **křehký lom** – vznik vlivem vysokého mechanického zatížení, které může být způsobeno celou řadou faktorů (přerušovaným řezem, nehomogenitou a vměstky v obráběném materiálu, vysokou hodnotou posuvu nebo hloubky řezu, atd.).

Vedle těchto základních mechanismů jsou uváděny ještě další: mechanická únava, tepelná únava, delaminační opotřebení (odlupování tenkých vrstev z povrchu nástroje), termoelektrické opotřebení (odstraňování elektricky vodivého materiálu z funkčních povrchů), rozpouštění nástrojového materiálu, elektrochemické opotřebení (výměna iontů mezi nástrojem a obrobkem) [11].



Obr. 3.11 Vliv teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení a vliv řezných podmínek na opotřebení nástroje [11].

Abraze a adheze patří mezi fyzikální mechanismy opotřebení, zatímco difúze a oxidace jsou mechanismy chemické. Všechny ale působí v průběhu času plynule, i když časový okamžik začátku jejich působení nemusí být shodný. Plastická deformace a křehký lom jsou zase mechanismy, které působí náhle a obvykle způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje (lavinové opotřebení, ulomení špičky nástroje,...). Plynule působící základní mechanismy mají různý podíl na celkovém opotřebení, který se mění s narůstající teplotou. Z řezných podmínek má na intenzitu celkového opotřebení největší vliv řezná rychlost v_c , menší vliv má posuvová rychlost v_f a šířka záběru ostří a_p (viz obr. 3.11) [11].

3.5.2 Formy opotřebení

Jednotlivé formy opotřebení břitu nástroje a jejich zobrazení jsou v příloze 3 [9].

3.5.3 Opotřebení při obrábění litin

Opotřebení břitu nástroje při obrábění litin lze popsat na břitových destičkách ze slinutých karbidů, které jsou nejpoužívanějším materiálem při obrábění litin. Mezi hlavní mechanismy při obrábění těchto materiálů patří opotřebení abrazivní, adhezní a také difúzní. Abrazivní účinek jednotlivých strukturních složek litiny je různý a příčinou tohoto opotřebení mohou být např. vměstky nebo karbidy. Často je za abrazivní strukturní složku považován cementit, ale s ohledem na to, že tvrdost cementitu (Fe_3C) je až několikrát menší než tvrdost běžných strukturních složek slinutého karbidu, je to nepravděpodobné. Významnější roli však abraze může hrát při obrábění legovaných litin, které obsahují karbidotvorné legury, jako je chrom, wolfram, molybden a vanad. Při vyšším obsahu uhlíku se mohou ve struktuře objevovat volné karbidy těchto prvků a jejich tvrdost již dosahuje tvrdosti strukturních složek slinutých karbidů a jejich povlaků. Při obrábění litiny hraje významnou roli opotřebení adhezní. Vzniká zde totiž tříška, která vykazuje minimální plastickou deformaci. V kontaktní ploše čelo – tříška nedochází ke vzniku vnitřního tření, a proto je zde řezná teplota podstatně nižší. To umožňuje vznik adhezního opotřebení s tvorbou nárůstků na břitu, které vzniká při nižších

řezných rychlostech a nižších teplotách. Tento problém se týká především litin s feritickou maticí, které mají sklon k nalepování, a eliminovat ho lze vyššími řeznými rychlostmi. Na řezné teplotě závisí také difúzní opotřebení. Je to však případ, kdy dochází k chemické reakci mezi obrobkem a nástrojem za vysokých teplot, tedy při vyšších řezných rychlostech. Lze se s tímto problémem setkat hlavně při obrábění litin s vyšší pevností a výhodnou možností, jak se mu vyhnout, je využití řezné keramiky, která se vyznačuje svou termochemickou stabilitou [15, 18].

3.6 Řezné prostředí

Prostředí, v němž probíhá proces obrábění, ovlivňuje svými vlastnostmi ve větší či menší míře ekonomické i kvalitativní výsledky obrábění. Řezné prostředí může být tvořeno např. pastami, kapalinami, plyny či mlhami a každé z těchto druhů prostředí působí chladicím (ke snížení teploty obrábění), mazacím (ke snížení tření na stykových místech bříty) a čisticím účinkem (k odstraňování třísek z místa řezu). K dalším požadavkům na tato řezná média patří např. ochranný účinek, provozní stálost, zdravotní nezávadnost,... [8]

3.6.1 Procesní kapaliny

Procesní kapaliny lze rozčlenit na kapaliny s převažujícím chladicím nebo mazacím účinkem. Toto rozdělení však již přesně nevystihuje dnešní sortiment řezných kapalin na trhu. Stále více se totiž projevuje snaha zvýšit mazací účinky i u kapalin s převážně chladicím účinkem a dnešní moderní druhy řezných kapalin tento požadavek plní. Tím je prakticky rozdíl mezi oběma skupinami kapalin stírán [11].

Procesní kapaliny se dále dělí na [11]:

- Nejjednoduššími a tím pádem i nejlevnějšími procesními kapalinami jsou **vodní roztoky**. Jejich základem je voda, která je dále upravována – změkčována a jsou přidávány přísady proti korozi, pěnivosti a pro lepší smáčivost. Tyto roztoky mají velmi dobré chladicí a čisticí účinek, ale téměř žádný účinek mazací.
- **Emulzní kapaliny** tvoří dvě vzájemně nerozpustné kapaliny, kdy jedna tvoří mikroskopické kapky rozptýlené v kapalině druhé (olej ve vodě). To je umožněno tzv. emulgátorem, který zmenšuje mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizuje emulzi a zabraňuje koagulaci rozptýlených částic. Emulzní kapaliny do určité míry spojují přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek závisí na koncentraci emulze a s jejím nárůstem klesá. Schopnost ochrany proti korozi zase závisí na hodnotě pH emulze. Emulzní kapaliny jsou nejčastěji používanými řeznými kapalinami a tvoří asi 80 % jejich celkového objemu.
- **Zušlechtěné řezné oleje** jsou kapaliny na bázi minerálních olejů. Mezi jejich přísady patří mastné látky (zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery), které zvyšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují jeho mazací účinek, ne však za extrémních tlaků. Dále pak organické sloučeniny na bázi síry, chloru, nebo fosforu. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady, které na povrchu předmětů vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňuje svařování

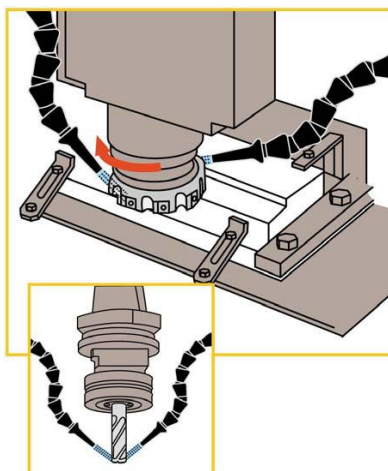
a usnadňuje kluzný pohyb troucích se ploch. Poslední přísadou jsou pevná maziva, která při řezání navíc působí mechanickým účinkem. Díky své afinitě ke kovu vytvářejí mezní vrstvu odolnou proti tlakům a také zlepšují mazací schopnosti oleje.

- **Syntetické a polosyntetické kapaliny** se vyznačují velkou provozní stálostí, jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Syntetické kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel – glykolů, které se ve vodě buď rozpustí, nebo emulgují. Do těchto kapalin je také možné rozptýlit oleje, čímž vzniknou polosyntetické řezné kapaliny, ve kterých jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích a mají ještě příznivější mazací schopnosti.

3.6.2 Přívod procesní kapaliny do místa řezu

Způsob přívodu procesní kapaliny do místa řezu podstatně ovlivňuje parametry řezného procesu a jednotlivé způsoby jsou následující [11]:

- **Standardní chlazení** nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí se zařízením, které dodává výrobce obráběcího stroje. Zařízení je tvořeno nádrží na procesní kapalinu, čerpadlem a potrubím.
- **Tlakové chlazení** zase představuje případ, kdy je kapalina do místa řezu přiváděna pod vysokým tlakem (0,3÷3,0 MPa) tryskou jejíž průměr bývá 0,3÷1,0 mm. Kapalina se přivádí na břit nástroje zespodu, přímo do místa řezu. Tlakové chlazení se používá v případech, kde vzniklé teplo negativně ovlivňuje trvanlivost nástroje. Nevýhodou tohoto chlazení je rozstřík kapaliny, který tvoří mlhu, a proto je nutné uzavřít pracovní prostor stroje, aby nedocházelo ke znečišťování pracovního prostředí.
- Ke zvýšení trvanlivost nástrojů přispívá i **podchlazování procesní kapaliny** na teplotu nižší než je teplota okolí. Při zachování mazacích vlastností mohou být běžné druhy procesních kapalin podchlazeny na 5÷7 °C, oleje na 15÷20 °C. Větší podchlazení je omezeno stálostí řezné kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů. Při použití kapaliny speciálního složení je možné snížit teplotu pod bod mrazu, což může přinést další zvýšení výkonu obrábění.
- Při **chlazení řeznou mlhou** (viz obr. 3.12) je řezná kapalina rozptýlena tlakem vzduchu vytékajícího z trysky a nasměrována přímo na řeznou část nástroje před jeho najetím do řezu. Rozpínající se vzduch obsahuje částičky řezné kapaliny, má tak větší schopnost přejímat vzniklé teplo, a tím se dosahuje velmi dobrého odvodu tepla z místa řezu.



Obr. 3.12 Chlazení mlhou při frézování [11].

- Výrazné zvýšení výkonu obrábění přináší **vnitřní chlazení**, které je vhodné pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Při vrtání je tento způsob chlazení využíván jak u nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami, tak u monolitních šroubovitých vrtáků a procesní kapalina je zde přiváděna centrálními otvory v tělese nástroje až do místa řezu. Využití tohoto chlazení je i při vrtání hlubokých děr a těžkoobrobitelných materiálů. Zvýšení tlaku procesní kapaliny pak vede ke zvýšení výkonu obrábění a lepšímu odvodu třísek. Nástroje s vnitřním chlazením jsou znázorněny na obr. 3.13.



Obr. 3.13 Vrtáky s vnitřním chlazením firmy Iscar LTD.
a) jednoduší karbidový, b) s vyměnitelnými destičkami [16].

3.6.3 Plyné řezné prostředí

Plyny se jako řezná média používají velice málo. Mají totiž relativně nízký chladicí účinek, problematický čistící a žádný mazací účinek. Některé materiály se však chladí vzduchem přiváděným pod tlakem do místa řezu. Tento způsob chlazení byl používán také u prvních nástrojů ze slinutých karbidů a řezné keramiky, než rozvoj technologie výroby umožnil výrobcům nástrojů doporučovat pro tyto materiály i použití řezných kapalin. Mezi účinné způsoby chlazení plynem patří např. chlazení stlačeným CO_2 , kdy se tenký paprsek plynu přivádí pod tlakem $0,5\div 7,0$ MPa do místa řezu. Tato metoda je používána především u obrábění těžkoobrobitelných materiálů, ale má řadu nevýhod. Mezi ně patří nutnost dokonalého odsávání a větrání pracoviště, nebezpečí při jeho používání a také vysoké náklady na CO_2 . Zvláštním případem je pak tzv. suché obrábění, kdy

řezným prostředím je atmosférický vzduch. Tento způsob souvisí s vývojem nových řezných materiálů, které nevyžadují chlazení [11].

3.7 Chlazení při obrábění litiny

Šedá litina patří mezi křehké materiály a jeho obráběním dochází k tvorbě pouze krátké drobné třísky. Tento fakt komplikuje chlazení procesní kapalinou kvůli potížím při odplavení krátkých třísek z místa řezu. Konvenční způsob obrábění litiny proto představuje obrábění za sucha. Ale i zde lze použít procesní kapaliny a k dispozici jsou třídy nástrojů, které tento způsob chlazení umožňují. V tomto případě však nejde ani tak o zlepšení procesu řezání, jako o zamezení, nebo snížení znečištění prachovými částicemi uhlíku a železa [9, 19].

3.8 Obráběcí stroje

Obráběcí stroje patří mezi základní prvky obráběcího systému (stroj-nástroj-obrobek), ve kterém se uskutečňuje samotný obráběcí proces. Významný vliv na výsledný efekt obráběcího procesu, jak z hlediska hospodárnosti, tak i z hlediska parametrů obrobené plochy, mají technologické vlastnosti obráběcích strojů. Technologická hlediska, podle kterých lze obráběcí stroje charakterizovat, mohou být např. **způsob obrábění** (soustružnické, vyvrtávací, frézovací, hoblovací, protahovací, brousící, elektroerozivní, atd.), **konstrukčně-technologické provedení** (univerzální, speciální, jednoúčelové), **stupeň mechanizace a automatizace** (ručně ovládané, poloautomatické, automatické), **velikost**,... [11]

Následující podkapitoly uvedou stručný přehled typů obráběcích strojů pro základní metody obrábění. Obrázky vybraných typů strojů jsou v příloze 4.

3.8.1 Soustružnické stroje

Soustruhy představují největší podíl strojírenské obráběcí techniky a v obráběcích provozech strojírenských podniků se vyskytují ve velkém počtu typů a různých stupních automatizace. Z konstrukčně technologického hlediska se soustruhy rozlišují na svislé, čelní, revolverové a speciální (např. podsoustružovací). **Hrotové soustruhy** se uplatňují v kusové a malosériové výrobě a především jsou používány při soustružení hřídelových a přírubových součástí rozličných rozměrů a tvarů bez náročného seřizování stroje. Jsou vyráběny jako soustruhy hrotové univerzální a jednoduché (produkční). **Svislé soustruhy** (nebo také karusely) jsou vyráběny ve dvou variantách, jednostojanové (malé, do průměru stolu 1200 mm) a dvoustojanové (velké, do průměru stolu 18000 mm). Tyto soustruhy jsou používány v kusové, malosériové a některé typy i v sériové výrobě. Jsou na nich soustruženy střední a velké rotační součásti s malým poměrem délky k průměru. **Čelní soustruhy** jsou využívány při obrábění deskovitých součástí velmi velkého průměru. **Revolverové soustruhy** jsou především určeny pro výrobu součástí v menších a středních sériích, kde je k obrobení vyžadován větší počet nástrojů. Nástroje se zde upínají v držácích pro jeden nebo více nástrojů do upínacích otvorů revolverové hlavy a obrobky se obrábějí při jednom upnutí postupně více nástroji v jednotlivých polohách revolverové hlavy a nástroji upnutými na suportu. Jedná se hlavně o nástroje pro obrábění válcových povrchů a děr. **Vícevřetenové automatické soustruhy** slouží pro výrobu součástí z tyčového materiálu a polotovarů ze zásobníku. A to především ve velkosériových a hromadných výrobcích. Vysoká produktivita se dosahuje automatizací pracovního cyklu stroje

a současným obráběním na několika vřetenech. **Soustružnická obráběcí centra** s horizontální osou vřetena jsou stroje s hlavním obrobkovým vřetenem, obrobkovým protivřetenem a dvěma nástrojovými suporty. Jsou to stroje pro obrábění přírubových nebo hřídelových rotačních součástí s přídavnými nerotačními a nesouose rotačními plochami. Často jsou také vybaveny zařízením pro manipulaci s obrobkem [20].

3.8.2 Frézovací stroje

Frézky jsou vyráběny ve velkém počtu modelů a velikostí, často s rozsáhlým zvláštním příslušenstvím. Lze je rozdělit na frézky konzolové, stolové, rovinné a speciální. Velikost frézky je pak dána šířkou upínací plochy stolu a velikostí kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. Dalšími parametry jsou maximální délka pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku, rozsah otáček vřetena a posuvů, výkon elektromotoru a kvalitativní parametry obrobených ploch [20].

Konzolové frézky se vyznačují výškově přestavitelnou konzolou, která se pohybuje po vedení stojanu. Na ní je pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem. Konzolové frézky jsou vhodné pro frézování rovinných a tvarových ploch u menších a středně velkých obrobků v kusové a malosériové výrobě. Dělí se na frézky vodorovné (horizontální), svislé (vertikální) a univerzální. **Stolové frézky** mají také podélný a příčný stůl, ale ten se nenachází na svisle přesuvné konzole. Je přímo na základně stroje a nastavení nástroje vůči obrobku ve svislém směru je zajišťován posunem vřeteníku po vedení stojanu. Stolové frézky jsou v provedení svislém i vodorovném a lze na nich kvalitně a produktivně obrábět i rozměrnější a těžší součásti. **Rovinné frézky** patří mezi nejvýkonnější frézky. Vyznačují se robustní konstrukcí, umožňují obrábět těžké a rozměrné obrobky, a své uplatnění mají v kusové i sériové výrobě. Používají se při obrábění vodorovných, svislých i šikmých ploch, frézování úzkých ploch a drážek. Mezi **speciální frézky** patří např. starší typy frézek na drážky, vačky nebo závity a také frézky na výrobu ozubení (odvalovací frézky na výrobu ozubení čelních kol,...). **Frézovací obráběcí centra** s horizontální osou vřetena jsou tří- až pětiosé stroje pro obrábění nerotačních obrobků. Jsou složeny z nástrojové části se třemi navzájem kolmými řízenými osami X, Y a Z a obrobkové části se dvěma rotačními osami A a B. Obrobková část je stavebnicově proměnná a její variabilita umožňuje např. stavbu stroje s pevnou upínací deskou pro těžké a rozměrné obrobky, nebo stroje s otočným stolem či pětiosého stroje. Frézovací centra s vertikální osou vřetena jsou tří- až pětiosé stroje. Vřeteno se třemi řízenými osami (X, Y, Z) je zde na pojízdném portálu (mohou být řízené dvě osy – X, Z a v obrobkové části pak řízené osy Y, A a C). Obrobková část je opět proměnná a může mít prostý pevný stůl, otočný „dvojestůl“, stůl s otočnými vícenásobnými upínači, nebo otočný a sklopný stůl pro pětiosé obrábění [20].

3.8.3 Vrtačky

Vrtačky lze podle konstrukce rozdělit na ruční, stolní, sloupové, stojanové, otočné, vodorovné na hluboké díry a speciální. Jejich velikost se posuzuje podle maximálního průměru díry, kterou je možné na dané vrtačce vrtat zcela do oceli střední pevnosti [20].

Stolní vrtačky se vyznačují velmi jednoduchou konstrukcí. Vřeteník, který nese motor, se posouvá po krátkém sloupu a snadno se tak nastavuje jeho výška vůči

pracovnímu stolu. Otáčky vřetena se mění ručním přemísťováním klínového řemenu na stupňovité řemenici. Posuv vřetene je obvykle ruční. Základním konstrukčním prvkem **sloupových vrtaček** je sloup, po kterém se posouvá vřeteník i pracovní stůl. Otáčky vřetena se stupňovitě regulují pomocí převodovky a posuv je mechanický. **Stojanové vrtačky** se liší tím, že pracovní stůl i vřeteník se posouvají po vedení stojanu, jenž má skříňovitý průřez. Při vrtání děr do těžších a větších obrobků se používají **otočné vrtačky**. Jejich součástí je rameno, na němž se pohybuje ve vodorovném směru pracovní vřeteník. Rameno se většinou pohybuje svisle po vedení stojanu skříňovitého průřezu, který je uložen otočně na vnitřním sloupu. Zvláštním provedením otočných vrtaček jsou **vrtačky montážní**. Tyto vrtačky jsou přenosné a používají se v montážních dílnách. **Speciální vrtačky** jsou používány na specializované vrtací operace a lze sem zařadit vrtačky na hluboké díry, souřadnicové vrtačky, vícevřetenové vrtačky, stavebnicové vrtačky s vrtacími hlavami atd. [20]

4 DISKUZE

Tato práce se zabývá třískovým obráběním litin, jako jednou z možných výrobních technologií a přináší stručný průřez danou problematikou a zhodnocení obrobitelnosti zvoleného materiálu.

Obráběným materiálem jsou v tomto případě litiny. Jedná se o slitiny železa s obsahem uhlíku vyšším než 2,14 hmotnostních % a právě obsah uhlíku, forma v jaké se v dané litině vyskytuje či přítomnost dalších legujících prvků mají zásadní vliv na mechanické vlastnosti litin.

Litiny tak lze rozdělit na litinu bílou, která vzniká při rychlém ochlazování, kdy se začne tvořit metastabilní eutektikum. Taková litina obsahuje veškerý uhlík ve formě cementitu a vyznačuje se velkou tvrdostí. V případě pomalého ochlazování vzniká eutektikum grafitové a dochází k tvorbě litiny grafitické. V těchto litinách je uhlík vyloučen jako grafit, který se může vyskytovat v několika formách. Při krystalizaci z taveniny vzniká grafit lupínkový mající nízké mechanické vlastnosti. Vhodnými úpravami (modifikování) lupínkového grafitu vzniká grafit kuličkový vyznačující se dobrými mechanickými vlastnostmi. Dalším typem grafitu je červíkovitý, který tvoří přechod mezi grafitem lupínkovým a kuličkovým a grafit vločkový, který vzniká temperováním bílé litiny.

Již z tohoto krátkého shrnutí je zřejmé, že stejně tak jako jsou odlišné mechanické vlastnosti jednotlivých druhů litin, bude odlišná i obrobitelnost, která z těchto vlastností nepochybně vychází. Nelze tudíž obrobitelnost litin hodnotit jako celek, ale pro každý typ samostatně.

Této teorii litin a obrobitelnosti litin se také věnuje podstatná část této práce. Obrobitelnost je nejdříve představena jako obecný pojem, jsou představena hlediska, podle kterých se obrobitelnost určuje a hlavní činitelé, na kterých obrobitelnost závisí. Následuje obrobitelnost litin, vlivy, které ji nějakým způsobem ovlivňují a zhodnocení obrobitelnosti jednotlivých typů litiny. Zde je zřejmé, že nejhorší obrobitelnost bude vzhledem k tvrdosti u litiny bílé. Naopak velmi dobře obrobitelná je litina s lupínkovým grafitem. Hůře se zase obrábí litiny s kuličkovým a vločkovým grafitem, stejně tak jako ADI litina, která rapidně snižuje životnost nástroje.

Kapitola 3 byla věnována přímo procesu obrábění. Nejdříve nástrojovým materiálům, opotřebení břitů nástroje a reznému prostředí, kdy každá část je představena v obecném přehledu a následně vztažena na problematiku obrábění litin. Závěr práce pak tvoří krátký přehled základních typů obráběcích strojů.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce Obrábění litin je vytvořit ucelený přehled týkající se třískového obrábění litin, jako jednoho z nejvýznamnějších skupin kovových materiálů. Jedná se o rozbor vlastností tohoto materiálu a následné vyhodnocení obrobitelnosti, která z těchto vlastností nepochybně vyplývá. Vše je doplněno postřehy přímo k procesu obrábění litinových materiálů, které se týkají ať již používaných nástrojových materiálů, či řezného prostředí.

Litiny pro tuto práci nebyly vybrány náhodou. Přestože v poslední době výroba slitin železa klesá, patří litiny mezi nejdůležitější kovové materiály, jejichž kvalita jde spolu s pokrokem výroby stále nahoru. Není sice ani dnes jednoduché vyrobit kvalitní litinu s dobrými mechanickými vlastnostmi a stejně tak nebylo jednoduché donedávna obrábět některé druhy litin, ale právě rozvoj nových technologií jak v obrábění, tak ve slévárenství dává možnost využití tohoto materiálu v mnoha odvětvích průmyslu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PTÁČEK, Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
2. PODRÁBSKÝ, Tomáš, POSPÍŠILOVÁ, Simona. *Struktura a vlastnosti grafitických litin* [online]. 2006, 16. 11. 2006 [cit. 5. dubna 2012]. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=0>>.
3. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. Praha: Scientia s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
4. PAVLOUŠKOVÁ, Zina. *Využití homogenizačního žhání k potlačení segregace křemíku a niklu v LKG*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 192 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Jiří Švejcar, CSc.
5. VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. 121s. ISBN 80-7080-600-1
6. PACAL, Bohumil, DOLEŽAL, Pavel. *Struktura a vlastnosti slitin metastabilní soustavy železo - karbid železa (Fe-Fe₃C)* [online]. 2007 [cit. 15. března 2012]. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/svms/index.htm>>.
7. *Obrobitelnost materiálů – CNN-10-0-I/II*, Celostátní normativ, Praha 1977, revidováno v roce 1985.
8. VIGNER, Miloslav, PŘIKRYL, Zdeněk. *Obrábění*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1984. 808 s. ISBN 04-250-84.
9. SANDVIK COROMANT. *Technická příručka* [online]. 2010 [cit. 12. dubna 2012]. Dostupné z WWW: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/Pages/default.aspx>.
10. MIKOVEC, Miroslav. *Obrábění materiálu s velkou pevností a tvrdostí*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1982. 196 s.
11. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s.
12. Polykrystalický diamant obrábí litinu. *MM Průmyslové spektrum*. Březen 2005, s. 59. ISSN 1212-2572.
13. PRAMET TOOLS s.r.o. *Frézování 2012* [online]. 2012 [cit. 8. dubna 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202012%20CZ%20PROG.pdf>>.
14. SAINT-GOBAIN ADVANCED CERAMICS, s.r.o. *Břítové destičky z řezné keramiky* [online]. 2007 [cit. 13. dubna 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.

15. HOUDEK, Josef, KOUŘIL, Karel. Opotřebenění břitů nástrojů ze slinutých karbidů. *MM Průmyslové spektrum*. Únor 2005, s. 71. ISSN 1212-2572.
16. ISCAR LTD. *Elektronický katalog* [online]. 2012 [cit. 16. dubna 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.iscar.com/ecat/open.asp/lang/EN/ECommerce/N/GFSTYP/M/Multlang/Y>>.
17. WALTER AG. *General Catalogue* [online]. 2012 [cit. 18. dubna 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/en/>>.
18. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. 192 s.
19. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
20. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Základní metody obrábění – 1. část*. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 17 s.
21. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 95 s.
22. MACH TRADE, s.r.o. *Katalog produktů* [online]. 2012 [cit. 5. května 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.machtrade.cz/kategorie/obrabeci-stroje>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
ADI	[-]	Austempered Ductile Iron
Al ₂ O ₃	[-]	oxid hlinitý
C	[-]	uhlík
CBN	[-]	kubický nitrid boru
CNC	[-]	Computer Numerical Control
Co	[-]	kobalt
CoO	[-]	oxid kobaltnatý
CO ₂	[-]	oxid uhličitý
Cr	[-]	chrom
Fe	[-]	železo
Fe ₃ C	[-]	cementit
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HV	[-]	tvrdost dle Vickerse
Mn	[-]	mangan
P	[-]	fosfor
PCD	[-]	polykrystalický diamant
S	[-]	síra
S _c	[-]	stupeň eutektičnosti
Si	[-]	křemík
SiC	[-]	karbid křemíku
Si ₃ N ₄	[-]	nitrid křemíku
SK	[-]	slinutý karbid
TiC	[-]	karbid titanu
TiN	[-]	nitrid titanu
W	[-]	wolfram
WC	[-]	karbid wolframu
ZrO ₂	[-]	oxid zirkoničitý

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Rozdělení obráběcích materiálů firmy Pramet Tools s.r.o.
Příloha 2 Třídy destiček určené pro soustružení litiny od firmy Sandvik Coromant
Příloha 3 Formy opotřebení bříty nástroje
Příloha 4 Obráběcí stroje

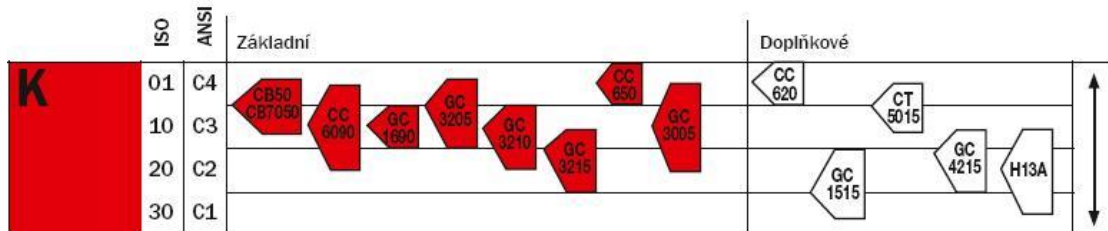
PŘÍLOHA 1

Rozdělení obráběcích materiálů firmy Pramet Tools s.r.o. [13]

P	<p>uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované oceli (193... až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., litě 4229...)</p>	<p>uhlíkové (nelegované) ocele třídy 10, 11, 12 legované ocele tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové ocele uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované ocele (193... až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozivzdorné ocele (třídy 17..., litě 4229...)</p>
M	<p>austenitické a feriticko austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a oteruvzdorné</p>	<p>austenitické a feriticko austenitické ocele korozivzdorné, žiaruvzdorné a žiarupevné ocele nemagnetické a oteruvzdorné</p>
K	<p>šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225...)</p>	<p>sivá litina nelegovaná aj legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225...)</p>
N	<p>neželezné kovy, slitiny Al a Cu</p>	<p>neželezné kovy, zliatiny Al a Cu</p>
S	<p>speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti</p>	<p>špeciálne žiarupevné zliatiny na báze Ni, Co, Fe a Ti</p>
H	<p>zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa kalené oceli HRC 48 ÷ 60 tvrzené kokilové litiny HSh 55 ÷ 85</p>	<p>zušľachtené ocele s pevnosťou nad 1500 MPa kalené ocele HRC 48 - 60 tvrdené kokilové liatiny HSh 55 - 85</p>

PŘÍLOHA 2 (1/2)

Třídy destiček určené pro soustružení litiny od firmy Sandvik Coromant [9]



CB50/CB7050 – K05(K01-K10)

- Extrémně tvrdá třída z kubického nitridu bóru. Vysoká houževnatost břitu a dobrá odolnost proti opotřebení.
- Optimální pro dokončování šedé litiny při vysokých řezných rychlostech v podmínkách se spojitým i přerušovaným řezem.

CC6090 – K10(K01-K20)

- Keramika na bázi čistého nitridu křemíku disponuje dobrou odolností proti opotřebení za vysokých teplot.
- Hrubování až dokončování litiny při vysokých řezných rychlostech v dobrých podmínkách.
- Je vhodná i pro řezy s občasným přerušením.

GC1690 – K10(K05-K15)

- Třída keramiky na bázi nitridu křemíku s CVD povlakem.
- Velice vhodná pro lehké hrubování, střední a dokončovací obrábění šedé litiny.

GC3205 – K05(K01-K15)

- Karbidová třída povlakovaná metodou CVD s tlustým, proti opotřebení odolným povlakem naneseným na velmi tvrdém substrátu.
- Doporučena pro vysokorychlostní soustružení šedé litiny (GCI).

GC3210 – K10(K05-K20)

- Karbidová třída skládající se z tlustého hladkého PVD povlaku s vysokou odolností proti opotřebení a velmi tvrdého substrátu.
- Doporučena pro vysokorychlostní soustružení nodulární litiny (NCI).

GC3215 – K15(K10-K25)

- Karbidová třída povlakovaná metodou CVD s hladkým opotřebení odolným povlakem naneseným na tvrdém substrátu, odolává náročným podmínkám při přerušovaných řezech.
- Obecná volba pro hrubování všech typů litiny při nízkých až středních řezných rychlostech.

PŘÍLOHA 2 (2/2)

Třídy destiček určené pro soustružení litiny od firmy Sandvik Coromant [9]

CC650 – K01(K01-K05)

- Smíšená keramika na bázi Al₂O₃.
- Vysokorychlostní dokončování šedé litiny a tvrzené litiny za stabilních podmínek.

GC3005 – K10(K01-K20)

- Karbidová třída povlakovaná metodou CVD s opotřebením odolným povlakem s velmi dobrou adhezí k tvrdému substrátu, který je schopen odolávat vysokým teplotám.
- Dokončování až hrubování nodulární litiny, vysoce pevné temperované litiny a „lepivé“ (legované) šedé litiny.

CC620 – K01(K01-K05)

- „Čistá“ keramika na bázi Al₂O₃.
- Vysokorychlostní dokončování šedé litiny za stabilních podmínek a za sucha.

GC1515 – K25(K15-K30)

- Mikrozrnný karbid s tenkým CVD povlakem s dobrým poměrem houževnatosti a odolnosti proti opotřebením.
- Doporučena zejména pro obtížné vyvrtávací operace.

CT5015 – K05(K01-K10)

- Nepovlakovaná cermetová třída s vynikající odolností proti tvorbě nárůstků a plastické deformaci.
- Dokončování nodulární litiny, pokud je vyžadována vysoká kvalita povrchu, úzká tolerance a/nebo nízké řezné síly.
- $f_n \times a_p < 0,35 \text{ mm}^2$.

GC4215 – K15(K10-K25)

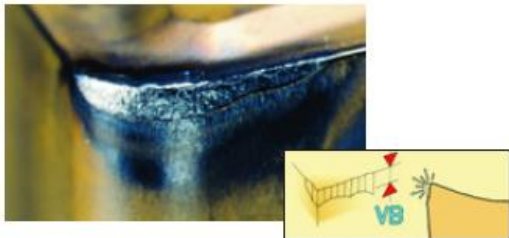
- Karbidová třída povlakovaná metodou CVD s opotřebením odolným povlakem naneseným na tvrdém, ale relativně houževnatém gradientním substrátu.
- Nízké až střední řezné rychlosti v šedé a nodulární litině.
- Bezpečnost v aplikacích prováděných za sucha i za mokra.

H13A – K20(K10-K30)

- Nepovlakovaná karbidová třída s dobrou odolností proti otěru a houževnatostí.
- Střední až nízké řezné rychlosti při obrábění litiny.

PŘÍLOHA 3

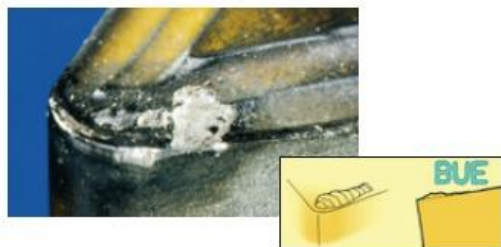
Formy opotřebení břitu nástroje [9]



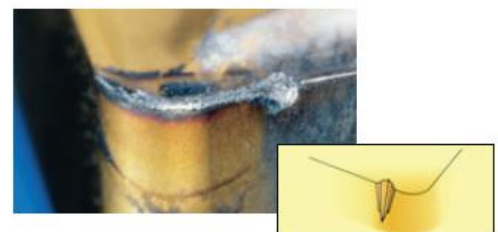
a) opotřebení hřbetu



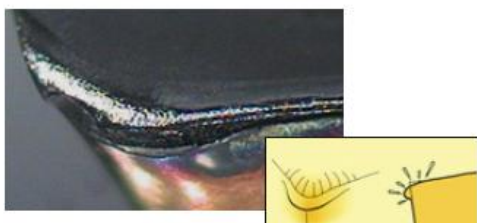
b) opotřebení ve tvaru žlábků



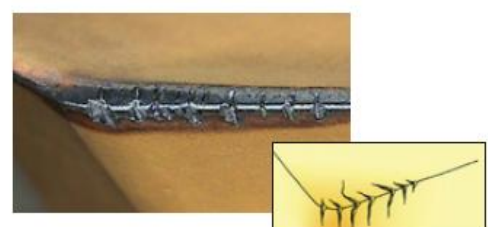
c) tvorba nárůstku



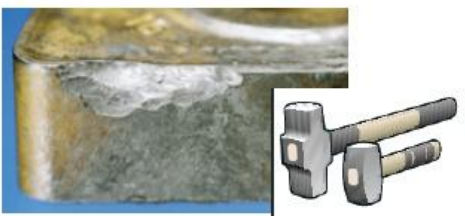
d) opotřebení ve tvaru vrubu



e) plastická deformace



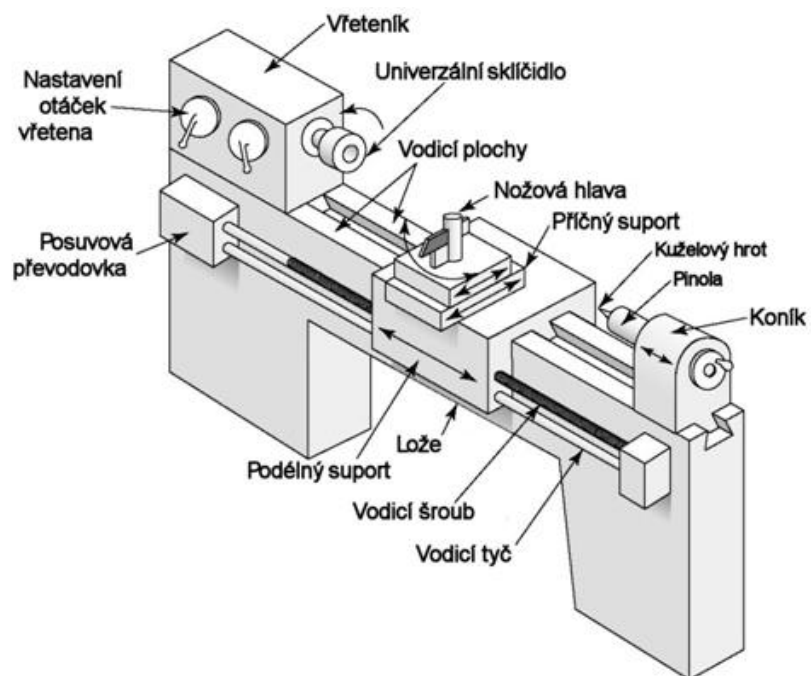
f) tepelné trhliny



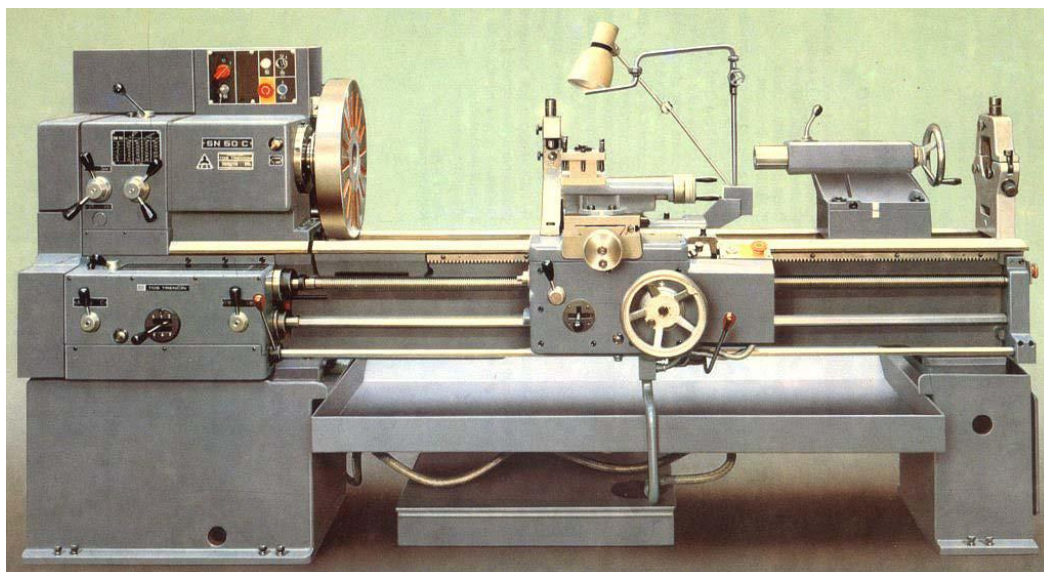
g) vylamování břitu, celkový lom

PŘÍLOHA 4 (1/3)

Obráběcí stroje [11, 21, 22]



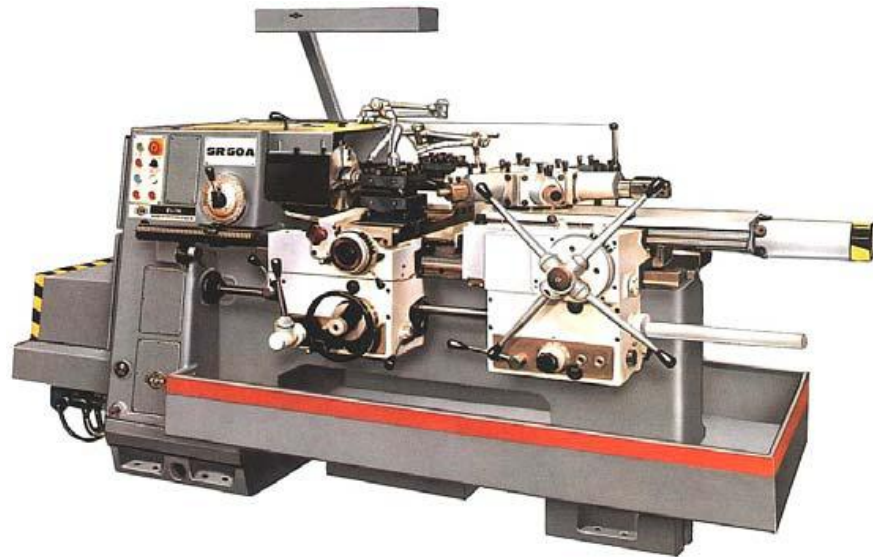
Hlavní funkční části univerzálního hrotového soustruhu



Univerzální hrotový soustruh

PŘÍLOHA 4 (2/3)

Obráběcí stroje [11, 21, 22]



Revolverový soustruh



Univerzální konzolová frézka

PŘÍLOHA 4 (3/3)

Obráběcí stroje [11, 21, 22]



Sloupová vrtačka



Otočná vrtačka