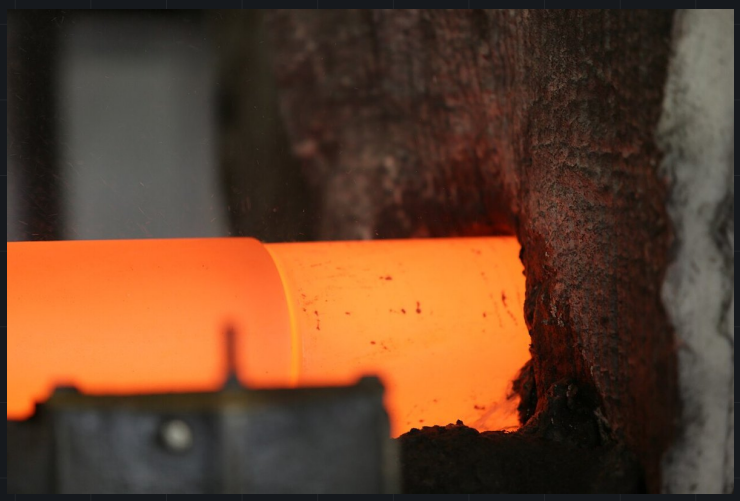
TECHNICKÉ MATERIÁLY

Materiály

a tepelné zpracování: oceli, litiny, neželezné kovy, značení, žíhání, kalení, popouštění a chemicko-tepelné zpracování.





Fotografie: Birdie1121 a Comet Photo AG (Zürich), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, adresy v kapitole Zdroje

Učební materiál pro žáky oboru. Provede tě od vlastností materiálů přes značení ocelí až k tepelnému zpracování a tomu, co znamená pro obráběče. Obsahuje schémata, tabulky, cvičení a test s řešením.

Odborný výcvik
Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů

Zpracoval: Michl Ondřej, 2.OZ
Datum: 6. 11. 2026

Obsah

ČÁST 1: MATERIÁLY A JEJICH VLASTNOSTI

1	Přehled technických materiálů	3
2	Vlastnosti materiálů	4

ČÁST 1: OCELI

3	Oceli a jejich značení	8
4	Nástrojové a korozivzdorné oceli	13

ČÁST 1: LITINY, NEŽELEZNÉ KOVY A PLASTY

5	Litiny	15
6	Neželezné kovy	17
7	Plasty a jiné materiály	20

ČÁST 1: MATERIÁL A OBRÁBĚNÍ

8	Řezné materiály nástrojů	21
9	Obrobitelnost a poznávání materiálu	23

ČÁST 2: ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

10	Základy tepelného zpracování	27
11	Žíhání	30
12	Kalení	32
13	Popouštění a zušlechťování	35
14	Chemicko-tepelné zpracování	38

ČÁST 2: TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ V PRAXI

15	Praktická část pro obráběče	39
16	Přehled tepelného zpracování	43

OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ A PŘÍLOHY

17	Cvičení a test	44
18	Slovníček a zdroje	46

JAK SE S MANUÁLEM UČIT

1. Část 1 si projdi v pořadí. Kapitoly 2 a 3 jsou základ, k ostatním se můžeš vracet podle materiálu, který právě obrábíš.
2. Část 2 začni kapitolou 10. Bez diagramu železo-uhlík bude ostatní těžší.
3. Kapitolu 15 si přečti, než začneš obrábět díl určený ke kalení.
4. Na konci si ověř znalosti cvičeními a testem. Řešení je až za nimi, zkus je nejdřív bez něj.

Hodnoty v textu jsou orientační a pocházejí ze zdrojů v kapitole 18. Závazný je vždy materiálový list, atest, postup a pokyn učitele odborného výcviku (UOV).

ČÁST 1: MATERIÁLY A JEJICH VLASTNOSTI

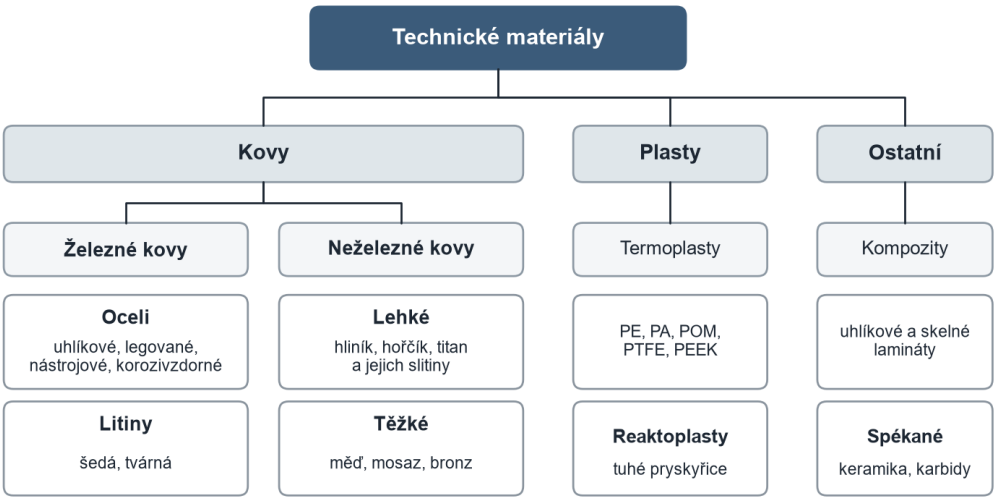
1 Přehled technických materiálů

Na co se technické materiály dělí a proč musí obráběč vědět, co má právě v rukou.

Každý výkres má v popisovém poli materiál. Není to formalita. Materiál rozhoduje o tom, jaký vezmeš nástroj, jak rychle pojedeš, jestli zapneš chlazení a jestli díl vydrží. Stejný hřídel z oceli C45 a z hliníku se obrábí úplně jinak, i když je výkres stejný.

Na co se materiály dělí

Základní dělení je jednoduché: kovy, plasty a ostatní materiály. V dílně nejčastěji potkáš kovy, hlavně oceli. Železné kovy mají jako hlavní složku železo. Neželezné kovy mají jako hlavní složku jiný kov.



Obr. 1.1 Přehled technických materiálů, se kterými se obráběč může setkat.

Proč se obráběč o materiál zajímá

Obráběč materiál neurčuje, to dělá konstruktér. Ty ale musíš poznat, co znamená pro tvoji práci. Když si nejsi jistý, zeptej se UOV, tedy učitele odborného výcviku.

- **Nástroj.** Destička na ocel nemusí být vhodná na hliník nebo litinu.
- **Řezné podmínky.** Hliník snese mnohem vyšší řeznou rychlost než korozivzdorná ocel.
- **Tříska.** Měkká ocel dělá dlouhé stuhy, litina se drobí.
- **Chlazení.** Materiál se špatnou tepelnou vodivostí drží teplo u břitu.
- **Upnutí a rozměr.** Měkké a tenké díly se snadno deformují.
- **Bezpečnost.** Třísky hořčíku a titanu mohou hořet, litina práší.



Obr. 1.2 Dlouhá tříska z houževnatého materiálu. Takovou třísku musíš hlídat a lámat.
Vlastník obrázku: Niharsd.mech, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long_chip.jpg

PAMATUJ

Než začneš, odpověz si na tři otázky. Co je to za materiál? V jakém je stavu, například žíhaný nebo zušlechtěný? Co se s ním bude dít po obrábění?

CO SI ZAPAMATOVAT

- Materiál je na výkrese vždycky a rozhoduje o nástroji i podmínkách.
- Kovy se dělí na železné a neželezné, oceli jsou v dílně nejčastější.
- Stejný výkres z jiného materiálu znamená jiný postup.

2

ČÁST 1: MATERIÁLY A JEJICH VLASTNOSTI

Vlastnosti materiálů

Pevnost, mez kluzu, tažnost, tvrdost a houževnatost. Jak se měří a co znamenají u stroje.

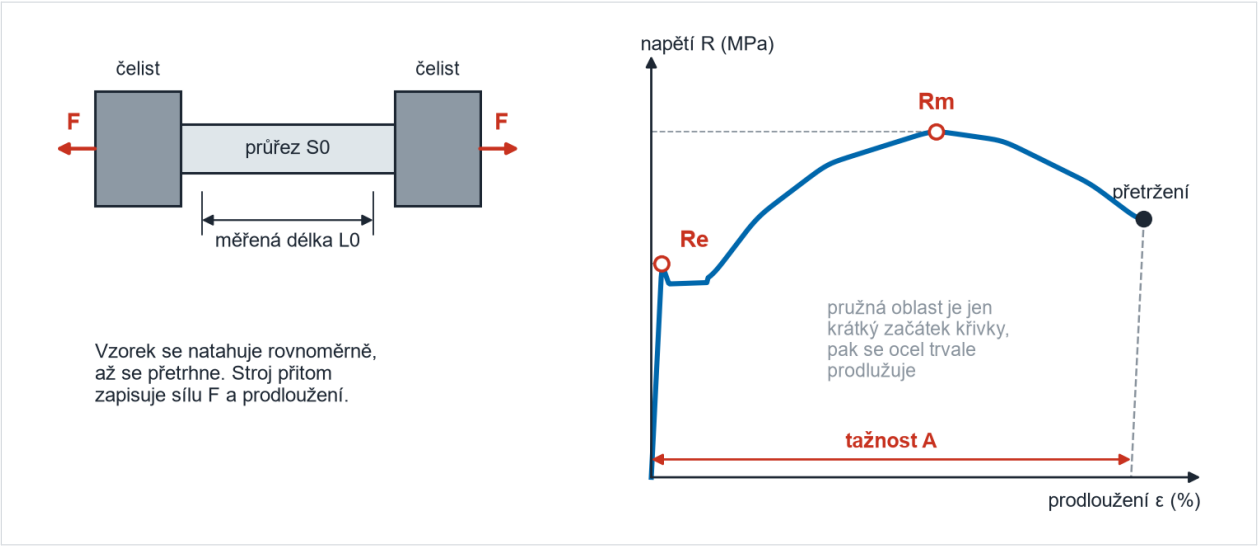
Vlastnosti říkají, co materiál vydrží a jak se bude chovat při obrábění. Materiálový list je plný zkratek. Tady zjistíš, co znamenají. Jednotka MPa je totéž co N/mm².

Vlastnost a značka	Co říká	Co to znamená pro tebe
Pevnost v tahu Rm (MPa)	největší napětí před přetržením	čím vyšší, tím větší řezné síly
Mez kluzu Re, Rp0,2 (MPa)	od kdy se materiál trvale deformuje	díl se nesmí zdeformovat upnutím

Vlastnost a značka	Co říká	Co to znamená pro tebe
Tažnost A (%)	o kolik se vzorek prodlouží do přetržení	houževnatý materiál dělá delší třísku
Tvrdost HB, HV, HRC	odpor proti vniknutí cizího tělesa	rozhoduje o nástroji a opotřebení
Houževnatost KV (J)	kolik práce materiál pohltí při rázu	křehký díl praskne, houževnatý se ohne
Odolnost proti korozi	jak materiál odolává prostředí	korozivzdorné oceli se hůř obrábějí
Hustota ρ (g/cm³)	hmotnost jednoho cm³	hmotnost dílu, otáčky, vyvážení
Tepelná vodivost λ (W/(m·K))	jak rychle materiál odvádí teplo	špatná vodivost přehřívá břit
Obrobitelnost	jak snadno se materiál obrábí	povrch, tříska, životnost nástroje
Svařitelnost	jak dobře se spojuje svařováním	nad 0,22 % C už není zaručená

Tahová zkouška

Tahová zkouška je základní zkouška kovů. Vzorek se upne do čelistí a pomalu se natahuje až do přetržení. Stroj přitom zapisuje sílu a prodloužení. Z toho vznikne křivka, ze které se odečtou hlavní hodnoty.



Obr. 2.1 Tahová zkouška a její křivka. Křivka je schéma oceli s výraznou mezí kluzu, nejde o naměřená data.

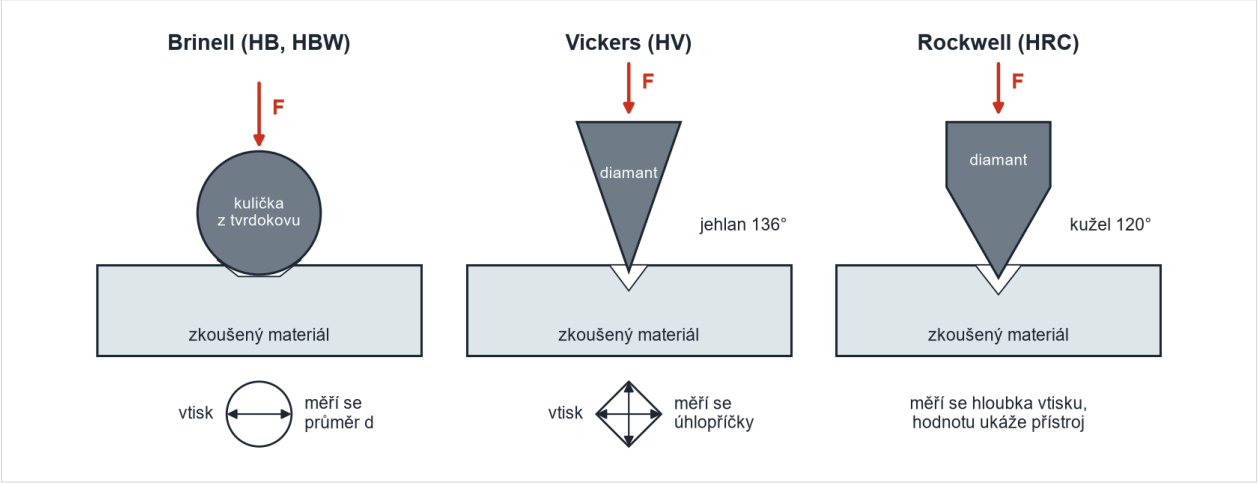
- **Rm = Fm / S0**, kde Fm je největší síla a S0 původní průřez. **Re = Fe / S0**, kde Fe je síla na mezi kluzu.
- **A = (Lu − L0) / L0 · 100**, kde L0 je měřená délka a Lu délka po přetržení.
- Materiály bez výrazné meze kluzu, třeba hliník nebo zušlechtěná ocel, mají místo Re hodnotu **Rp0,2**. Je to napětí, při kterém zůstane trvalé prodloužení 0,2 %.

TIP

Příklad: vzorek má průměr 10 mm, tedy S0 = 78,5 mm². Největší síla je 31,4 kN, proto Rm = 31 400 / 78,5 = 400 MPa. Měřená délka 50 mm se prodloužila na 63 mm, proto A = 13 / 50 · 100 = 26 %.

Zkoušky tvrdosti

Tvrdost se měří tak, že se do materiálu definovanou silou zatlačí tvrdé tělísko. Čím menší vtisk, tím tvrdší materiál. Povrch musí být čistý a rovný, jinak výsledek neplatí.



Obr. 2.2 Tři nejběžnější zkoušky tvrdosti. Velikosti vtisků nejsou v měřítku.

Zkouška	Tělísko	Co se měří	Zápis	Kde se používá
Brinell	kulička z tvrdokovu, nejčastěji 10 mm, u ocelí síla 29,4 kN	průměr vtisku	210 HBW	měkčí a střední materiály, odlitky, polotovary
Vickers	diamantový jehlan 136°	úhlopříčky vtisku	440 HV30	všechny tvrdosti, tenké vrstvy, malé zatížení
Rockwell C	diamantový kužel 120°, síla celkem 1471 N	hloubka vtisku	60 HRC	kalené oceli, asi 20 až 67 HRC

Hodnoty HB, HV a HRC jsou různé stupnice. Převodní tabulky (ISO 18265) jsou jen orientační. Když výkres žádá 58 HRC, kontroluje se Rockwellem.

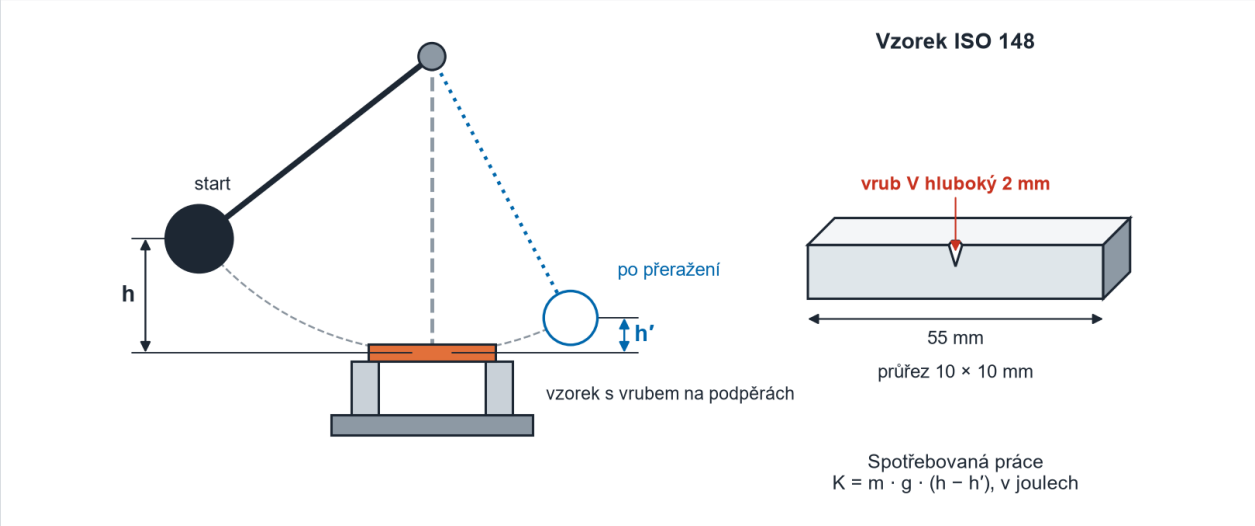
Zkušební přístroj vidíš na obrázku. Na zkoušku se díl položí na stolek, tělísko dosedne předepsanou silou a pak se změří vtisk.



Obr. 2.3 Brinellův přístroj při zkoušce dílu zavěšení vozidla.
Vlastník obrázku: Foundrax_Engineering_Products, Wikimedia Commons, licence CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_Brinell_hardness_testing_machine.jpg

Rázová zkouška

Skutečný díl někdy dostane ráz. Proto se na Charpyho kladivu měří, kolik práce materiál pohltí při přeražení vzorku s vrubem. Kladivo spadne z výšky h a po přeražení vystoupá do výšky h′.



Obr. 2.4 Charpyho kladivo a normovaný vzorek. Standardní vzorek má vrub V hluboký 2 mm.

Výsledek se značí **KV** a udává se v joulech. Za nízké teploty mnoho ocelí křehne. Proto se u konstrukčních ocelí uvádí, při jaké teplotě dosáhly 27 J. Přesně to říká přípona JR, J0 a J2 u značek jako S235JR.

Hustota určuje hmotnost dílu. **Tepelná vodivost** říká, kam se poděje teplo z řezu. Měď a hliník ho rychle odvádějí pryč. Titan a korozivzdorná ocel ho drží u břitu, proto se u nich nástroj rychleji přehřívá. Hodnoty najdeš v kapitole 6.

Obrobitelnost a svařitelnost

Obrobitelnost není jedno číslo z tahové zkoušky, více v kapitole 9. **Svařitelnost** závisí hlavně na uhlíku. Nelegované oceli jsou zaručeně svařitelné do 0,22 % C. U legovaných se navíc počítá uhlíkový ekvivalent. Před svařováním nebo návarem se proto vždy zeptej.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Rm je pevnost v tahu, Re mez kluzu, A tažnost. Vše se zjistí tahovou zkouškou.
- HB a HV měří velikost vtisku, HRC jeho hloubku.
- KV je práce pohlcená při rázu, měří se na vzorku s vrubem.
- Špatná tepelná vodivost znamená víc tepla na břitu.

ČÁST 1: OCELI

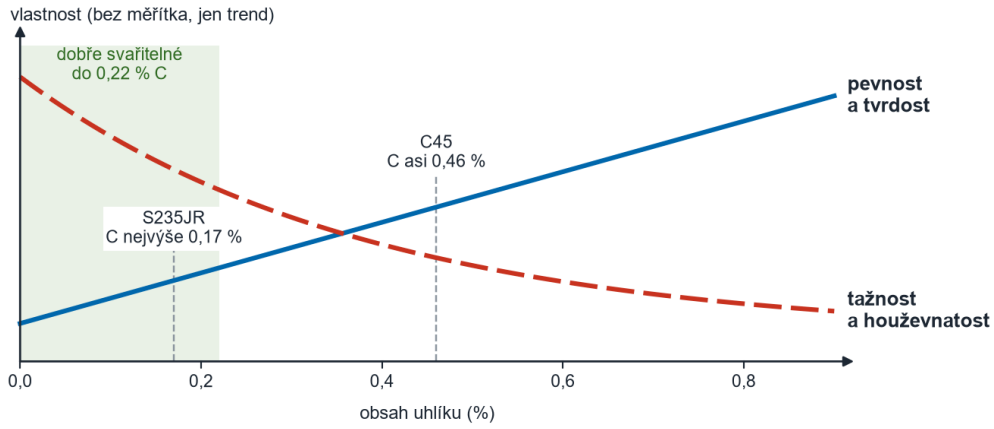
3 Oceli a jejich značení

Co je ocel, co dělá uhlík a legury, jak číst značky ČSN a EN a jak se liší S235JR a C45.

Ocel je slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky. Podle normy EN 10020 má obecně do 2 % uhlíku. V rovnovážném diagramu leží hranice mezi ocelí a litinou na 2,14 % C. Z oceli je většina dílů, které budeš obrábět.

Co dělá uhlík

Uhlík je nejdůležitější prvek v oceli. S rostoucím obsahem uhlíku roste pevnost a tvrdost. Klesá tažnost, houževnatost a svařitelnost. Kalit se dá ocel přibližně od 0,35 % C. Proto se S235JR běžně nekalí a C45 ano.



Obr. 3.1 Vliv uhlíku na vlastnosti nelegované oceli. Schéma ukazuje jen trend, není to naměřený graf.

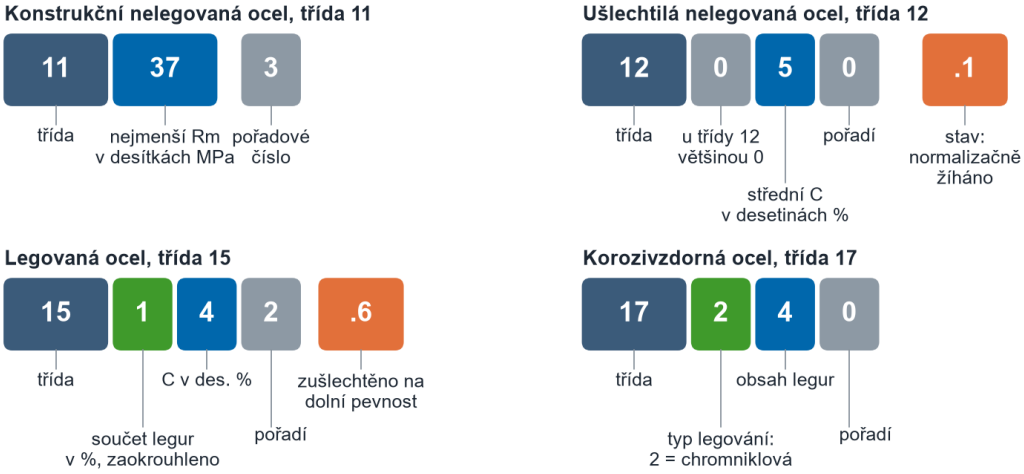
Doprovodné a legující prvky

Doprovodné prvky se do oceli dostanou při výrobě. **Legující prvky** se přidávají záměrně, aby ocel získala potřebnou vlastnost.

Prvek	Co v oceli dělá
Mangan Mn	váže síru a fosfor, zvyšuje prokalitelnost a pevnost
Křemík Si	zvyšuje pevnost, ve větším množství v pružinových ocelích
Síra S, fosfor P	obvykle nežádoucí. Síra ale zlepšuje obrobitelnost automatových ocelí
Chrom Cr	zvyšuje prokalitelnost, tvoří karbidy, od 10,5 % přináší korozní odolnost
Nikl Ni	zvyšuje houževnatost, ve větším množství i korozní odolnost
Molybden Mo	tvoří karbidy, brání růstu zrna, snižuje popouštěcí křehkost
Vanad V, wolfram W	tvoří tvrdé karbidy, důležité v rychlořezných ocelích, vanad zjemňuje zrno

Značení podle ČSN

Starší česká norma ČSN 42 0002 značí tvářené oceli pětimístným číslem. Je zrušená, ale v dílnách, výkresech a tabulkách ji potkáš pořád. První dvě číslice jsou třída. Význam dalších číslic závisí na třídě.



Obr. 3.2 Jak číst značky ČSN. Barevně jsou odlišené stejné významy číslic.

Třída	Druh oceli	Třída	Druh oceli
10	nelegované, předepsané jen mechanické vlastnosti	14	nízkolegované: Cr, Cr-Mn, Cr-Si, Cr-Al
11	nelegované, navíc předepsaný obsah C, P, S	15	nízkolegované: Mo, Cr-Mo, Cr-V, Cr-W
12	nelegované ušlechtilé, k tepelnému zpracování	16	nízko a středně legované: Ni, Cr-Ni, Cr-Ni-Mo
13	nízkolegované: Mn, Si, Mn-V	17 a 19	17 korozivzdorné a žáruvzdorné, 19 nástrojové

Za značkou může být **doplňkové číslo za tečkou**. Říká, v jakém stavu materiál je. To je pro obráběče klíčové: 12 050.1 a 12 050.6 je stejná ocel, ale obrábí se jinak.

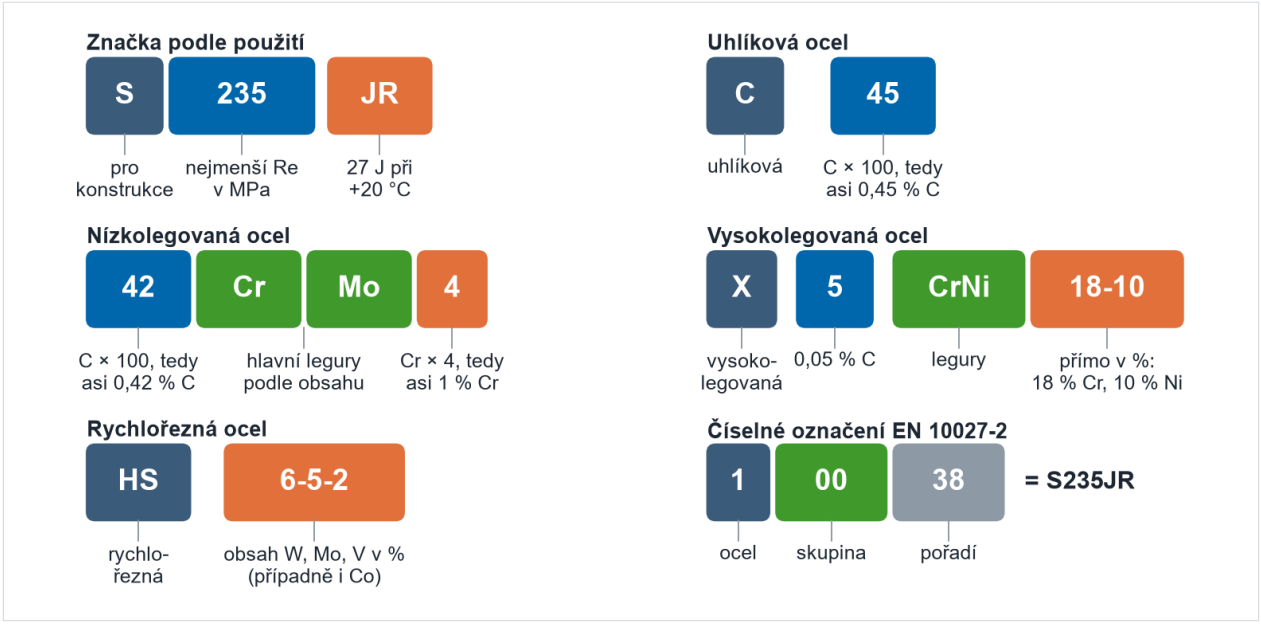
Číslo	Stav materiálu	Číslo	Stav materiálu
.0	tepelně nezpracovaný	.5	normalizačně žíhaný a popuštěný
.1	normalizačně žíhaný	.6	zušlechtěný na dolní pevnost
.2	žíhaný (s uvedením způsobu)	.7	zušlechtěný na střední pevnost
.3	žíhaný naměkko	.8	zušlechtěný na horní pevnost
.4	kalený, nebo kalený a nízko popuštěný	.9	jiné stavy

Značení podle ČSN EN

Dnes platí evropské značení podle EN 10027. Existuje ve dvou podobách: **značka** z písmen a číslic a **číselné označení** 1.xxxx. Značka říká buď použití a mez kluzu, nebo chemické složení.

U nízkolegovaných ocelí se číslo za značkami prvků dělí násobitelem. Když je za prvky jen jedno číslo, patří prvnímu z nich. Proto v 42CrMo4 znamená čtyřka 1 % chromu a obsah molybdenu ze značky nevyčteš.

Násobitel 4 platí pro Cr, Co, Mn, Ni, Si, W. Násobitel 10 platí pro Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr. Například 13CrMo4-5 má asi 1 % Cr (4 / 4) a 0,5 % Mo (5 / 10).



Obr. 3.3 Jak číst značky EN. Stejná ocel má vždy značku i číslo.

> **POZOR**
> Starší tabulky uvádějí pro S235JR číslo 1.0037. Podle EN 10025-2 má S235JR číslo **1.0038**. Když na starém výkrese najdeš 1.0037, je to stejný typ oceli, ale ověř si s UOV, co se má použít.

Převodní tabulka běžných ocelí

Značky ČSN a EN si neodpovídají vždy přesně. Tabulka uvádí nejbližší ekvivalent. Hodnoty jsou orientační a platí pro uvedený rozměr nebo stav. Závazný je vždy materiálový list a atest konkrétní tavby.

ČSN	EN	Číslo	Druh a použití	Orientační hodnoty
11 373 **11 375**	S235JR	1.0038	konstrukční, svařence, běžné díly	Re min 235 MPa do 16 mm, Rm 360 až 510 MPa
11 523	S355J0	1.0553	konstrukční, zaručeno 27 J při 0 °C	Re min 355 MPa do 16 mm, Rm 470 až 630 MPa
11 503	S355J2	1.0577	konstrukční, zaručeno 27 J při −20 °C	Re min 355 MPa do 16 mm, Rm 470 až 630 MPa
11 600	E335	1.0060	strojní součásti	Re min 335 MPa

ČSN	EN	Číslo	Druh a použití	Orientační hodnoty
11 109	11SMn30	1.0715	automatová, soustružení na automatech	se sírou a manganem, snadno se láme tříska
12 050	C45	1.0503	k zušlechťování, hřídele, čepy	+N do 16 mm: Re min 340, Rm min 620 MPa
12 060	C55	1.0535	k zušlechťování, namáhanější díly	C asi 0,55 %
14 220	16MnCr5	1.7131	k cementování, ozubená kola, čepy	jádro Rm asi 790 MPa, povrch 56 až 62 HRC
14 109	100Cr6	1.3505	ložisková ocel	C asi 1 %, Cr asi 1,5 %
15 142	42CrMo4	1.7225	k zušlechťování, namáhané díly	+QT 16 až 40 mm: Re min 750, Rm 1000 až 1200 MPa
17 240	X5CrNi18-10	1.4301	korozivzdorná austenitická	tyče: Rp0,2 min 190, Rm 500 až 700 MPa
19 830	HS6-5-2	1.3343	rychlořezná, vrtáky a frézy	po tepelném zpracování 58 až 65 HRC

Pozor na záměnu: 11 523 odpovídá S355J0 a S355J2 odpovídá 11 503. Obě mají stejnou mez kluzu, liší se zaručenou houževnatostí za nízké teploty. Materiál nezaměňuj bez souhlasu.

Školní oceli: S235JR a C45

Ve škole nejčastěji obrábíš tyto dvě oceli. Na první pohled je nerozeznáš, liší se hlavně obsahem uhlíku, a tím i chováním při řezu.

	S235JR (11 373)	C45 (12 050)
Uhlík	nejvýše 0,17 % do 40 mm	0,42 až 0,50 %
Mangan	nejvýše 1,40 %	0,50 až 0,80 %
Mez kluzu	Re min 235 MPa do 16 mm, 225 MPa do 40 mm	+N: Re min 305 MPa, 16 až 100 mm
Pevnost	Rm 360 až 510 MPa	+N: Rm min 580 MPa, 16 až 100 mm
Tažnost	A min 24 až 26 % podle směru, 3 až 25 mm	+N: A min 16 %, 16 až 100 mm
Tepelné zpracování	běžně žádné, používá se ve stavu z válcovny	normalizace, zušlechtění, povrchové kalení
Svařitelnost	dobrá, zaručená	není zaručená, nutný zvláštní postup
Tříska	dlouhá a lepivá, vzniká nárůstek	lepší lámání třísky, větší řezná síla

	S235JR (11 373)	C45 (12 050)
Typické díly	konzoly, příložky, svařence, méně namáhané díly	hřídele, čepy, kolíky, ozubená kola

S235JR v dílně. Je měkká a houževnatá, tříska dělá dlouhou stuhu a lepí se na břit. Pomůže ostrá destička, vyšší řezná rychlost a utvařeč třísky. Tvrdost po kalení od ní nečekej.

C45 v dílně. Záleží na stavu. Stav +A je žíhaný naměkko, nejvýše 207 HB, +N normalizačně žíhaný a +QT zušlechtěný s většími řeznými silami. Prokalí se jen v menších rozměrech. Hodnoty +QT najdeš v kapitole 13.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Ocel je slitina železa s uhlíkem, obecně do 2 % C.
- Víc uhlíku znamená větší pevnost a tvrdost, ale menší tažnost a horší svařitelnost.
- 11 373 = S235JR = 1.0038. 12 050 = C45 = 1.0503. 15 142 = 42CrMo4 = 1.7225.
- Číslo za tečkou u ČSN říká stav materiálu, například .6 je zušlechtěný.
- Ekvivalenty jsou orientační, závazný je materiálový list a atest.

ČÁST 1: OCELI

4 Nástrojové a korozivzdorné oceli

Skupiny nástrojových a korozivzdorných ocelí, jejich značení a zásady obrábění.

Tyto dvě skupiny mají společné jedno: stojí víc a na obrábění jsou náročnější. Nástrojové oceli mají vysokou tvrdost po tepelném zpracování. Korozivzdorné oceli odolávají prostředí díky chromu.

Nástrojové oceli

Podle ČSN patří do třídy 19. Dodávají se obvykle žíhané naměkko, aby se daly obrábět. Tvrdost dostanou až kalením a popouštěním. Výsledný rozměr se pak často dobrušuje.

Skupina	Značka a číslo	ČSN	Složení (orientačně)	Po tepelném zpracování	Použití
Nelegovaná	C105U	19 191	C asi 1 %	do asi 64 HRC	jednoduché nástroje
Pro práci za studena	90MnCrV8, 1.2842	19 312	C 0,9 %, Mn 2 %	60 až 65 HRC	střihadla, vodicí lišty

Skupina	Značka a číslo	ČSN	Složení (orientačně)	Po tepelném zpracování	Použití
Pro práci za studena	X153CrMoV12, 1.2379	neuvedeno	C 1,5 %, Cr 12 %	popouštění 525 až 540 °C	razníky, matrice
Pro práci za tepla	X40CrMoV5-1, 1.2344	neuvedeno	C 0,4 %, Cr 5 %	44 až 53 HRC	zápustky, tlakové lití, formy
Rychlořezná	HS6-5-2, 1.3343	19 830	W 6, Mo 5, V 2 %	58 až 65 HRC	vrtáky, závitníky, frézy

Dodací stav si ověř podle materiálového listu. Například 1.2842 se dodává žíhaná nejvýše na 190 HB, 1.2379 nejvýše na 250 HB a 1.3343 kolem 262 HB. To jsou tvrdosti, které běžné nástroje zvládnou. Po kalení už je situace úplně jiná.

Korozivzdorné oceli

Korozivzdorná ocel obsahuje nejméně 10,5 % chromu a nejvýše 1,2 % uhlíku. Chrom vytvoří na povrchu tenkou ochrannou vrstvu. Když se poškrábe, ve styku s kyslíkem se obnoví. Podle ČSN patří do třídy 17, v EN mají číslo 1.4xxx.

Jak číst značku. X5CrNi18-10 má 0,05 % C, 18 % Cr a 10 % Ni. Číslo 1.4301 je stejná ocel, v cizích katalozích AISI 304. Ocel 1.4404, tedy X2CrNiMo17-12-2 neboli 316L, má navíc molybden a lépe odolává chloridům.

Hlavní skupiny

Skupina	Příklad	ČSN	Magnet	Kalení	Vlastnosti a použití
Austenitická	1.4301, 1.4404	17 240, 17 349	obvykle ne	ne	houževnaté, potravinářství, chemie, nejrozšířenější
Austenitická automatová	1.4305 X8CrNiS18-9	17 243	obvykle ne	ne	se sírou, snadněji se obrábí, méně odolná
Feritická	1.4016 X6Cr17	17 040	ano	ne	bez niklu, levnější, spotřebiče, plechy
Martenzitická	1.4021 X20Cr13	17 022	ano	ano	ventily, hřídele, čerpadla, kalí se
Duplexní	1.4462	neuvedeno	ano	ne	austenit a ferit, vysoká pevnost, chemie, moře

Obrábění korozivzdorných ocelí

Tyto materiály dělají dlouhou třísku a jejich povrch se při řezu zpevňuje. Vzniká nárůstek a teplo zůstává u břitu. Austenitické a duplexní oceli jsou nejhorší.

- Používej **ostrý břit** a nástroj určený pro skupinu M.
- **Neubírej příliš málo.** Nástroj se nesmí jen třít o zpevněný povrch.
- Nezastavuj posuv v řezu, neprodlužuj zbytečně styk nástroje s povrchem.
- Zajisti **dobré chlazení** a tuhé upnutí.
- Třísky od běžné oceli nenechávej na korozivzdorném povrchu, mohou na něm způsobit rez.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Nástrojové oceli jsou ve třídě 19, obrábějí se žíhané a tvrdost dostanou až tepelným zpracováním.
- Korozivzdorná ocel má nejméně 10,5 % Cr, nejběžnější je 1.4301.
- Austenitická ocel se při řezu zpevňuje, potřebuje ostrý břit a dostatečný záběr.

5

ČÁST 1: LITINY, NEŽELEZNÉ KOVY A PLASTY

Litiny

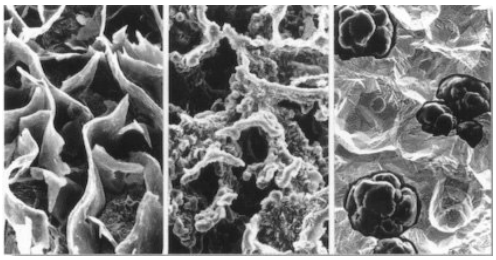
Šedá a tvárná litina, jejich značení, obrábění a práce s litinovým prachem.

Litina je slitina železa s uhlíkem nad 2,14 %. Běžná šedá litina má přes 3 % C. Vyrábí se odléváním, takže polotovar má rovnou tvar blízký hotovému dílu. Nedá se běžně kovat ani válcovat. Její vlastnosti určuje hlavně tvar grafitu.

Šedá a tvárná litina

V litině je uhlík z velké části ve formě **grafitu**. Rozhoduje, jak vypadá.

- **Šedá litina** má lupínkový grafit. Lupínky působí jako malé vruby, proto je křehká. Výborně ale tlumí chvění a dobře snáší tlak.
- **Tvárná litina** má grafit v kuličkách. Vruby téměř nevznikají, proto je pevnější a má tažnost.



Obr. 5.1 Grafit v litině pod elektronovým mikroskopem: zleva GG lupínkový, GGV červíkovitý, GGG kuličkový.
Vlastník obrázku: Ivak at Czech Wikipedia, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GGV-GGG.jpg

Značení litin

Podle EN začíná značka **EN-GJ**, kde G znamená odlitek a J železo. Třetí písmeno říká tvar grafitu: **L** lupínkový, **S** kuličkový. Číslo za ním je nejmenší pevnost v tahu v MPa. U tvárné litiny následuje ještě tažnost v procentech.

EN	ČSN	Dříve	Rm (MPa)	A (%)	Struktura	Použití
EN-GJL-250	42 2425	GG-25	250 až 350	nízká	perlit	lože strojů, skříně, bloky
EN-GJS-400-15	42 2304	GGG-40	400	15	ferit	armatury, díly s rázy
EN-GJS-500-7	42 2305	GGG-50	500	7	perlit a ferit	skříně, kola, klikové hřídele
EN-GJS-600-3	42 2306	GGG-60	600	3	perlit a ferit	namáhané díly, ozubení

PAMATUJ
Tvrdost šedé litiny EN-GJL-250 se uvádí orientačně 190 až 230 HB. Skutečná hodnota závisí na tloušťce stěny a průřezu odlitku.

Jak se litina obrábí

Litina patří do skupiny ISO K. Tříska je krátká a drobivá, takže s ní nebývá problém. Materiál je ale abrazivní, obsahuje tvrdé částice karbidu křemíku. Brousí nástroj hlavně na hřbetu.

- **Slévárenská kůra** je tvrdá a obsahuje písek. První třísku veď pod ní a nezačínej malým záběrem.
- Často se používají negativní destičky s tlustým povlakem oxidu hlinitého.

- Šedá litina se často obrábí bez chlazení, tvárná litina se chová víc jako ocel a dává delší třísku.
- Grafit v šedé litině mírně maže, to je výhoda u vodicích ploch.

POZOR

Litinový prach je jemný, černý a dráždí dýchací cesty. Nefoukej ho stlačeným vzduchem. Používej odsávání a ochranu dýchání podle pokynu UOV. Stroj po práci vyčisti, prach se s emulzí mění v abrazivní kal a ničí vedení.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Litina má přes 2,14 % C a vyrábí se odléváním.
- Lupínkový grafit znamená šedou litinu, kuličkový tvárnou.
- EN-GJS-500-7 znamená Rm 500 MPa a tažnost 7 %.
- Litina je abrazivní a práší. Řeš nástroj a odsávání.

6

ČÁST 1: LITINY, NEŽELEZNÉ KOVY A PLASTY

Neželezné kovy

Hliník, měď, mosaz, bronz a titan. Značení, použití a jak se každý z nich obrábí.

Neželezné kovy se obrábějí většinou snadno, ale každý po svém. Do skupiny ISO N patří hliník, měď, mosaz a bronz. Titan je ve skupině S a je podstatně náročnější. Třísky drž odděleně, jsou cenné a dají se recyklovat.

Materiál	Hustota (g/cm³)	Tavení (°C)	Vodivost (W/(m·K))	Typické použití
Hliník	2,7	660	asi 237	přípravky, profily, lehké díly
Měď	8,96	1085	asi 385 až 401	elektrotechnika, chladiče, trubky
Mosaz CuZn39Pb3	8,47	875	123	armatury, šroubení, soustružené díly
Bronz	dle složení	dle složení	asi 26 až 50	kluzná ložiska, pouzdra
Titan Ti6Al4V	asi 4,43	kolem 1650	asi 6,7	letectví, implantáty

Hliník a jeho slitiny

Hliník je lehký, dobře vede teplo a na vzduchu se chrání tenkou vrstvou oxidu. Čistý hliník je měkký a lepí se na nástroj. V dílně se proto používají slitiny. Tvářené slitiny se značí **EN AW** a čtyřmístným číslem, chemickou značkou v závorce. A znamená hliník, W tvářený materiál.

Slitina	Hlavní prvky	Rm (MPa)	Obrobitelnost	Svařitelnost	Použití
EN AW-5754	Mg	190 až 250	dostatečná	dobrá	plechy, moře
EN AW-6060	Mg, Si	215 až 260	uspokojivá	dobrá	tažené profily
EN AW-6082	Si, Mg, Mn	300 až 350	dobrá	dobrá	strojní díly, přípravky
EN AW-2007	Cu, Pb, Mg	370 až 470	velmi dobrá	nevhodná	soustružené díly
EN AW-7075	Zn, Mg, Cu	asi 360 až 560	velmi dobrá	nevhodná	vysoce pevné díly, formy

Za značkou bývá stav materiálu. Například **T6** znamená vytvrzený materiál. Hliník se nekalí jako ocel. Jeho pevnost roste vytvrzováním, kdy se slitina ohřeje, rychle zchladí a nechá stárnout.

Zásady obrábění hliníku

- Velká řezná rychlost a ostrý břit s velkým kladným úhlem čela.
- Pozor na nárůstek, pomáhá leštěná destička.
- Hliník se teplem hodně roztahuje. Měř díl po vychladnutí.
- Měkké díly upínej opatrně, čelisti snadno zanechají otisk.
- Slitiny s vysokým obsahem křemíku jsou abrazivní a rychleji ničí břit.



Obr. 6.1 Hliníkové ingoty ve skladu hutě, historická kolorovaná fotografie.
Vlastník obrázku: Anders Beer Wilse, Wikimedia Commons, licence CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aluminum_ingots_at_Norwegian_Aluminium_Company.jpg

Měď, mosaz a bronz

Měď výborně vede teplo a elektřinu. Je houževnatá a lepí se, takže se neobrábí snadno.

Mosaz je slitina mědi a zinku. Automatová mosaz **CuZn39Pb3** (CW614N) má 57 až 59 % mědi a 2,5 až 3,5 % olova, Rm má 360 až 500 MPa. Je měřítkem dobré obrobitelnosti: tříska se drobí a povrch je čistý. Břit bývá téměř bez kladného úhlu čela, jinak se může nástroj do materiálu vtahovat.

Bronz je slitina mědi hlavně s cínem, například CuSn8 má asi 8 % cínu. Má dobré kluzné vlastnosti, proto se používá na pouzdra a ložiska.



Obr. 6.2 Mosazné a měděné trubky ve válcovně, historická fotografie. *Vlastník obrázku: Alfred T. Palmer, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Copper_and_Brass_-_Inside_brass_and_copper_tube_mill.jpg*

> **POZOR**
> Automatová mosaz obsahuje olovo. Po práci si umyj ruce a v dílně nejez. Třísky neodfoukávej, zameť je do označené nádoby.

Titan a jeho slitiny

Titan má dobrý poměr pevnosti a hmotnosti a vynikající korozní odolnost. Nejběžnější slitina **Ti6Al4V** (Grade 5, 3.7165) má Rm asi 900 až 1070 MPa při hustotě asi 4,43 g/cm³.

Tepelně vede velmi špatně, asi 6,7 W/(m·K), proto se teplo drží na břitu. Řezná síla je vysoká a vzniká opotřebení vrubem.

- malá řezná rychlost a stálý posuv,
- ostré nástroje a tuhé upnutí,
- bohaté chlazení přímo do řezu,
- třísky uklízej hned.



Obr. 6.3 Titanová houba z Krollova procesu, surovina pro výrobu titanu. *Vlastník obrázku: US gov, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Titanium_metal.jpg*

> **POZOR**
> Tenké a suché třísky titanu a hořčíku mohou hořet. Takový požár se nesmí hasit vodou. Práci s těmito materiály dělej jen po poučení a s vědomím UOV, kde je vhodný hasicí prostředek.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Hliník: velká rychlost, ostrý břit, pozor na nárůstek a tepelnou roztažnost.
- Mosaz: výborná obrobitelnost, ale automatová obsahuje olovo.
- Bronz je na kluzná ložiska a pouzdra.
- Titan: malá rychlost, velké chlazení, jeho třísky mohou hořet.

7

ČÁST 1: LITINY, NEŽELEZNÉ KOVY A PLASTY

Plasty a jiné materiály

Technické plasty a kompozity ve strojírenství a na co si dát pozor při jejich obrábění.

Plasty jsou lehké, tiché a nerezaví. Používají se na kladky, kluzné lišty, těsnění a izolace. Při obrábění ale rozhoduje jiná věc než u kovů: špatně vedou teplo a při ohřevu rychle měknou.

Plast	Hustota (g/cm³)	Trvale do (°C)	Tavení (°C)	Vlastnosti a použití
PE-HD	0,95	80	135	měkký, nízké tření, kluzné lišty
PA, polyamid	1,15	100	221	houževnatý, nasákavý, kladky a ozubení
POM-C	1,41	100	166	tuhý, rozměrově stálý, přesné díly
PET-P	1,36	110	244	velmi tuhý a stálý
PTFE, teflon	2,18	260	neuvedeno	velmi nízké tření, měkký, chemicky odolný
PEEK	1,31	260	341	velmi tuhý a odolný, drahý

Zásady obrábění plastů

- Velmi **ostrý nástroj** s velkým kladným úhlem, tupý břit plast roztaví nebo potrhá.
- Odváděj teplo. Plasty se běžně chladí vzduchem nebo se obrábějí nasucho, emulze může plastu škodit.
- **Plasty se teplem hodně roztahují.** Měř je až po vychladnutí a počítej s tím u tolerancí.
- Polyamid přijímá vlhkost, proto se může po čase rozměrově změnit.
- Upínej lehce a s velkou plochou, díl se snadno zdeformuje.

POZOR

PTFE a další fluoroplasty se nesmějí přehřát. Třísky nespaluj a při práci s nimi nekuř. Obecně platí, že se plasty v dílně nepalí.

Kompozity

Kompozit spojuje vlákna a pryskyřici. Uhlíkové a skelné lamináty jsou lehké a pevné, ale vlákna jsou velmi abrazivní. Běžný břit rychle otupí, proto se používají nástroje s diamantem PCD. Prach je nebezpečný, proto se obrábí s odsáváním a ochranou dýchání podle pokynu UOV. Technická keramika je velmi tvrdá a většinou se brousí.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Plasty špatně vedou teplo a hodně se roztahují.
- Potřebují ostrý nástroj, malé upínací síly a chlazení vzduchem.
- Kompozity jsou abrazivní a jejich prach je nebezpečný.

8

ČÁST 1: MATERIÁL A OBRÁBĚNÍ

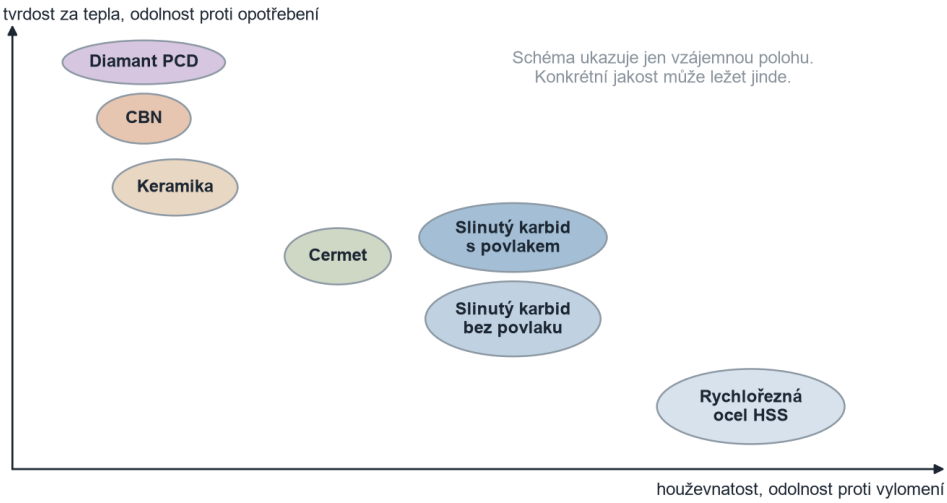
Řezné materiály nástrojů

Rychlořezná ocel, slinutý karbid, cermet, keramika, CBN a diamant. Co na co použít.

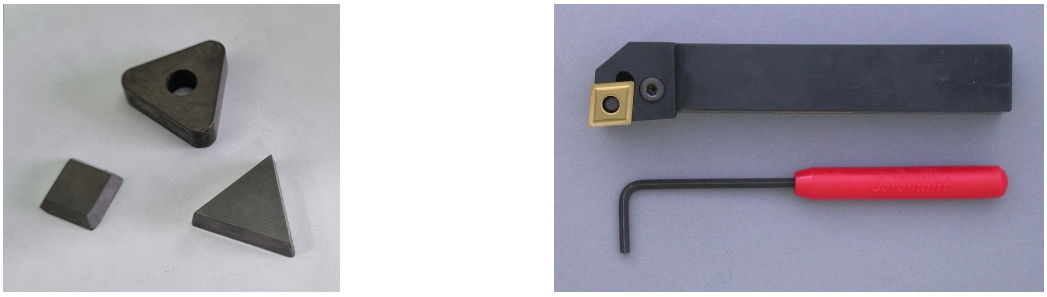
Břit musí být tvrdší než obráběný materiál, a to i za vysoké teploty v místě řezu. Zároveň se nesmí vylomit. Tvrdost a houževnatost jdou proti sobě, proto žádný řezný materiál není nejlepší na všechno. Dobrá volba záleží na tom, co a jak obrábíš.

Materiál	Z čeho je	Silná stránka	Slabina	Na co se hodí
HSS	ocel s W, Mo, V, například HS6-5-2	houževnatá, dá se přebrousit, ostrý břit	měkne nad asi 500 °C	vrtáky, závitníky, malé frézy, malé rychlosti
Slinutý karbid	karbid wolframu a pojivo kobalt	univerzální, tvrdost i houževnatost	drahší, křehčí než HSS	většina destiček a monolitních fréz
Cermet	tvrdé částice s kovovým pojivem	málo nárůstku, čistý povrch	citlivý na tepelný šok, malé záběry	dokončování ocelí, nasucho
Keramika	oxidová, nitrid křemíku a další	velmi vysoké řezné rychlosti	křehká, tepelný šok	šedá litina, žáropevné slitiny
CBN	kubický nitrid boru	tvrdé oceli nad 45 HRC	pod 45 HRC se rychle opotřebí	soustružení kalených dílů, litina

Materiál	Z čeho je	Silná stránka	Slabina	Na co se hodí
PCD, diamant	polykrystalický diamant	extrémní odolnost proti otěru	nesnáší železo a vysoké teploty	hliník s křemíkem, kompozity



Obr. 8.1 Řezné materiály podle tvrdosti a houževnatosti. Schéma ukazuje vzájemnou polohu, nejde o měření.



Obr. 8.2 Destičky ze slinutého karbidu (vlevo) a soustružnický držák s vyměnitelnou destičkou (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Mauro Cateb, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tungsten_carbide_inserts.jpg; vpravo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LatheCarbideTippedTool.jpg

Povlaky

Většina destiček ze slinutého karbidu má povlak, podle výrobce Sandvik Coromant je to 80 až 90 %. Povlak je tenká tvrdá vrstva, chrání před opotřebením i teplem a podklad zůstává houževnatý.

- **CVD** se nanáší při 700 až 1050 °C. Vrstva je silnější a dobře snáší otěr. Typicky na soustružení ocelí.
- **PVD** se nanáší při 400 až 600 °C. Vrstva je tenká a hrana zůstává ostrá. Typicky na monolitní frézy, vrtáky, zapichování a závity.

> **PAMATUJ**
> Řezná rychlost, posuv a hloubka řezu se vždy řídí katalogem výrobce a konkrétní destičkou. Čísla ze sešitu ani paměti tam nepatří.

Když se materiál změní, změň také nástroj a podmínky. Pokud se břit po krátké době vylamuje, je řezný materiál příliš tvrdý nebo chybí tuhost. Když se rychle otírá, je málo odolný nebo je řezná rychlost moc velká.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Tvrdost a houževnatost jdou proti sobě.
- HSS je houževnatá, slinutý karbid univerzální.
- CBN je na kalené oceli, PCD na neželezné kovy, ale nesnáší železo.
- Povlak prodlužuje životnost, CVD a PVD se nanášejí jinak.

ČÁST 1: MATERIÁL A OBRÁBĚNÍ

9 Obrobitelnost a poznávání materiálu

Skupiny ISO, jak poznat materiál v dílně, formy polotovarů a čtení materiálového listu.

Obrobitelnost není vlastnost, kterou změříš jedním přístrojem. Znamená, jak dlouho vydrží nástroj, jaký bude povrch, jak se chová tříska a jak velká je řezná síla. Výrobci nástrojů proto dělí materiály do skupin podle ISO.

Skupiny materiálů podle ISO

ISO	Co patří do skupiny	Jak se chová	Měrná řezná síla (N/mm²)
P	oceli, ocelolitina, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli	tříska obvykle dobře zvládnutelná, nízkouhlíkové oceli se lepí	1400 až 3100
M	korozivzdorné, austenitické a duplexní	dlouhá tříska, zpevňování, nárůstek, teplo	1800 až 2850
K	litiny	krátká tříska, abrazivní	790 až 1350
N	hliník, měď, mosaz, bronz, hořčík	měkké, nejmenší síly, čistý hliník se lepí	350 až 700

ISO	Co patří do skupiny	Jak se chová	Měrná řezná síla (N/mm²)
S	žáropevné slitiny a titan	velké teplo, zpevňování, opotřebení vrubem	titan 1300 až 1400, slitiny 2400 až 3100
H	kalené oceli asi 45 až 68 HRC	velké síly, abrazivní, používá se CBN a keramika	2550 až 4870

Jak poznat materiál v dílně

Nejistý materiál do práce nedávej. Když polotovar nemá značení, řekni UOV. Následující pomůcky ti poradí, co to asi je. **Jistotu ale dá jen atest nebo chemický rozbor.**

Značení barvou

Ve skladech se konce tyčí značí barvou. Český klíč popisuje ČSN 42 0010, kde se značky rozlišují jedním až třemi pruhy. Dodavatelé ale často používají vlastní barvy. Vždy se proto podívej do tabulky dodavatele nebo skladu. Po uříznutí barevného konce značení přenes na zbytek tyče, jinak z ní bude neznámý materiál.

Jiskrová zkouška

Při lehkém přitlačení na brusný kotouč poznáš ocel podle jisker. Zkouší se porovnáním se známým vzorkem, nejlépe v tmavším místě a vždy stejným přítlakem. Kotouč musí být čistý.



Obr. 9.1 Typické jiskry při zkoušce na brusce. Vlastní schéma podle popisu zkoušky, skutečné jiskry se liší podle kotouče a přítlaku.

U korozivzdorné oceli je jisker málo, jsou oranžové až slámově žluté a u série 300 bez rozvětvení. Zkouška nedá jistotu, jen tě nasměruje.

POZOR

Brus jen s povolením UOV, v brýlích nebo se štítem a se správně seřízenou opěrkou. Nepoužívej rukavice, které může kotouč zachytit. Hliník, mosaz ani jiné měkké kovy na ocelářský kotouč nepatří, zanesou ho.

Magnet, vzhled a hmotnost

Materiál	Magnet	Barva, vzhled a hmotnost	Tříska
Uhlíková ocel	ano	šedá, po válcování tmavá kůra, těžká	stuha až šroubovice
Korozivzdorná austenitická	obvykle ne	světlá, lesklá, bez rzi, těžká	dlouhá a houževnatá
Litina	ano	matná, tmavá, na lomu šedá	krátká, drobivá, černá
Hliník	ne	stříbřitý, velmi lehký	lesklá, dlouhá
Měď a mosaz	ne	červenohnědá, žlutá, těžké	měď dlouhá, mosaz drobivá
Titan	ne	šedý, o dost lehčí než ocel	tenká, může jiskřit

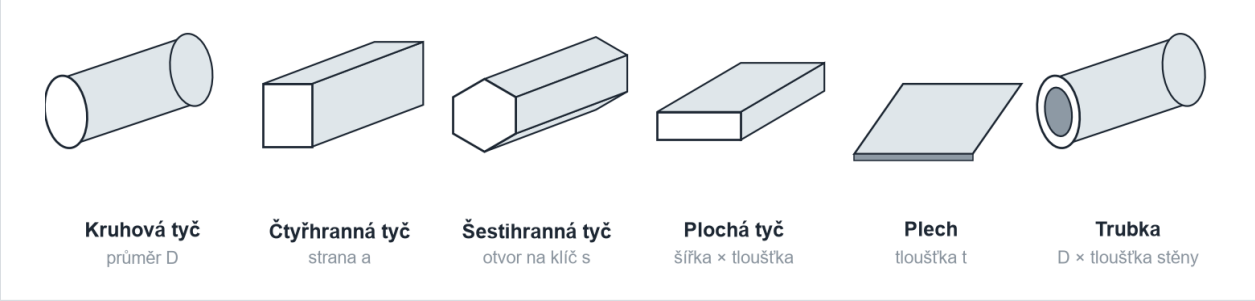
Formy polotovarů

Polotovar se volí podle tvaru dílu. Tyče mohou být válcované za tepla s kůrou nebo tažené za studena s přesnějším rozměrem a čistým povrchem.

Ve značce polotovaru je rozměr i materiál. Čím blíž je tvar hotovému dílu, tím méně práce a odpadu.



Obr. 9.2 Šestihranné tyče v obráběcí dílně.
Vlastník obrázku: Cdang, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barre_hexagonale.jpg



Obr. 9.3 Běžné formy polotovarů a rozměr, kterým se popisují.

Jak číst materiálový list

Materiálový list popisuje značku oceli obecně. **Atest**, například inspekční certifikát 3.1 podle EN 10204, je doklad ke konkrétní dodávce a tavbě. Tabulka ukazuje, co v listu hledat na příkladu oceli C45 z listu výrobce Saarstahl.

Co hledat	Příklad C45	Proč tě to zajímá
Značka a číslo	C45, 1.0503, EN 10083	ověříš, že máš správný materiál
Chemické složení	C 0,42 až 0,50, Mn 0,50 až 0,80 %	uhlík a legury určují chování
Tváření a tepelné zpracování	normalizace 840 až 880 °C, vzduch; naměkko 680 až 710 °C, pec; kalení 820 až 860 °C, voda, olej; popouštění 550 až 660 °C	co se s dílem smí stát a při jaké teplotě
Stav dodání a tvrdost	+A max. 207 HB, +S max. 255 HB	co čekat na nástroji
Mechanické vlastnosti	+N a +QT podle průměru	hodnoty platí jen pro uvedený rozměr

Hodnoty v této příručce jsou orientační. Vždy platí materiálový list dodavatele a atest konkrétní tavby. Dbej na to, pro jaký průměr a stav hodnota platí.

CO SI ZAPAMATOVAT

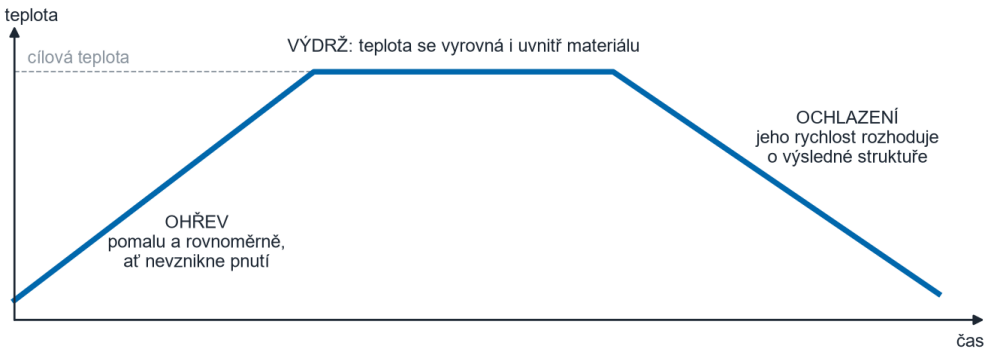
- ISO skupiny P, M, K, N, S, H řídí volbu nástroje a podmínek.
- Barva, jiskra, magnet a vzhled jsou jen nápověda. Jistotu dává atest.
- Materiálový list platí pro značku, atest pro konkrétní tavbu.
- Po uříznutí konce tyče přenes značení na zbytek.

ČÁST 2: ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

10 Základy tepelného zpracování

Co se děje s ocelí při ohřevu, zjednodušený diagram železo-uhlík a základní struktury.

Tepelné zpracování je řízený ohřev, výdrž a ochlazení materiálu v tuhém stavu. Mění strukturu, a tím i vlastnosti. Chemické složení zůstává stejné (kromě chemicko-tepelného zpracování). Stejná ocel C45 může být měkká na obrábění, nebo tvrdá pro povrch hřídele.



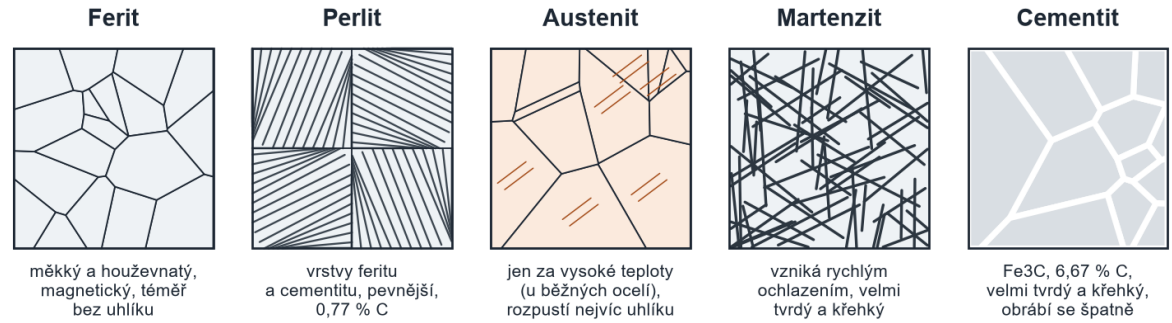
Obr. 10.1 Průběh tepelného zpracování v diagramu teplota a čas. Konkrétní hodnoty závisí na materiálu a velikosti dílu.

Co se děje s ocelí při ohřevu

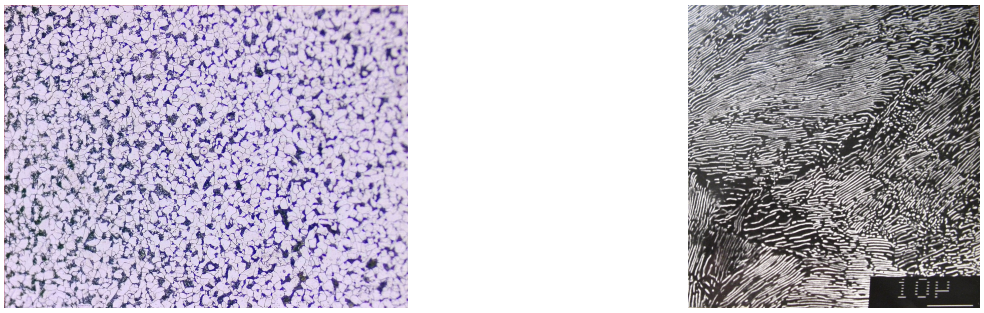
Atomy železa jsou uspořádané v krystalové mřížce. Za pokojové teploty má železo mřížku, do které se uhlík téměř nevejde. Uhlík je proto vázaný hlavně v tvrdém karbidu Fe3C, který se jmenuje cementit.

Nad teplotou přeměny se mřížka změní. Vznikne **austenit**, který rozpustí mnohem víc uhlíku. Co se stane potom, závisí na rychlosti ochlazení. Při pomalém ochlazení uhlík stihne přejít zpět a vznikne ferit s perlitem. Při rychlém ochlazení nestihne a vznikne tvrdý **martenzit**.

Základní struktury



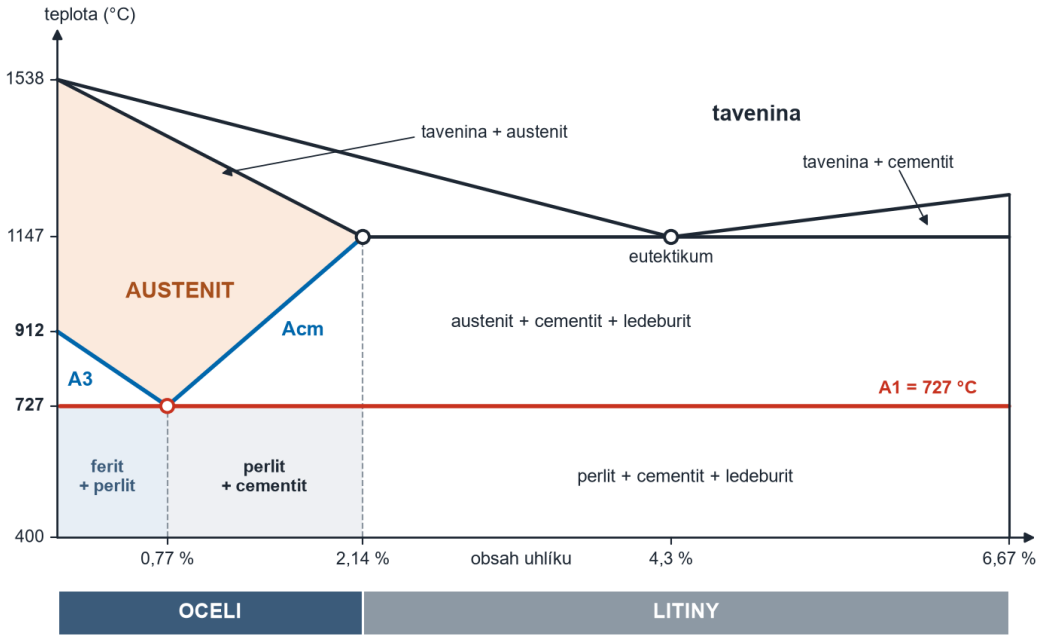
Obr. 10.2 Zjednodušené schéma struktur. Slouží k zapamatování, skutečnost ukazují snímky pod ním.



Obr. 10.3 Skutečné struktury: ferit (světlý) a perlit (tmavý) v oceli 20Cr (vlevo). Vrstevnatý perlit v oceli s asi 0,8 % C pod elektronovým mikroskopem (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Surface engineering, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Микроструктура_стали_20Х.jpg; vpravo Edward Pleshakov, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pearlite1.jpg

Zjednodušený diagram železo-uhlík

Diagram ukazuje, jaká struktura je rovnovážná při určité teplotě a obsahu uhlíku. Rovnovážná znamená, že ochlazení je velmi pomalé. Na ose x je obsah uhlíku, na ose y teplota. Diagram je tady zjednodušený a chybí v něm oblast kolem 1500 °C, se kterou se v dílně nesetkáš.



Obr. 10.4 Zjednodušený diagram železo-uhlík (železo-cementit), vlastní schéma. Čáry jsou zjednodušené.

Bod nebo čára	Hodnota	Co znamená
Eutektikum	4,3 % C, 1147 °C	nejnižší teplota tuhnutí, litiny se dobře odlévají
Hranice ocel a litina	2,14 % C	nejvíc uhlíku, které se rozpustí v austenitu
A1, eutektoid	727 °C, asi 0,77 % C	austenit se mění na perlit, pod ní austenit u běžné oceli není
A3	912 až 727 °C	nad ní je ocel do 0,77 % C celá austenitická
Acm	727 až 1147 °C	nad ní se v austenitu rozpustí všechen cementit
Ferit a cementit	asi 0,02 % C a 6,67 % C	skoro čisté železo a karbid Fe3C

Ocel C45 leží vlevo od bodu 0,77 %, říká se jí podeutektoidní. Za pokojové teploty má ferit a perlit. Čím víc uhlíku, tím víc perlitu.

Tepelné zpracování se dělí na žíhání, kalení, popouštění, zušlechťování a chemicko-tepelné zpracování. Přehled všech druhů najdeš v kapitole 16.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Tepelné zpracování má ohřev, výdrž a ochlazení.
- Rychlost ochlazení rozhoduje: pomalu ferit a perlit, rychle martenzit.
- A1 = 727 °C je základní teplota, kterou musíš znát.
- Hranice mezi ocelí a litinou je 2,14 % C.

11

ČÁST 2: ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

Žíhání

Žíhání naměkko, normalizační, na snížení pnutí a rekrystalizační. Teploty a ochlazení.

Žíhání je pomalý ohřev, výdrž a pomalé ochlazení. Cílem je přiblížit materiál rovnovážnému stavu: změkčit ho, vyrovnat strukturu nebo snížit vnitřní pnutí. Pro obráběče je žíhání často to, co rozhoduje, jestli se materiál bude dobře obrábět.

Teploty v tabulce jsou orientační a vztahují se hlavně k nelegovaným a nízkolegovaným ocelím. U vysoce legovaných ocelí mohou být jiné, například ocel 1.2379 se žíhá naměkko při 800 až 820 °C. Vždy platí materiálový list.

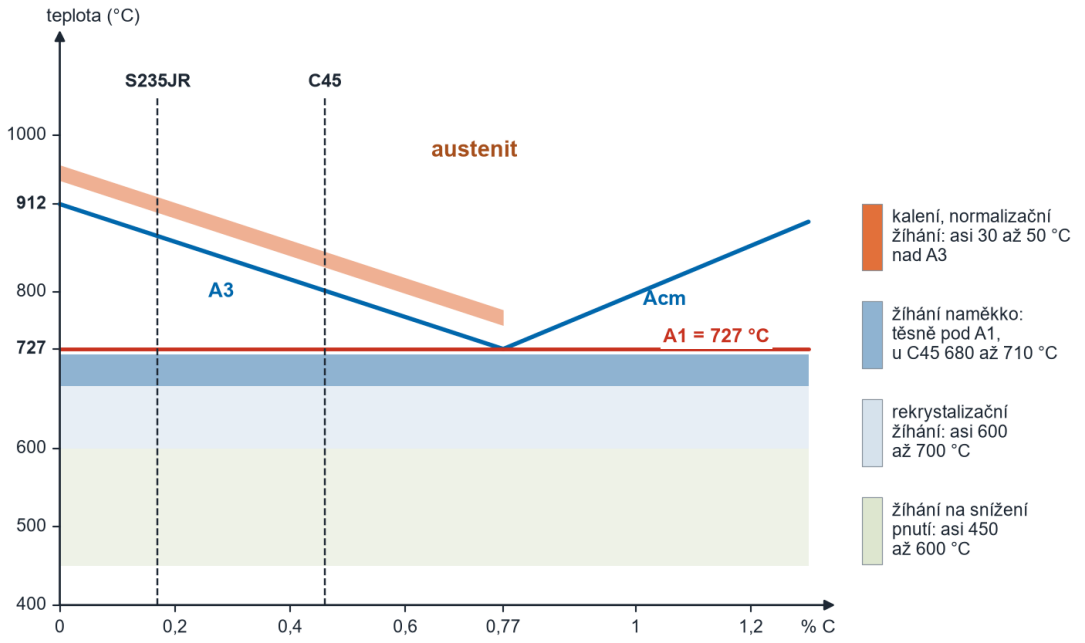
Druh	Teplota	Výdrž	Ochlazení	Účel
Naměkko	těsně pod A1. C45: 680 až 710 °C, 42CrMo4: 680 až 720 °C	hodiny	velmi pomalu, v peci	nejmenší tvrdost, lepší obrobitelnost, příprava na kalení
Normalizační	30 až 50 °C nad A3. C45: 840 až 880 °C	krátká, podle tloušťky	volně na vzduchu	jemné a rovnoměrné zrno, vyrovnaná struktura
Na snížení pnutí	asi 450 až 600 °C, 1.2379 a 1.2344: 650 °C	hodiny	pomalu, v peci	menší pnutí po svařování, tváření a hrubování
Rekrystalizační	asi 600 až 700 °C	asi hodina	na vzduchu	obnoví tvárnost po tváření za studena

Bez ohledu na druh žíhání nesmí díl uvnitř a venku mít velké rozdíly teplot. Proto se masivní díly ohřívají pomaleji a výdrž se počítá podle tloušťky.

Žíhací pec je horká i dlouho po vypnutí. Dvířka otevírej jen v rukavicích a s vědomím UOV. Na obrázku jsou výstražné tabulky, které na takovém pracovišti musíš respektovat.



Obr. 11.1 Laboratorní muflová pec s tabulkami o povinných rukavicích a vysokých teplotách. *Vlastník obrázku: Cjp24, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muffle_furnace.jpg*



Obr. 11.2 Teplotní pásma žíhání a kalení v ocelové části diagramu. Pásma jsou orientační, legury je posouvají.

Co z toho má obráběč

- **Žíhání naměkko** je běžný stav při dodání. Díky němu lze obrábět nástrojové oceli i legované oceli k zušlechťování. C45 pak má nejvýše 207 HB a 42CrMo4 nejvýše 241 HB.
- **Normalizační žíhání** vyrovná strukturu po kování, válcování nebo odlévání. Výsledný materiál se obrábí stejnoměrněji a menší je kolísání tvrdosti.
- **Žíhání na snížení pnutí** se dělá mezi hrubováním a dokončením u tvarově složitých nebo svařovaných dílů. Bez něj se díl po uvolnění z upínače může zkřivit.
- **Rekrystalizační žíhání** se používá například u materiálu taženého za studena, který se dál tváří.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Žíhání znamená pomalý ohřev a pomalé ochlazení.
- Naměkko se žíhá těsně pod A1, ochlazuje se v peci.
- Normalizační žíhání jde nad A3 a ochlazuje se na vzduchu.
- Na snížení pnutí se žíhá nejčastěji mezi hrubováním a dokončením.

ČÁST 2: ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

12 Kalení

Kalicí teplota, chladicí prostředí, prokalitelnost, vady a povrchové kalení.

Kalení je ohřev na kalicí teplotu, výdrž a ochlazení rychlostí větší, než je kritická rychlost. Vznikne martenzit, který je velmi tvrdý a křehký. Proto po kalení vždy následuje popouštění.

Kalicí teplota

Podeutektoidní oceli, tedy třeba C45, se kalí asi 30 až 50 °C nad A3. Při nízké teplotě by ve struktuře zůstal měkký ferit. Při vysoké by zhrublo zrno a díl by byl křehčí. Legované oceli mají kalicí teplotu podle materiálového listu, u rychlořezných je mnohem vyšší.

Ocel	Kalicí teplota	Chlazení	Tvrdost po kalení	Popouštění
C45	820 až 860 °C	voda, olej	podle průřezu, jen malé rozměry	podle účelu
42CrMo4	820 až 860 °C	olej, polymer, voda	asi 52 až 58 HRC	podle účelu
90MnCrV8	820 až 850 °C	olej, polymer	asi 60 až 65 HRC	nejméně 180 °C
HS6-5-2	1030 až 1210 °C podle cílové tvrdosti	podle listu	58 až 65 HRC po popuštění	560 °C, nejméně 3krát

Chladicí prostředí

Rychlost ochlazení musí stačit na vznik martenzitu, ale nesmí díl zbytečně namáhat. Proto se volí co nejmírnější prostředí, které ještě zajistí požadovanou tvrdost.

Kalení velkých dílů je náročné a nebezpečné. Olej se od žhavého dílu vzněcuje, proto musí být pracoviště vybavené.

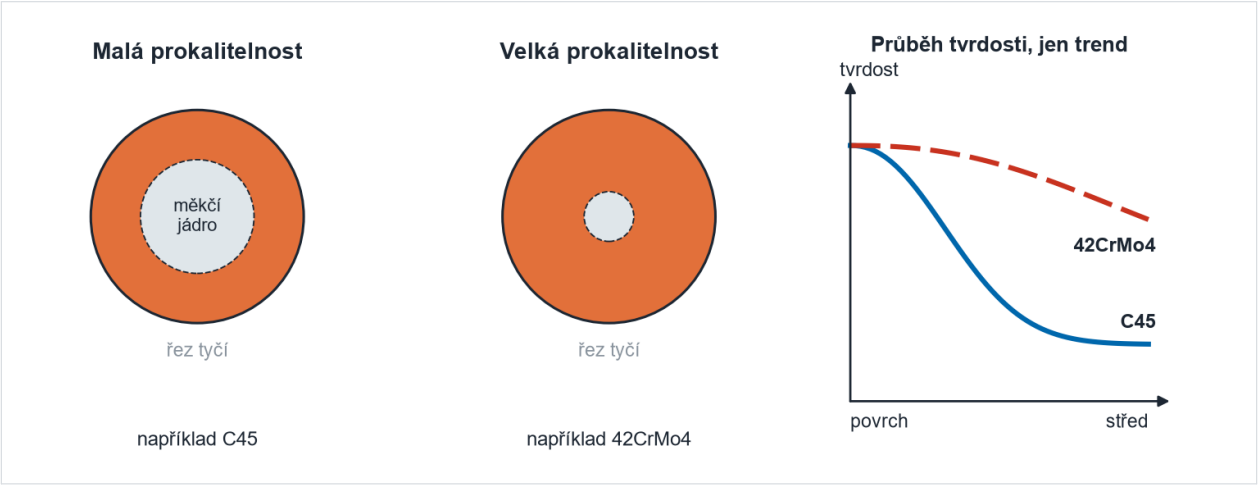


Obr. 12.1 Velký rozžhavený díl nad kalicí lázní, nad kterou šlehají plameny. Fotografie z roku 1977. *Vlastník obrázku: Comet Photo AG (Zürich), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Com_C26-023-001.jpg*

Prostředí	Rychlost	Použití	Riziko
Voda	velká	uhlíkové oceli	velké pnutí, deformace, trhliny
Olej	menší	legované oceli	menší pnutí, požár oleje a výpary
Polymerová lázeň	podle koncentrace	legované oceli, náhrada oleje	nutné hlídat koncentraci
Solná lázeň	velmi rychlá, pak se zpomaluje	izotermické postupy, malé pnutí	horká sůl, zvláštní pracoviště
Vzduch	malá	samokalitelné oceli	velmi malé pnutí, nutná vhodná ocel

Kalitelnost a prokalitelnost

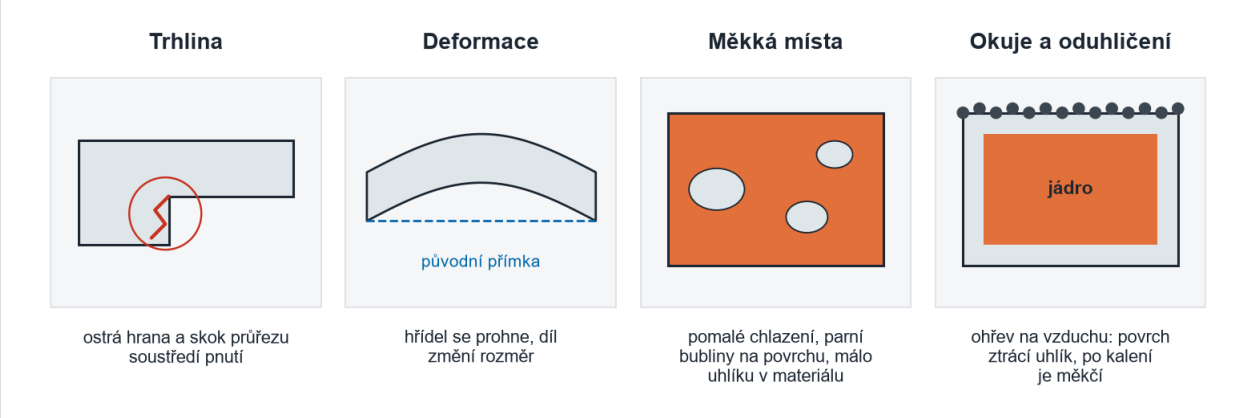
Tyto dva pojmy se často pletou. **Kalitelnost** říká, jestli a jak velké tvrdosti ocel dosáhne. Závisí hlavně na obsahu uhlíku a začíná přibližně od 0,35 % C. **Prokalitelnost** říká, do jaké hloubky se ocel zakalí. Zvyšují ji legury, proto se volí legovaná ocel pro větší průřezy. Nelegované oceli třídy 11 se prokalují jen do asi 25 až 30 mm. Zkouší se Jominiho čelní zkouškou.



Obr. 12.2 Prokalitelnost v řezu tyčí. Schéma ukazuje trend, přesný průběh závisí na oceli, rozměru a chlazení.

Vady a deformace při kalení

Kalení je pro díl velký šok. Povrch chladne dřív než jádro a vzniká přeměna spojená se změnou objemu. Díl se proto může zkřivit nebo prasknout. Mnoho vad začíná už při konstrukci a obrábění.

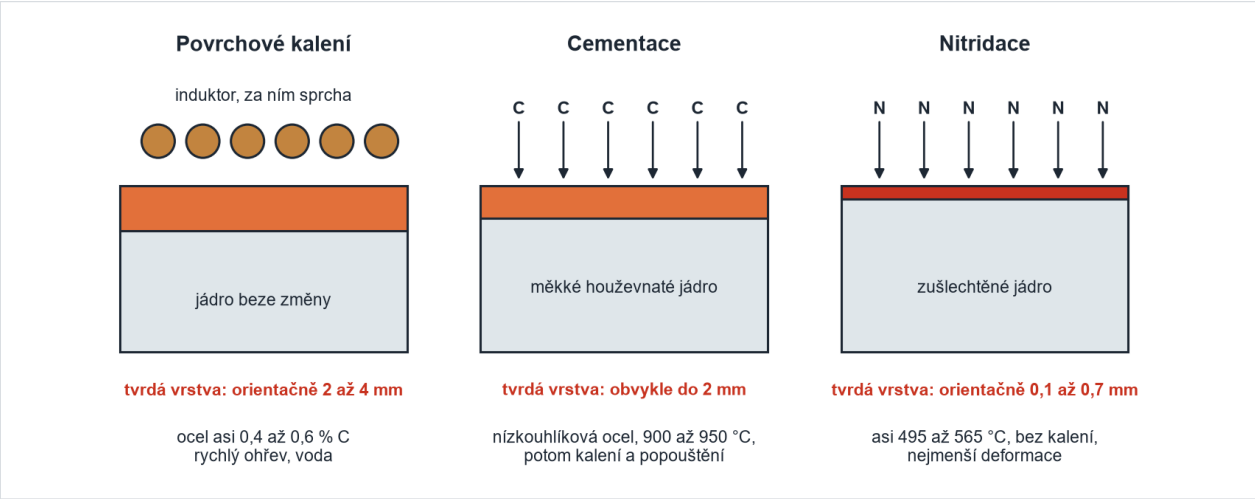


Obr. 12.3 Nejčastější vady po kalení.

Předejde se jim zaoblenými přechody, vhodným chladicím prostředím, správným ponořením a včasným popuštěním. Před kalením pomáhá žíhání na snížení pnutí.

Objemové a povrchové kalení

Při **objemovém kalení** se ohřívá a kalí celý díl. Při **povrchovém kalení** se rychle ohřeje jen povrchová vrstva a hned se ochladí, nejčastěji vodou. Jádro zůstává houževnaté. Hodí se pro čepy, hřídele a vodítka, kde je třeba tvrdý povrch a pevné jádro.



Obr. 12.4 Porovnání povrchových úprav. Tloušťky vrstev jsou orientační a na schématu zvětšené.

- Vhodné jsou oceli s asi 0,4 až 0,6 % C, tedy například C45 a 42CrMo4.
- Tloušťka vrstvy bývá několik milimetrů. Řídí se frekvencí, výkonem a časem.
- Ohřívat lze plamenem nebo **indukcí**, kdy teplo vzniká přímo v povrchu díky střídavému proudu v cívce.
- Po kalení se díl popouští při nízké teplotě, kolem 200 °C.
- Příklad: hřídel 42CrMo4 má po indukčním kalení 58 až 62 HRC ve vrstvě hluboké 2 až 3 mm.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Kalení znamená ohřev nad přeměnu a rychlé ochlazení. Vznikne martenzit.
- Kalitelnost závisí na uhlíku, prokalitelnost na legurách.
- Voda chladí nejrychleji a nejvíc namáhá díl.
- Ostré hrany a skoky průřezu způsobují trhliny.
- Povrchové kalení dává tvrdý povrch a houževnaté jádro.

13

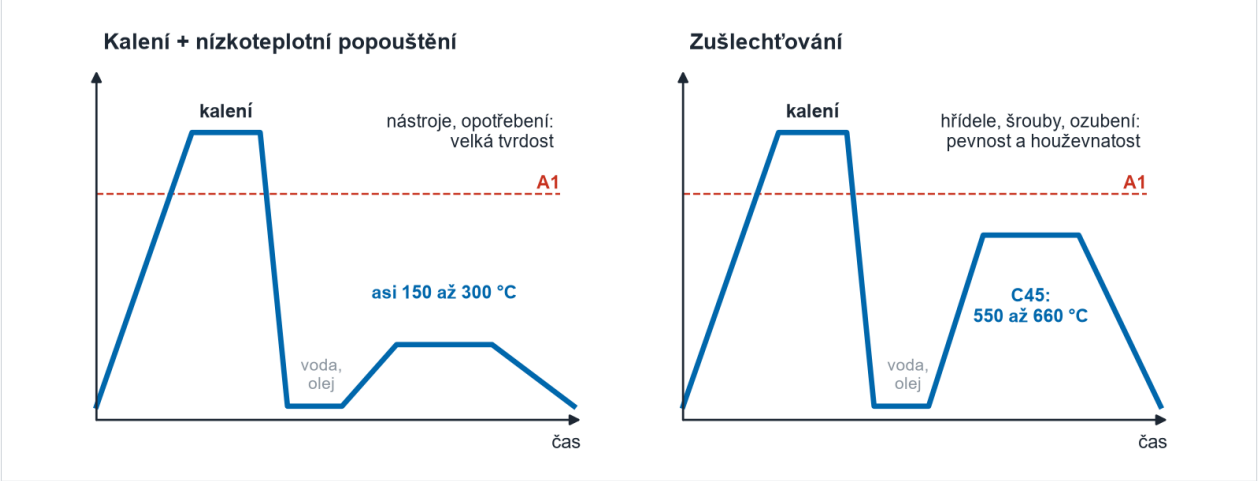
ČÁST 2: ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

Popouštění a zušlechťování

Nízkoteplotní a vysokoteplotní popouštění, barvy popouštění a příklady C45 a 42CrMo4.

Kalený martenzit je tvrdý, ale křehký a plný pnutí. Takový díl by se mohl rozbít už při manipulaci. Popouštění je ohřev kaleného dílu pod teplotu A1, výdrž a ochlazení. Snižuje křehkost a pnutí, tvrdost přitom klesá. Čím vyšší teplota, tím víc tvrdost klesne a tím víc roste houževnatost.

	Nízkoteplotní popouštění	Vysokoteplotní popouštění
Teplota	orientačně 150 až 300 °C	orientačně 540 až 680 °C
Co se změní	klesne pnutí, tvrdost zůstane velká	tvrdost výrazně klesne, houževnatost roste
Název celku	kalení a nízké popuštění	zušlechťování
Použití	nástroje, povrchově kalené díly, cementované díly	hřídele, čepy, šrouby, ozubená kola
Obrábění potom	broušení, případně CBN	soustružení a frézování je možné



Obr. 13.1 Diagramy kalení a popouštění. Křivky jsou schematické, časová osa není v měřítku.

> **POZOR**
> Popouštěj co nejdřív po kalení. Kalený díl s velkým pnutím může prasknout, i když jen leží.
> U některých ocelí je v určitých teplotních oblastech nebezpečí **popouštěcí křehkosti**, kolem 260 až 340 °C a v pásmu asi 370 až 600 °C. Přesný postup urči podle materiálového listu.

Barvy popouštění

Čistý ocelový povrch se při ohřevu zbarvuje tenkou vrstvou oxidů. Barva ukáže přibližnou teplotu. Dříve se tak popouštěly nástroje v dílně. Dnes je to spíš pomůcka pro rychlý odhad, například když po broušení vidíš zbarvené místo a víš, že se materiál přehřál.



Obr. 13.2 Orientační barvy popouštění uhlíkové oceli. Odstíny na obrázku jsou přibližné, ve skutečnosti závisí na světle a povrchu.

Zušlechťování

Zušlechťování je kalení a následné vysokoteplotní popouštění. Výsledkem je jemná struktura, vysoká pevnost a zároveň dobrá houževnatost. Díl z takového materiálu lze ještě obrábět. Zušlechtěná ocel se často kupuje přímo jako polotovar se značkou **+QT** nebo s doplňkem .6, .7, .8.

C45 a 42CrMo4 jako příklady

- **C45:** kalení 820 až 860 °C do vody nebo oleje, popouštění 550 až 660 °C na vzduchu. Méně namáhané díly menších rozměrů.
- **42CrMo4:** kalení 820 až 860 °C do oleje nebo vody, popouštění 540 až 680 °C na vzduchu. Namáhané díly: ojnice, ozubená kola, pastorky.

Hodnoty platí pro stav +QT, Re min a Rm v MPa, A min v %. Slovo není znamená, že list hodnotu pro daný průměr neuvádí.

Průměr d	C45 Re	C45 Rm	C45 A	42CrMo4 Re	42CrMo4 Rm	42CrMo4 A
do 16 mm	490	700 až 850	14	900	1100 až 1300	10
16 až 40 mm	430	650 až 800	16	750	1000 až 1200	11
40 až 100 mm	370	630 až 780	17	650	900 až 1100	12
100 až 160 mm	není	není	není	550	800 až 950	13
160 až 250 mm	není	není	není	500	750 až 900	14

Tabulka hezky ukazuje, proč jsou legury potřeba. S rostoucím průměrem klesá u obou ocelí pevnost, protože se materiál hůř prokalí. Ocel 42CrMo4 si ale drží hodnoty i ve velkých průřezech, kde C45 už hodnoty nemá.

Nástrojové oceli se popouštějí podle listu a často vícekrát: 1.2842 nejméně na 180 °C, 1.2379 v rozsahu 525 až 540 °C, rychlořezná 1.3343 na 560 °C nejméně třikrát.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Popouštění následuje vždy po kalení a snižuje křehkost i pnutí.
- Nízké popouštění zachová tvrdost. Vysoké zvýší houževnatost.
- Zušlechťování = kalení + vysokoteplotní popouštění.
- C45 se používá u menších průřezů, 42CrMo4 i u větších.
- Barvy popouštění jsou jen orientační.

ČÁST 2: ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

14 Chemicko-tepelné zpracování

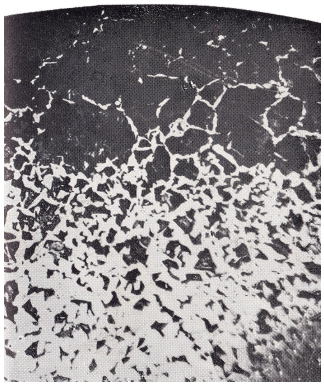
Cementace a nitridace: tvrdý povrch, houževnaté jádro a co to znamená pro obráběče.

Některé díly mají mít velmi tvrdý povrch, ale houževnaté jádro. Například ozubené kolo se nesmí opotřebovat na bocích zubů ani zlomit v patě. Chemicko-tepelné zpracování proto mění chemické složení povrchu. Prvek difunduje z prostředí do oceli a vytvoří tvrdou vrstvu.

Cementace

Při cementaci se díl z oceli s malým obsahem uhlíku ohřeje v prostředí bohatém na uhlík. Povrch se uhlíkem nasytí, jádro uhlík nezíská. Teprve potom se díl kalí a nízko popouští. Legované cementační oceli mají větší prokalitelnost a kalí se převážně do oleje. Nelegované se kalí do vody, což znamená větší pnutí.

- Ocel: nízkouhlíková nebo legovaná s asi 0,14 až 0,3 % C, typicky **16MnCr5** (14 220) nebo C15E (12 023).
- Teplota: orientačně 900 až 950 °C, 16MnCr5 kolem 920 °C.
- Vrstva: obvykle do 2 mm, záleží na čase.
- Tvrdost povrchu 16MnCr5: 56 až 62 HRC. Jádro zůstává houževnaté a nese rázy.



Obr. 14.1 Řez cementovanou ocelí, zvětšeno 200krát. Tmavý perlit vzniklý cementací směrem do jádra ubývá. *Vlastník obrázku: japonští autoři Yoshioka a Kato (přepis jmen z japonštiny), Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Section_of_carburized_steel.png*

Nitridace

Při nitridaci difunduje do povrchu dusík. Teplota je podstatně nižší, díl se nedostává nad přeměnu a **nekalí se**. Proto vznikají jen velmi malé deformace. Vhodné jsou oceli s prvky, které tvoří tvrdé nitridy: Cr, Mo, V, Al. Patří k nim i 42CrMo4 a nástrojové oceli.

- Teplota plynové nitridace: orientačně 495 až 565 °C.

- Vrstva: orientačně 0,1 až 0,7 mm.
- Tvrdost povrchu: orientačně 900 až 1200 HV.
- Čas: desítky hodin, orientačně 20 až 100 h. Po nitridaci obvykle stačí lehké leštění.
- Před nitridací se ocel zušlechtí. Popouštěcí teplota musí být alespoň o 30 °C vyšší než teplota nitridace, jinak díl při nitridaci změkne.

TIP

Když se místo na dílu nemá cementovat, musí se chránit vykrytím nebo přídavkem, který se před kalením odebere. Technolog to uvede v postupu.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Cementace přidává uhlík, kalí se až potom.
- Nitridace přidává dusík, nekalí se a deformace jsou malé.
- 16MnCr5 je typická cementační ocel, 42CrMo4 se dá nitridovat.
- Tvrdá vrstva je tenká, broušením ji nesmíš odstranit.

15

ČÁST 2: TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ V PRAXI

Praktická část pro obráběče

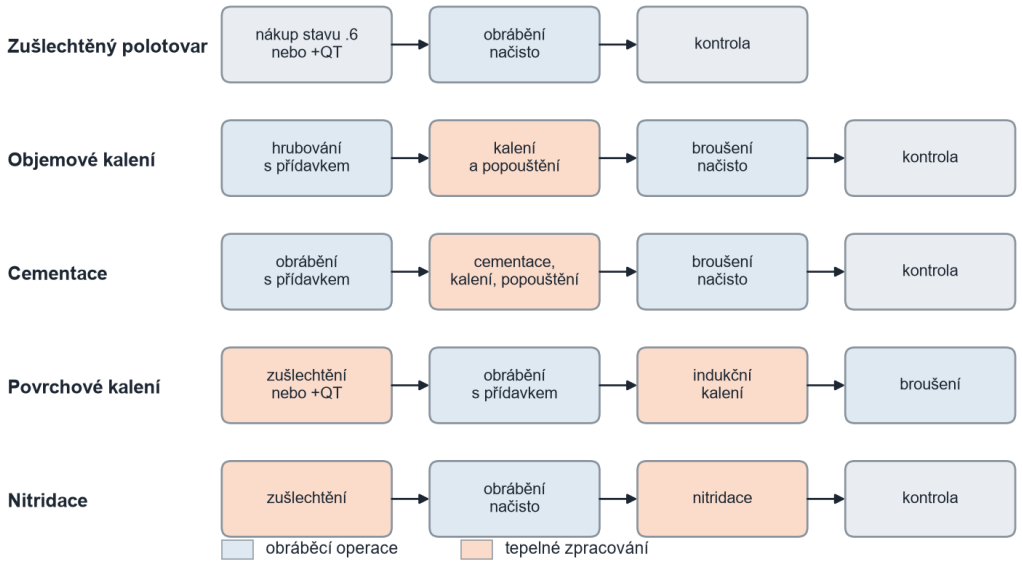
Pořadí operací, přídavky, tvrdý materiál a nástroj, kůra, broušení a bezpečnost v kalírně.

15

Tepelné zpracování obvykle neprovádíš ty, ale tvoje práce s ním musí počítat. Rozhoduje hlavně pořadí operací. Špatně zvolené pořadí znamená zničený díl nebo zničený nástroj.

Kdy se obrábí před a kdy po tepelném zpracování

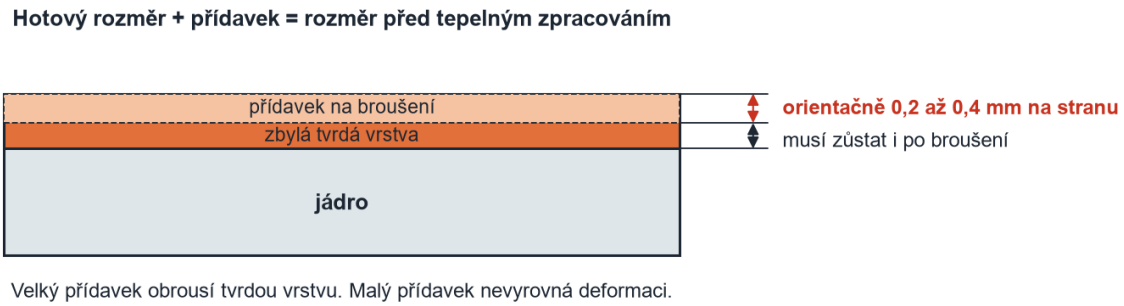
Závity a malé otvory dělej před kalením. Svařence a složité díly se hrubují, žíhají na snížení pnutí a teprve potom dokončují. Typické pořadí ostatních operací ukazuje obrázek.



Obr. 15.1 Typické pořadí operací podle druhu tepelného zpracování. Závazný je technologický postup.

Přídavky

Po kalení se díl zdeformuje a změní rozměr. Proto se před kalením nechává přídavek na broušení. Velikost určuje technolog podle velikosti dílu, tvaru a materiálu. Dlouhý a štíhlý hřídel potřebuje větší přídavek než krátký čep.



Obr. 15.2 Přídavek na broušení a tvrdá vrstva. Rozměry nejsou v měřítku.

Příklady ze zdrojů: 0,20 mm na stranu v dílenské směrnici, asi 0,13 až 0,25 mm u drážkovaných hřídelů a asi 0,25 až 0,38 mm u nástrojové oceli. Závazný je postup.

> **POZOR**
> Když díl obrousíš víc, než je povoleno, odstraníš tvrdou vrstvu a díl je k ničemu. Cementační a nitridační vrstva je tenká. Při rozměru pod výkresovou mírou nebo velkém přídavku se zastav a zeptej se UOV.

Co dělá tvrdý materiál s nástrojem

S tvrdostí roste řezná síla a teplo. Běžný karbid ve skupině P vydrží v zušlechtěné oceli, ale v kaleném materiálu rychle selže. Od asi 45 HRC se používají nástroje pro skupinu H. Na soustružení CBN a keramika, na frézování a vrtání slinutý karbid přibližně do 60 HRC.

- Pomalejší řezná rychlost, menší průřez třísky, tuhý nástroj a krátké vyložení.
- Břit se poškodí vylomením nebo vydrolením, kontroluj ho po krátkém čase.
- Tvrdé místo ve svaru nebo po řezání plamenem umí zničit destičku.

Kůra a okuje

Válcovaný, kovaný a odlitý materiál má na povrchu kůru a okuje. Jsou tvrdé a brusné. Okuje vznikají i při tepelném zpracování. Břit nesmí v kůře jezdit špičkou. Hloubka řezu musí být větší než tloušťka kůry.

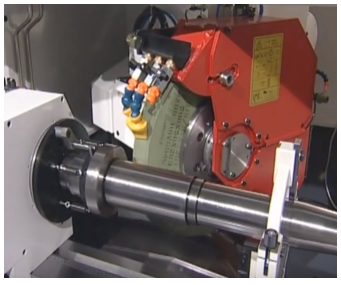


Obr. 15.3 Hloubka řezu a kůra. Když špička jede v kůře, opotřebí se během chvíle.

Broušení po kalení

Broušení je obvyklá dokončovací operace kalených dílů. Přináší přesný rozměr a kvalitní povrch. Kalený materiál je ale citlivý na přehřátí. Vznikají spáleniny a trhliny z broušení, a povrch pak může být měkčí nebo křehčí.

- Používej ostrý, orovnaný kotouč a správnou zrnitost.
- Přidávej málo na jeden průchod a zajisti bohaté chlazení.
- Zbarvení povrchu znamená přehřátí, řekni to UOV. Barvy znáš z kapitoly 13.



Obr. 15.4 Broušení hřídele na hrotové brusce.
Vlastník obrázku: Amos1947, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylindrical_grinder.jpg

Bezpečnost při práci s horkým materiálem a v kalírně

Do kalírny smíš jen se svolením UOV a po poučení. Hlavní nebezpečí jsou popáleniny, požár a výpary. Na rozdíl od práce u rotujícího stroje jsou tady ochranné rukavice povinné a oděv musí být nehořlavý.

Nebezpečí	Jak mu předejít
Horký kus nevypadá horký	Ocel přestane žhnout zhruba pod 500 °C, ale dál pálí. Kus po ohřevu označ a nechej vychladnout na určeném místě.
Popáleniny	Tepelně odolné rukavice, štít, kožená zástěra, pevná obuv. Nikdy syntetické oblečení, které se taví na kůži.
Olej a požár	Díl vkládej rychle a celý. Malé ponoření vyvolá plamen. Nad lázní se neskláněj. Hasicí prostředek měj po ruce, na olej ne voda.
Voda a horký olej	Voda v oleji prudce vře a rozstřikuje olej. V kalicí lázni nesmí být voda.
Výpary a chemie	Větrání a odsávání. Soli a přípravky jsou žíravé nebo jedovaté, řiď se bezpečnostním listem.
Manipulace	Správné kleště, dostatečný prostor, volná cesta od pece k lázni.

POZOR

Při popálení ihned chlaď postižené místo studenou tekoucí vodou a nahlas to UOV. Nedávej na popáleninu mast a nestrhávej přiškvařený oděv. Hořící olej nikdy nehas vodou. Znej, kde je lékárnička, hasicí přístroj a vypínání plynu a proudu.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Obrábí se většinou před kalením, po kalení se brousí.
- Přídavek počítá s deformací, ale nesmí odstranit tvrdou vrstvu.
- Od asi 45 HRC se používají nástroje pro kalené materiály.
- Hloubka řezu musí být větší než kůra.
- Horký kus nemusí vypadat horký. V kalírně pracuj jen po poučení.

16

ČÁST 2: TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ V PRAXI

Přehled tepelného zpracování

Všechna tepelná zpracování na jednom místě a jak se podle požadavku rozhodnout.

Na této straně najdeš celou druhou část pohromadě. Teploty jsou orientační a platí pro nelegované a nízkolegované oceli. Vždy se řiď materiálovým listem a postupem.

Zpracování	Teplota	Ochlazení	Cíl	Kdy se používá	Pro obráběče
Žíhání naměkko	těsně pod A1, 680 až 720 °C	v peci	nejmenší tvrdost	před obráběním a kalením	obrábí se nejlépe
Normalizační žíhání	30 až 50 °C nad A3, C45 840 až 880 °C	na vzduchu	jemné zrno, vyrovnaná struktura	po kování, válcování, odlévání	rovnoměrná řezivost
Žíhání na snížení pnutí	450 až 600 °C	v peci	menší pnutí	po svařování a hrubování	díl se později nekroutí
Rekrystalizační žíhání	600 až 700 °C	na vzduchu	obnova tvárnosti	po tváření za studena	měkčí materiál
Kalení objemové	30 až 50 °C nad A3, C45 820 až 860 °C	voda, olej	velká tvrdost	tvrdé a nosné díly	obrábět před, potom brousit
Povrchové kalení	rychlý ohřev vrstvy	sprcha vodou	tvrdý povrch	čepy, hřídele, vodítka	přídavek, potom brousit
Nízké popouštění	150 až 300 °C	na vzduchu	méně pnutí, tvrdost zůstane	nástroje, kalené vrstvy	tvrdý materiál, broušení
Zušlechťování	kalení + popouštění 540 až 680 °C	na vzduchu	pevnost a houževnatost	namáhané díly	dá se běžně obrábět
Cementace	900 až 950 °C, pak kalení	voda, olej	tvrdý povrch, houževnaté jádro	ozubená kola, čepy	přídavek, potom brousit
Nitridace	495 až 565 °C	v peci	tvrdý povrch, malé deformace	přesné díly, formy	obrábět načisto před nitridací

CO SI ZAPAMATOVAT

- Měkčí materiál dává žíhání, tvrdý kalení, houževnatý zušlechťování.
- Tvrdý povrch a pevné jádro dává povrchové kalení, cementace nebo nitridace.
- Teploty jsou orientační, závazný je materiálový list.

17

OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ A PŘÍLOHY

Cvičení a test

Výpočty, čtení značek a test s řešením. Zkus je nejdřív bez nápovědy.

Nejdřív cvičení řeš na papír. Teprve potom si je porovnej s řešením na konci kapitoly. Když si s něčím nevíš rady, vrať se k uvedené kapitole.

Výpočty

1. Vzorek má průměr 8 mm. Největší síla při tahové zkoušce je 31,2 kN, síla na mezi kluzu 17,5 kN. Vypočítej průřez S0, Rm a Re. (kapitola 2)
2. Měřená délka 40 mm se po přetržení prodloužila na 46 mm. Vypočítej tažnost A. (kapitola 2)
3. Porovnej výsledky 1 a 2 s hodnotami C45 ve stavu +N do průměru 16 mm: Re min 340 MPa, Rm min 620 MPa, A min 14 %. Vyhovuje materiál? (kapitola 3)
4. Kladivo o hmotnosti 20 kg spadlo z výšky 1,2 m a po přeražení vzorku vystoupalo do 0,5 m. Vypočítej spotřebovanou práci, g = 9,81 m/s². (kapitola 2)

Čtení značek

5. Rozlušti značky: 14 220, 12 050.6, S355J2, C60, 16MnCr5, X153CrMoV12, EN-GJS-500-7.
6. Materiál je 15 142.6 a výkres požaduje broušení po indukčním kalení. Co znamená .6 a jak se obrábí?
7. V rozpisce je S235JR. Na regálu máš 11 373 a 11 523. Kterou tyč vezmeš a co uděláš, když si nejsi jistý?

Test

1. Co je Rm a v jakých jednotkách se uvádí?
2. Čím se liší Re a Rp0,2?
3. Jak se měří tvrdost podle Rockwella C?
4. Co znamená JR ve značce S235JR a jaká zkouška se k tomu používá?
5. Do kolika procent uhlíku se zaručuje svařitelnost nelegovaných ocelí?
6. Který prvek musí mít korozivzdorná ocel a kolik nejméně?
7. Čím se liší šedá a tvárná litina?
8. Proč se titan obrábí malou řeznou rychlostí?
9. Čím se liší kalitelnost a prokalitelnost?
10. Jakou teplotu má A1 a co se na ní děje?
11. Jaký je rozdíl mezi žíháním naměkko a normalizačním?
12. Co je martenzit a jak vzniká?
13. Proč po kalení následuje popouštění?
14. Co je zušlechťování?
15. Jaká je orientační kalicí a popouštěcí teplota C45?
16. Jaký prvek přidává cementace a jaký nitridace?
17. Proč se nesmí špička nástroje pohybovat v kůře?
18. Který řezný materiál se hodí na soustružení kalené oceli?

Řešení výpočtů a značek

1. $S0 = \pi \cdot 8^2 / 4 = 50{,}3\ mm^2$. $Rm = 31\,200 / 50{,}3 = 620$ MPa. $Re = 17\,500 / 50{,}3 = 348$ MPa.
2. $A = (46 - 40) / 40 \cdot 100 = 15$ %.
3. Ano. Re 348 je nad 340 MPa, Rm 620 splňuje minimum a A 15 % je nad 14 %. Rm je přesně na hranici.
4. $K = 20 \cdot 9{,}81 \cdot (1{,}2 - 0{,}5) = 137$ J.
5. 14 220: legovaná Cr-Mn, tedy 16MnCr5. 12 050.6: C45 zušlechtěná na dolní pevnost. S355J2: konstrukční, Re min 355 MPa, 27 J při −20 °C. C60: uhlíková, asi 0,60 % C. 16MnCr5: 0,16 % C, Mn asi 1,25 %, Cr. X153CrMoV12: vysokolegovaná, 1,53 % C, 12 % Cr. EN-GJS-500-7: tvárná litina, Rm 500 MPa, A 7 %.
6. .6 je zušlechtěno na dolní pevnost. Materiál se obrábí s přídavkem, po indukčním kalení se povrch brousí.
7. Vezmeš 11 373. 11 523 je S355J0, jiná ocel. Když si nejsi jistý, ptáš se UOV a kontroluješ značení, případně atest.

Řešení testu

1. Pevnost v tahu v MPa, tedy N/mm².
2. Re je výrazná mez kluzu, Rp0,2 smluvní mez při 0,2 % trvalého prodloužení.
3. Měří se hloubka vtisku, tělísko je diamantový kužel 120°.
4. 27 J při +20 °C, rázová zkouška Charpy.
5. Do 0,22 % C.
6. Chrom, nejméně 10,5 %.
7. Tvarem grafitu: šedá lupínkový, tvárná kuličkový.
8. Špatně vede teplo, teplo se drží na břitu a nástroj se rychle opotřebí.
9. Kalitelnost je dosažitelná tvrdost a závisí na uhlíku. Prokalitelnost je hloubka zakalení a zvyšují ji legury.
10. 727 °C. Austenit se mění na perlit při ochlazování, opačně při ohřevu.
11. Naměkko těsně pod A1, pomalu v peci, cílem je malá tvrdost. Normalizační nad A3, na vzduchu, cílem je jemné zrno.
12. Velmi tvrdá a křehká struktura z rychlého ochlazení austenitu.
13. Snižuje křehkost a pnutí, jinak by díl mohl prasknout.
14. Kalení a vysokoteplotní popouštění.
15. Kalení 820 až 860 °C, popouštění 550 až 660 °C.
16. Cementace uhlík, nitridace dusík.
17. Kůra je tvrdá a brusná, špička by se rychle opotřebila.
18. CBN, u některých operací keramika.

OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ A PŘÍLOHY

18 Slovníček a zdroje

Vysvětlení pojmů, zdroje čísel a vlastníci obrázků.

Slovníček

Pojem	Vysvětlení	Pojem	Vysvětlení
A1, A3, Acm	teploty přeměn v diagramu železo-uhlík	Nárůstek	materiál nalepený na břitu nástroje
Atest	doklad o vlastnostech konkrétní dodávky	Nitridace	sycení povrchu dusíkem, bez kalení
Austenit	vysokoteplotní struktura, rozpustí nejvíc uhlíku	Okuje	tvrdá vrstva oxidů na povrchu
Cementace	sycení povrchu uhlíkem, následuje kalení	Perlit	vrstvy feritu a cementitu

Pojem	Vysvětlení	Pojem	Vysvětlení
Cementit	karbid železa Fe3C, velmi tvrdý	Pnutí	síly uvnitř materiálu po tváření nebo kalení
Ferit	měkká struktura, téměř čisté železo	Prokalitelnost	hloubka, do které se ocel zakalí
Kalitelnost	schopnost dosáhnout tvrdosti kalením	Tavba	jedna várka oceli, na atestu má své číslo
Legura	prvek přidaný pro zlepšení vlastností	UOV	učitel odborného výcviku
Martenzit	tvrdá a křehká struktura po kalení	+A, +N, +QT	žíhaná naměkko, normalizovaná, zušlechtěná

Zdroje čísel

Čísla byla ověřena v následujících veřejných zdrojích v listopadu 2026. Kde se zdroje rozcházejí, je hodnota uvedena jako orientační.

Zdroj	Co z něj je	Adresa
Saarstahl, listy C45 a 42CrMo4	složení, teploty, +N, +QT, +A	https://en.saarstahl.com/app/uploads/2024/03/20160401102929-0503_C45.pdf; https://www.saarstahl.com/app/uploads/2024/03/20160318093454-42CrMo4-42CrMoS4-.pdf
MARKS GmbH, Werkstoffblätter	1.7131, 1.7225, 1.2379, 1.2842, 1.3343, 1.4301, 1.2344	https://www.marks-gmbh.de/afs/downloads/17131-datenblatt.pdf (další stejně podle čísla oceli)
Kalmar K-Standard 11010, Arvedi (EN 10025-2)	S235JR, S355J0, S355J2	https://www.kalmarglobal.com/492a7a/globalassets/media/262824/262824_11010.0002---Hot-rolled-non-alloy-structural-steels.pdf; https://www.arvedi.it/en/acciaieria/products/hot-rolled-steels/non-alloyed-structural-steels-as-per-en-10025-2/
Ferona, Ulamex, CAD Fórum	ČSN 42 0002, převody ČSN a EN	https://online.ferona.cz/znaceni-oceli/; https://ulamex.com/cs/prevodni-tabulka-oceli-csn-en-aisi/; https://www.cadforum.cz/cz/oceli.asp
B. Skrbek, METAL 2003	značení EN, násobitelé, min. Cr, ČSN 42 0010	http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/Znaceni_oceli_Skrbek.pdf
L. Stránský, VUT Brno, Konstrukční oceli	třídy, svařitelnost, cementace, prokalitelnost	https://www.umvi.fme.vutbr.cz/wp-content/themes/umvi_website/assets/materials/winter/3SV/Prednaska/05-Konstrukcni.pdf
Studijní texty o tepelném zpracování	žíhání, chladicí prostředí, povrchové kalení	https://mechmes.websnadno.cz/priprava_k_maturite/07_tepelne_zpracovani.pdf; https://www.strojar.com/download/file.php?id=6875

Zdroj	Co z něj je	Adresa
Wikipedia, Tempering; přednáška Fe-C	barvy a křehkost; diagram	https://en.wikipedia.org/wiki/Tempering_(metallurgy); https://eng.utq.edu.iq/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/lecture-4.pdf
Wikipedia: Charpy, Vickers, Brinell, Spark testing	zkoušky tvrdosti, rázu, jiskrová zkouška	https://en.wikipedia.org/wiki/Charpy_impact_test; https://en.wikipedia.org/wiki/Vickers_hardness_test; https://en.wikipedia.org/wiki/Brinell_scale; https://en.wikipedia.org/wiki/Spark_testing
Wikipedia, Total Materia, Riverlake	cementace, nitridace	https://en.wikipedia.org/wiki/Carburizing; https://en.wikipedia.org/wiki/Nitriding; https://www.totalmateria.com/de/articles/nitriding; https://riverlakeco.com/gas-nitriding-a-comprehensive-guide-to-the-surface-hardening-process
La Metallurgia Italiana 2025	indukčně kalené hřídele 42CrMo4	https://aimnet.it/la_metallurgia_italiana/2025/luglioagosto/Aim_luglio-agosto2025_5.pdf
Sandvik Coromant, Knowledge	řezné materiály, povlaky, skupiny ISO	https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/materials/cutting-tool-materials; https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/materials/workpiece-materials
Alu-Verkauf, Aalco, FOCAM, KIPP	slitiny hliníku, mosaz, litiny	https://alu-verkauf.de/en/pages/werkstoffe; https://www.aalco.co.uk/datasheets/Copper-and-Copper-Alloys-CW614N-Brass-Rod_31.ashx; https://focam.weby.cz/en/manufacturing-program/cast-iron; https://www.kippwerk.de/en/en-gjl-250
Ulbrich, Wikipedia, Induflex	Ti6Al4V, tepelné vodivosti, plasty	https://www.ulbrich.com/alloys/ti-6-al-4-v-uns-r56400/; https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_thermal_conductivities; https://induflex.dk/media/kyah5p0d/plastictable_2025_induflex.pdf
Hardinge a další	příklady přídavků na broušení	https://europe.hardinge.com/wp-content/uploads/Hardinge-Supplier-Guidelines.pdf; https://industrialmonitordirect.com/blogs/knowledgebase/a2-tool-steel-heat-treat-distortion-shaft-tolerance-estimation

Citované normy: ČSN 42 0002 (zrušená), ČSN 42 0010, EN 10020, EN 10025-2, EN 10027-1 a -2, EN 10083, EN 10084, EN 10088, EN 10204, EN 1561, EN 1563, ISO 148-1, ISO 6506, ISO 6507, ISO 6508, ISO 18265. Normy samotné nebyly k dispozici, hodnoty jsou převzaty ze zdrojů výše. Bezpečnostní zásady a zásady obrábění jsou obecné dílenské postupy, závazné jsou pokyny UOV a provozní řád.

Vlastníci obrázků

Schémata bez uvedeného vlastníka jsou vlastní zpracování. U skutečných obrázků je vlastník uvedený pod obrázkem a v této tabulce.

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obálka	Birdie1121, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Billet_Heating.jpg

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obálka	Comet Photo AG (Zürich), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Com_C26-023-001.jpg
Obr. 1.2	Niharsd.mech, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long_chip.jpg
Obr. 2.3	Foundrax_Engineering_Products, Wikimedia Commons, licence CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_Brinell_hardness_testing_machine.jpg
Obr. 5.1	Ivak at Czech Wikipedia, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GGV-GGG.jpg
Obr. 6.1	Anders Beer Wilse, Wikimedia Commons, licence CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aluminum_ingots_at_Norwegian_Aluminium_Company.jpg
Obr. 6.2	Alfred T. Palmer, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Copper_and_Brass_-_Inside_brass_and_copper_tube_mill.jpg
Obr. 6.3	US gov, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Titanium_metal.jpg
Obr. 8.2 vlevo	Mauro Cateb, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tungsten_carbide_inserts.jpg
Obr. 8.2 vpravo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LatheCarbideTippedTool.jpg
Obr. 9.2	Cdang, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barre_hexagonale.jpg
Obr. 10.3 vlevo	Surface engineering, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Микроструктура_стали_20X.jpg
Obr. 10.3 vpravo	Edward Pleshakov, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pearlite1.jpg
Obr. 11.1	Cjp24, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muffle_furnace.jpg
Obr. 12.1	Comet Photo AG (Zürich), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Com_C26-023-001.jpg
Obr. 14.1	japonští autoři Yoshioka a Kato (přepis jmen z japonštiny), Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Section_of_carburized_steel.png
Obr. 15.4	Amos1947, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylindrical_grinder.jpg

PAMATUJ

Tento materiál vysvětluje základy a nenahrazuje školení, technologický postup, materiálový list ani pokyny UOV. Všechny hodnoty jsou orientační. Obrázky patří svým vlastníkům a jsou použité podle uvedených licencí, před použitím mimo výuku si ověř jejich podmínky.