Hodnocení mechanických vlastností vybraných druhů ocelí

Jakub Kabeláč

Bakalářská práce
2011

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jakub KABELÁČ**
Osobní číslo:	**T08562**
Studijní program:	**B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Technologická zařízení**
Téma práce:	**Hodnocení mechanických vlastností vybraných druhů ocelí**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovaní literární studie na dané téma 2. Přípava zkušebních vzorků 3. Provedení mechanických zkoušek 4. Vyhodnocení výsledků mechanických zkoušek

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:	**Ing. David Maňas, Ph.D.** Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce:	**14. února 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce:	**3. června 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan

L.S.

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická

doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: ……. Obor: …….

P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby [1)];
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 [2)];
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

[1] *zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:*

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

[2] *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

[3] *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce se věnuje technologii výroby překládané kovářsky svařené oceli a následnému zhodnocení této výroby a výsledků. Praktická část popisuje ocel, její složení, mechanické vlastnosti oceli a zkoušky mechanických vlastností ocelí. Experimentální část se zahrnuje volbu materiálu, technologii výroby. Vyrobený materiál byl poté podroben zkouškám mechanických vlastností. V závěru jsou zhodnoceny samotné výsledky, ale i výroba oceli.

Klíčová slova: Ocel, Složení oceli, Vlastnosti oceli, Kováni, Mechanické zkoušky

ABSTRACT

This work is dedicated to the production technology for translation forge welded steel and the subsequent production and evaluation of results. The practical part describes the steel, its composition, mechanical properties of steel and testing of mechanical properties of steel. The experimental part includes material selection, production technology. Made material was then subjected to testing of mechanical properties. In conclusion, the results are evaluated by themselves, but also the production of steel.

Keywords: Steel, Steel Composition, Properties of Steel, Forging, Mechanical testing

Rád bych poděkoval panu doc. Ing Davidu Maňasovi Ph.D., jakožto vedoucímu bakalářské práce, za odborný dohled a pomoc při vypracování této práce. Chtěl bych poděkovat také panu Ing. Šálkovi za pomoc při výrobě zkušebních vzorku.

„Vědět mnoho je nebezpečné, vědět málo také.“

Albert Einstein

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Dále prohlašují, že na bakalářské práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně:..... .....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD **10**

I TEORETICKÁ ČÁST **11**

1 OCEL **12**

1.1 SLOŽENÍ OCELI 12

1.1.1 Množství přísadových prvků 12

1.1.2 Vliv přísadových prvků na vlastnosti oceli 13

1.2 VÝROBA OCELI 13

2 ZNAČENÍ OCELI **14**

2.1 ČÍSELNÉ ZNAČENÍ OCELI 14

2.2 BAREVNÉ ZNAČENÍ OCELI KE TVÁŘENÍ 16

3 TŘÍDY OCELÍ **18**

3.1 TŘÍDA 10 18

3.2 TŘÍDA 11 18

3.3 TŘÍDA 12 19

3.4 TŘÍDA 13 20

3.5 TŘÍDA 14 20

3.6 TŘÍDA 15 21

3.7 TŘÍDA 16 21

3.8 TŘÍDA 17 22

3.9 TŘÍDA 19 22

3.9.1 Nelegovaní nástroje oceli 22

3.9.2 Rychlořezné legované nástrojové oceli 23

4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI OCELI **24**

4.1 PEVNOST 24

4.2 TVRDOST 24

4.3 HOUŽEVNATOST 24

4.4 PRUŽNOST 24

4.5 TVÁRNOST 24

5 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ OCELÍ **25**

5.1 ZKOUŠKA TAHEM 25

5.1.1 Trhací stroje 25

5.1.2 Zkušební tyče 25

5.1.3 Výsledek zkoušky 26

5.2 ZKOUŠKA TLAKEM 28
5.3 ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI 29
5.3.1 Princip zkoušky 30
5.3.2 Výsledek zkoušky 31
5.4 ZKOUŠKA OHYBEM 32
5.4.1 Princip zkoušky 32
5.4.2 Výsledek zkoušky 33
5.5 ZKOUŠKA TVRDOSTI 33
5.5.1 Rozdělení zkoušek tvrdosti 33
5.6 ZKOUŠKA PODLE BRINELLA 34
5.7 ZKOUŠKA PODLE VICKERSE 34
5.8 ZKOUŠKA PODLE ROCKWELLA 35
5.9 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY TVRDOSTI 37
II PRAKTICKÁ ČÁST 39
6 MATERIÁL 41
6.1 VOLBA MATERIÁLU 41
6.1.1 Ocel 11 523 42
6.1.2 Ocel 19 191 42
7 ZPRACOVÁNÍ KOVÁNÍM 43
7.1 PŘÍPRAVA MATERIÁLU 43
7.2 TECHNOLOGIE KOVÁŘSKÉHO SVAŘOVÁNÍ, PŘEKLÁDÁNÍ 43
8 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ 45
8.1 ZKUŠEBNÍ TĚLESO PRO STATICKOU ZKOUŠKU TAHEM 45
8.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESO PRO ZKOUŠKU VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI 46
9 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ 47
9.1 STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM 47
9.1.1 Vyhodnocení statické zkoušky tahem 47
9.1.1.1 Materiál 11 523 48
9.1.1.2 Materiál 19 191 48
9.1.1.3 Materiál kovářsky svařený 49
9.2 ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI 50
9.2.1 Vyhodnocení zkoušky 51
10 ZÁVĚR 53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 56
SEZNAM OBRÁZKŮ 57
SEZNAM TABULEK 58
SEZNAM PŘÍLOH 59

ÚVOD

Cílem bakalářské práce je posouzení mechanických vlastností ocelí, se zaměřením na vlastnosti přeplátované kovářsky svařené oceli, a jednotlivých ocelí ke kování požitých.

Damascénská ocel mě při prvním setkaní zaujala svým vzhledem. Po dalším pátrání jsem se dočetl něco i o jejích vlastnostech, materiálech a složení. Technika výroby této oceli je již poměrně stará a velké uplatnění našla v Japonsku při výrobě samurajských mečů. Bohužel jsem nenašel žádné bližší informace o mechanických vlastnostech, popř. jejich konkrétnímu vyčíslení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OCEL

Ocel je slitina železa , uhlíku a dalších prvků, které pocházejí ze vsázky, případně se do oceli dostávají záměrně nebo neúmyslně během výroby. Chemickým složením, tepelným zpracováním a způsobem tváření je možné měnit mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti oceli širokých mezích. Výroba oceli dnes nepředstavuje pouze proces zkujňování, tj. snížení obsahu uhlíku v surovém železe, ale složitý pochod výroby železných slitin o předepsaném chemickém složení, případně předepsaných vlastností, kterých se dosahuje řízením procesů tuhnutí a dalšího metalurgického zpracování. Základní surovinou pro výrobu oceli je vedle surového železa ocelový odpad. [2]

1.1 Složení oceli

Technické slitiny železa jsou obvykle komplexními slitinami, v nichž vedle uhlíku jsou zpravidla vždy přítomny prvky: mangan, křemík, fosfor, síra, měď, arsen, popř. další nečistoty jako jsou prvky: kyslík, dusík, vodík. [4]

1.1.1 Množství přísadových prvků

Aby prvek byl považován za přísadový, musí být přítomen v určité minimální koncentraci. Podle ČSN 42 002-76 je za legovanou považována ocel, která má obsah kteréhokoliv z uvedených prvků vyšší než : [4]

manganu	0,9 %	molybdenu	0,1 %
křemíku	0,5 %	vanadu	0,1 %
chromu	0,3 %	wolframu	0,1 %
niklu	0,2 %	titanu	0,1 %
kobaltu	0,2 %	hliníku	0,1 %

Obr. 1. Množství přísadových prvků [4]

1.1.2 Vliv přísadových prvků na vlastnosti oceli

Volba prvků přísadových se obvykle podřizuje některému hlavnímu cíli, např.:

- Zvýšení mechanických vlastností, zejména pevnosti a tvrdosti, aniž by se výrazněji snížila houževnatost oceli. Jsou nejčastěji přísady: Mn, Si, Ni, Mo, V, W, Cr.
- Zvýšení prokalitelnosti snížením kritické rychlosti rozpadu austenitu. To umožňuje při stejném průřezu součásti kalit do méně intenzivního kalicího prostředí, nebo pracovat se silnějšími průřezy součásti. Jde o prvky: Cr, Mn, Mo, V aj.
- Vytvoření tvrdých a opotřebení odolných karbidů, stabilních i při vysokých teplotách. Sem patří zejména: W, Cr, V, Mo.
- Zmenšení sklonu k růstu zrna při použití oceli za vyšších teplot vyloučením disperzních částic karbidů nebo nitridů po hranicích zrn ocelí (nejčastěji Al, V, Ti)
- Zvýšení žáropevnosti oceli vytvořením vhodně dispergovaných karbidů ve struktuře - přísadou Cr, Mo, V, W, atd.

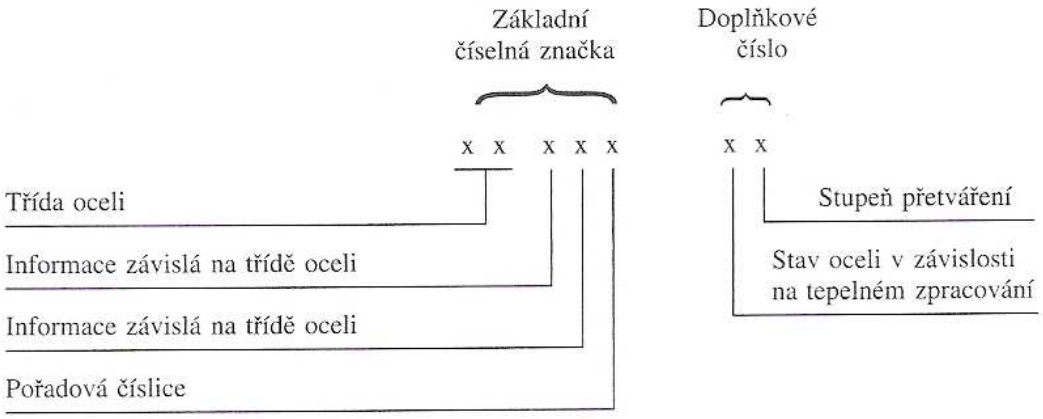
1.2 Výroba oceli

Historie moderních ocelářských pochodů se odvíjí od roku 1855, kdy H. Bessemer přihlásil patent na výrobu oceli v konvertoru foukaném vzduchem. Do konvertorů se používalo jako vsázka tekuté surové železo a během zkujňování zůstávala vsázka tekutá. Také vyrobená ocel byla tekutá a odlévala se do kokil (plávková ocel). Konvertoty znamenaly řádová zvýšení produktivity práce při výrobě oceli. Nevýhodou konvertorů je možnost zpracování jen omezeného podílu ocelového odpadu. Ocelový odpad, jehož výskyt rostl se zvyšováním výroby oceli, bylo možné zpracovat v martinských pecích (od roku 1864). Konvertory a martinské pece byly dominantními výrobními agregáty v ocelárnách také v první polovině 20. století. V roce 1952 byla vyrobena první tavba na konvertoru foukaném kyslíkem. Dnes se vyrábí více než 90 % světové produkce oceli v kyslíkových konvertorech a elektrických obloukových pecích. Kyslíkový konvertor může ekonomicky zpracovávat až 40 % pevné vsázky. Elektrické obloukové pece jsou určeny obvykle pro zpracování ocelového odpadu. Ocelářské pochody jsou založeny na snižování prvků, jejichž koncentrace je vyšší, než se požaduje. Důležitou roli při výrobě oceli hraje struska, k jejíž tvorbě se nejčastěji používá vápno nebo vápenec a tavidla.

2 ZNAČENÍ OCELI

2.1 Číselné značení oceli

Oceli ke tváření se označují číselně a toto označení se skládá ze základní číselné značky a doplňkového čísla odděleného tečkou.



Obr. 2. Schéma číselného značení[7]

Základní číselná značka je pětimístné číslo, označující základní materiál.

První číslice v základní značce je 1 a označuje tvářenou ocel.

Druhá číslice ve spojení s první označuje třídu oceli.

Třetí a čtvrtá číslice mají různý význam podle třídy oceli.

Doplňkové číslo má jednu nebo dvě doplňkové číslice, jejich význam je v tabulce.

[9]

Tab. 1. Významu doplňkových číslic [7]

První doplňková číslice[1])	Stav oceli (druh tepelného zpracování)	Druhá doplňková číslice[2])	Stupeň přetváření		
			pásy válcované zastudena	plechy válcované	
				zatepla	zastudena
1 × × × × .0	tepelně nezpracovaný	1 × × × × . × 0	dále nepřeválcováno	dále nepře-válcováno	
1 × × × × .1	normalizačně žíhaný	1 × × × × . × 1	lehce převálcováno	lehce převálcováno	
1 × × × × .2	žíhaný (s uvedením způsobu žíhání)	1 × × × × . × 2	1/4 tvrdý		
1 × × × × .3	žíhaný na měkko	1 × × × × . × 3	1/2 tvrdý		
1 × × × × .4	kalený nebo kalený a popouštěný při nízkých teplotách, po rozpouštěcím žíhání (jen u austenitických ocelí)	1 × × × × . × 4	3/4 tvrdý		
		1 × × × × . × 5	4/4 tvrdý		
1 × × × × .5	normalizačně žíhaný a popouštěný	1 × × × × . × 6	5/4 tvrdý		
1 × × × × .6	zušlechtěný na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli	1 × × × × . × 7	netvoří se při něm čtyř-lístky (pásy jsou zpracovány se zřetelem na omezení anizo-tropie mechanických vlast-ností materiálů — omezení tvorby cípů): mechanické vlastnosti jako u měkce ží-haného materiálu		
1 × × × × .7	zušlechtěný na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli				
1 × × × × .8	zušlechtěný na horní tvrdost obvyklou u příslušné oceli	1 × × × × . × 8	zpracováno podle zvláštní-ho předpisu		
1 × × × × .9	stavy, které nelze označit číslicemi 0 až 8	1 × × × × . × 9	zpracováno podle dohodnutého předpisu		

[1]) První doplňková číslice označuje stav oceli daný tepelným zpracováním
Druhy tepelného zpracování se uvádějí v materiálových listech kromě doplňkové číslice i slovně. Pro stav žíhaný se uvádí slovně i druh žíhání
[2]) Druhá doplňková číslice označuje stupeň přetváření válcovaných ocelových plechů a pásů

Tab. 2. Rozdělení tříd ocelí [7]

Třída oceli	Oceli podle			Charakteristika ocelí
	použití	stupně legování		
10	konstrukční	nelegované		předepsané hodnoty mechanických vlastností, chemické složení není předepsáno
11				předepsané hodnoty mechanických vlastností a obsah C, P, S popř. (P + S) a dalších prvků
12				předepsaný obsah C, Mn, Si, P, popř. (P + S) i dalších prvků
13		legované	nízkolegované	legovací prvky: Mn, Si, Mn – Si, Mn – V
14				legovací prvky: Cr, Cr – Al, Cr – Mn, Cr – Si, Cr – Mn – Si
15				legovací prvky: Mo, Mn – Mo, Cr – Mo, Cr – V, Cr – W, Mn – Cr – V, Cr – Mo – V, Cr – Si – Mo – V, Cr – Mo – V – W
16			nízkolegované a středně legované	legovací prvky: Ni, Cr – Ni, Ni – V, Cr – Ni – Mn, Cr – Ni – V, Cr – Ni – W, Cr – Ni – Mo, Cr – V – W, Cr – Ni – V – W
17			středně legované a vysokolegované	legovací prvky: Cr, Ni, Cr – Ni, Cr – Mo, Cr – V, Cr – Al, Cr – Ni – Mo, Cr – Ni – Ti, Cr – Mo – V, Mn – Cr – Ni, Mn – Cr – Ti, Mn – Cr – V, Cr – Ni – Mo – V, Cr – Ni – Mo – W, Cr – Ni – Mo – Ti, Cr – Ni – V – W, Cr – Ni – W – Ti atd.
19	nástrojové	nelegované		předepsaný obsah C, Mn, Si, P, S
		legované (nízko, středně, vysoko)		legovací prvky: Cr, V, Cr – Ni, Cr – Mo, Cr – Si, Cr – V, Cr – W, Cr – Al, Cr – Ni – W, Cr – Si – V, Cr – Mo – V, Cr – V – W, Cr – Ni – Mo – V, Cr – V – W – Co, Cr – Ni – Mo – W, Cr – Ni – V – W atd.

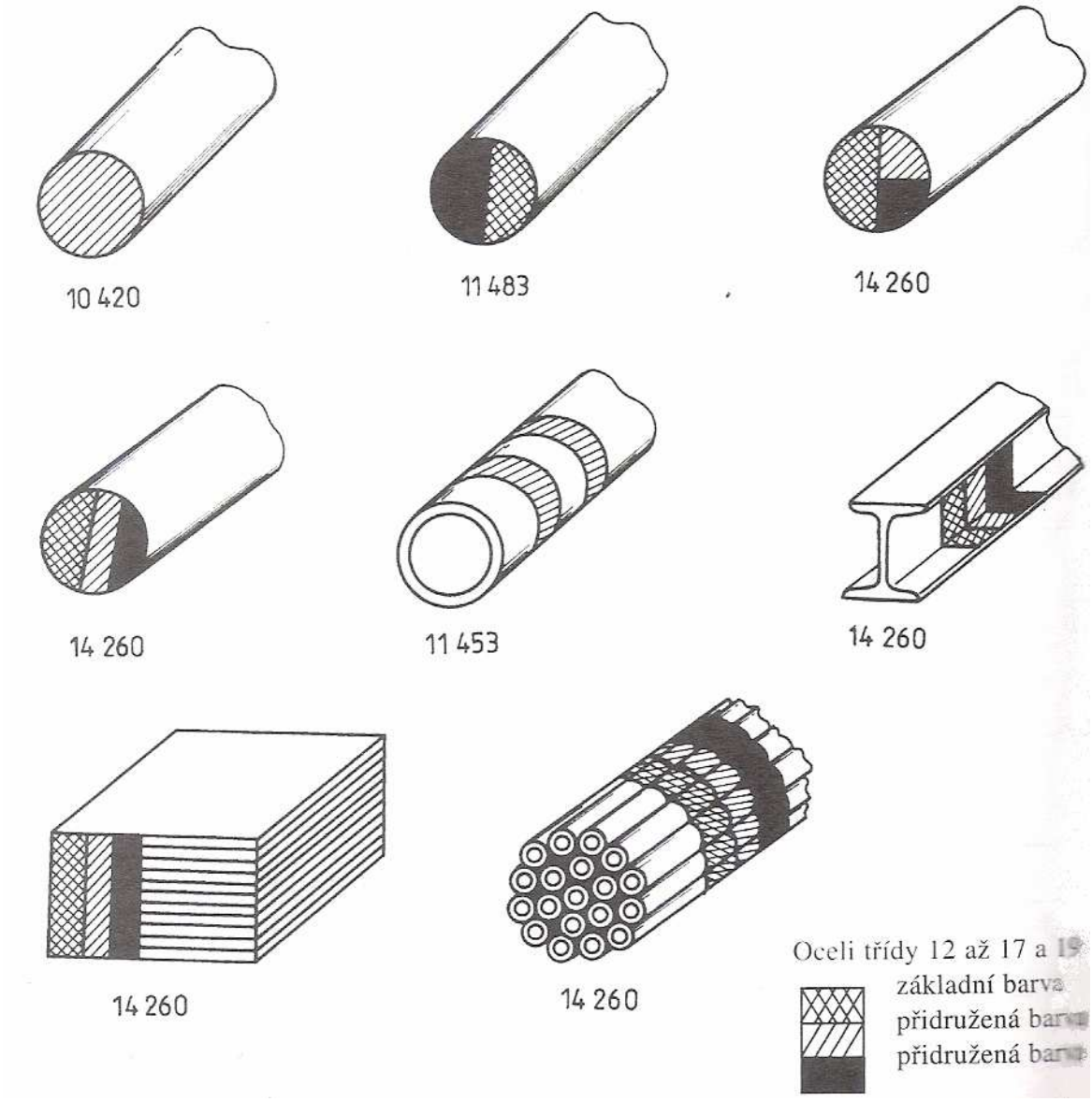
2.2 Barevné značení oceli ke tváření

Normalizované hutní výrobky z ocelí tříd 10 až 19 se označují jedním až třemi barevnými pruhy. Norma rozeznává dva způsoby označování, a to pro oceli třídy 10 a 11 a pro oceli tříd 12 až 17 a 19.

U ocelí tříd 10 a 11 je použito jednoho, nejvýše dvou barevných odstínů. U ocelí třídy 12 až 17 a 19 je použito tří barevných odstínů. Každá třída má pak svůj základní od-

stín stejný pro celou třídu. Jednotlivé druhy ocelí téže třídy mají dvě různé přidružené barvy. Barevných odstínu je 13.

Barevné označení je uvedeno v materiálových listech nebo ČSN 42 0010. Jednotlivé hutní výrobky se barevně označují na čele nebo na konci polotovaru. [3]



Obr. 3.Přiklad barevného značení oceli [3]

3 TŘÍDY OCELÍ

Oceli k tváření jsou rozděleny do devíti tříd jakosti podle chemického složení. Jsou to třídy 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 a 19. Rozdělení ocelí do tříd a chemického složení a ocelí jednotlivých tříd je uvedeno ve Strojnických tabulkách. [3]

3.1 Třída 10

Oceli pevnosti třídy 00 (tzv. obchodní jakost). Nemají zaručené chemické složení a čistotu. Dosahují pevnosti v tahy 400 až 790 MPa, ale jejich pevnost není zaručena (XX 00X – druhé dvojčíslí je 00). Používají se na nejméně náročné práce stavební a zámečnické. Jsou to oceli 10 000, 10 004, 10 005.

Oceli pevnostní řády 37 a 42. Jsou dobře tvarné a svařitelné (ale ne pro nosné svary). Používají se na různé konstrukce, součástí strojů, šrouby, matice, nýty, drobné kolejnice a na výhybky s menší pevností. Jsou to zejména oceli 10 370, 10 420.

Oceli pevnostní řady 50, 65, 75. Představují největší skupinu s odstupňovanou pevností v tahu. Jsou vhodné zejména pro různé druhy kolejnic podle druhu zatížení.

Oceli pro betonovou výztuž. Druhé dvojčíslí vyjadřuje střední mez kluzu. Vyrábějí se z nich tyče hladké nebo sbírkové. [3]

3.2 Třída 11

Oproti ocelím třídy 10 mají předepsanou čistotu, zaručenou pevnost v tahu, mez kluzu a tažnost. Někdy se zaručují i jiné vlastnosti. Vyžaduje se od nich, aby nebyly náchylné k lámavosti za studena u za červeného žáru. Jsou odstupňovány podle obsahu uhlíku, s nejmenší pevnosti v tahu od 280 MPa do 900 MPa. Používají se ve stavu normalizačně žíhaném, popř. i ve stavu jinak tepelně zpracovaném.

Oceli pevnostní řády 30, 32, 33 s max. obsahem C = 0,13%. Jsou dobře tvarné za studena (hluboké tažení), některé druhy mají zaručenou svařitelnost, zvýšenou odolnost proti stárnutí a jsou vhodné pro některé povrchové úpravy (lakování, pokovování, smaltování. Nejvíce se používají oceli 11 300, 11 305, 11 320. Oceli 11 330 a 11 331 jsou vhodné jen pro mírné tažení a ohýbání a nejsou vhodně ke smaltování. [3]

Oceli pevnostní řady 34 až 45 s max. obsahem C = 0,24% jsou většinou zaručeně svařitelné, dobře tvárné za studena i za tepla. Vyrábějí se z nich výlisky, výkovky, výtažky. Nejvýznamnější jsou oceli 11 343, 11 373, 11 423, ze kterých se vyrábějí všechny druhy polotovarů. [3]

Oceli pevnostní řady 50 s obsahem C ≤ 0,45% mají pevnost v tahu od 500 do 650 MPa. Některé lze zušlechťovat (např. 11 500), popř. svařovat (11 503). Jsou to nejrozšířenější oceli pro strojní součásti zejména (11 500) namáhané staticky i dynamicky, jako u hřídele, čepy, šrouby, kolíky, matice, málo namáhaná ozubená kola aj. [3]

Oceli pevnostní řady 60, 70, 80 s obsahem C > 0,4% se používají pro náročnější strojní součásti vystavené většímu opotřebení a větším tlakům, např. vodicí hřídele, vřetena lisů, klíny apod. Do průměru 40 až 60 mm se dají zušlechťovat. [3]

Zvláštní skupinu ocelí třídy 11 tvoří oceli snadno obrobitelné, tzv. automatové. Jsou vyráběny v několika druzích s pevností v tahu 500 až 900 MPa a používají se na součásti vyráběné na rychlořezných automatech. [3]

3.3 Třída 12

V porovnání s oceli třídy 10 a 11 mají nižší obsah fosforu a síry, obsah uhlíku je od 0,06 do 0,9%. Označování ocelí je v tab. 14 (platí i pro oceli třídy 13 až 16). Protože jde o oceli nelegované, mají všechny ve značce třetí číslici 0. Výjimkou je ocel 12 140 na hřídele velkých rozměrů. V současnosti uvádí naše normy 24 značek ocelí třídy 12. Jsou to jedny z nejvíce používaných ocelí a tvoří několik podskupin: [3]

1. Oceli k cementování mají nízký obsah uhlíku (do 0,2%), to znamená, že po následujícím kalení je při poměrně velké pevnosti v tahu zachována dostatečná houževnatost jádra. Velké tvrdosti povrchu se dosahuje obohacením povrchových vrstev uhlíkem před kalením. Tvrdost cementovaní vrstvy po zakalení a popouštění je asi 62 HRC. Patří sem např. oceli 12 010, 12 020 a 12 024.
2. Oceli k zušlechťování mají obsah uhlíku od 0,4 do 0,6%, což jim zaručuje dostatečnou tvrdost po zakalení. Jsou prokalitelné do průměru 40 mm. Po kalení se popouští na vyšší teploty (do 660 °C), aby se dosáhlo vysoké houževnatosti při zachování vhodné pevnosti. Některé oceli dosahují pevnosti v tahu až 1 200 MPa (12 042). Dosahují i vysoké meze kluzu a meze únavy. [3]

3. Oceli k povrchovému kalení. Jsou to oceli, u nichž se požaduje vysoká tvrdost povrchu. Obsah uhlíku bývá od 0,4 do 0,6%, což znamená, že jsou již kalitelné na zaručenou tvrdost, a přitom mají ještě vyhovující houževnatost a pevnost jádra. [3]
4. Oceli na patentované dráty. Pro běžná lana mají obsah uhlíku 0,3 až 0,9%, pro těžní lana 0,7 až 0,8%, pro jehly 0,9 až 1%.[3]

3.4 Třída 13

Jsou legované Si, Mn, V, a nehodí se proto k cementování. Křemík totiž brání nasycování povrchu uhlíkem, mangan při dlouhodobé výdrži na vysoké teplotě způsobuje hrubnutí austenitického zrna. Jsou vhodné pro zušlechťování, zejména oceli 13 141, 13 151, 13 240. Používáme je na středně namáhané součásti silničních motorových vozidel, kde se vyžaduje odolnost proti opotřebením. Jako legura převažuje Mn. Oceli, které obsahují uhlík do 0,2%, mají zaručenou svařitelnost (13 220, 13 221). [3]

Oceli pružinové (13 180, 13 251, 13 270), které obsahují hlavně křemík (do 1,9%), mají zvýšenou mez únavy a mají Rp 0,2 = 1 000 až 1 400 MPa. [3]

Oceli pro transformátorové a dynamové plechy se vyznačují malými hysterezními ztrátami a ztrátami vířivými proudy. Obsahují až 4,6% Si.

Oceli na nádoby pro stlačené plyny (13 124, 13 123) jsou legovaní manganem (1 až 1,5%), popř. s přísadou vanadu. [3]

3.5 Třída 14

Jsou to oceli legované Cr, Mn, Si, popř. ještě Ni, Al, Ti. Jsou vhodné k cementování, zušlechťování nebo povrchovému kalení. Mají zvýšenou prokalitelnost. Patří mezi naše nejdůležitější legované oceli. [3]

Oceli k cementování. Mají nízký obsah C a až 1,3% Cr (popř. Ti). Vyznačují se velkou tvrdostí povrchu (až 63 HRC, pevnost jádra roste s obsahem C). S přísadou Ti je můžeme cementovat v plynném prostředí při teplotách 920 °C a 980 °C (to vede ke zkrácení doby cementování). Patří sem zejména oceli 14 120, 14 220, 14 231. [3]

Oceli k nitridování. Vhodná ocel je 14 340. Používá se na součásti, u nichž se žádá co největší povrchová tvrdost. Před nitridováním se součásti ještě zušlechťují. [3]

Oceli k zušlechťování. Zušlechťují se až na pevnost v tahu 1 300 MPa (14 331). Jsou prokalitelné asi do průměru 50 mm. Patří sem zejména oceli 14 100, 14 140, 14 230, 14 240, 14 341. [3]

Oceli k povrchovému kalení. Některé oceli k zušlechťování jsou vhodné i pro povrchové kalení. Jsou to oceli, které mají menší prokalitelnost, ale vyšší pevnost v tahu, např. 14 140, 14 160, 14 341. [3]

Oceli na valivá ložiska. Tvoří zvláštní skupinu, vyžaduje se u nich velká metalurgická čistota, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Obsahují asi 1,1% C, (0,8 až 1,6) % Cr, a asi 1% Mn. Vyznačují se vysokou tvrdostí a vysokou pevností v tlaku. Jsou to oceli 14 109, 14 209. [3]

3.6 Třída 15

U těchto oceli se použilo k legování velkého počtu kombinací legur. Přesto však jde k nízkolegované oceli, mají však své specifické vlastnosti. Jsou to: velmi dobrá prokalitelnost a vhodnost k zušlechťování, vysoká mez pevnosti v tahu a mez kluzu při normální teplotě, zaručení mez tečení, zvýšená odolnost proti korozi. [3]

Oceli k povrchovému kalení. Jsou to oceli 15 142, 15 241, 15 260, 15 341. Hodí se na velmi namáhané součásti silničních motorových vozidel, strojní součásti, u nichž se žádá velká pevnost, talířová kola, hřídele torzní tyče. [3]

Oceli k nitridování. Jsou vhodné pro součásti, které jsou střídavě namáhány a u nichž se žádá vysoká povrchová tvrdost a odolné jádro. Před nitridováním musí být součásti zušlechtěny. Patří sem oceli 15 230, 15 330, 15 340. [3]

Oceli zvlášť vhodné k zušlechťování. Mají velkou prokalitelnost. Oceli 15 230, 15 260 až do průměru 80 až 90 mm, 15 334 až do průměru 150 mm. [3]

Oceli se zaručenou mezí tečení (žáropevné). Používají se na stavbu energetických zařízení, a to jak tlakových nádob, tak na strojní součásti parních turbín a jiných strojů. Patří sem oceli 15 121, 15 236, 15 342 aj. [3]

3.7 Třída 16

Jsou to oceli legované hlavně niklem (až 5%) a v kombinaci s chrómem. Patří mezi nízko a středně legované oceli. ČSN uvádí 22 druhů těchto ocelí. [3]

Oceli k cementování (popř. ke kyanování). Vlivem niklu mají houževnaté jádro i při jeho dostatečné pevnosti. Jsou málo citlivé na přehřátí. Patří sem oceli 16 220, 16 231, 16 420, 16 523. [3]

Oceli k zušlechťování. S rostoucím obsahem Ni a Cr mívají nižší obsah. Jsou dobře prokalitelné, pokles tvrdosti směrem k jádru je velmi mírný. Některé oceli jsou prokalitelné až do průměru 150 mm. Jsou vhodné zejména na namáhané strojní součásti, u nichž se při dostatečné pevnosti žádá vyšší až vysoký houževnatost, nemají mít deformace po kalení (16 640). Patří sem oceli 16 240, 16 440, 16 720 aj. [3]

3.8 Třída 17

Jsou to oceli středně vysoko legované. Součet obsahu legovacích prvků je vyšší než 10%. Legovací prvky a jejich kombinace jsou uvedeny ve ST. Podle účelu použití je dělíme na oceli korozivzdorné, žáruvzdorné, žáropevné, odolné proti opotřebení, pro nízké teploty a se zvláštními fyzikálními vlastnostmi (např. s určitou tepelnou roztažností, vysokým měrným elektrickým odporem, zvláštními magnetickými vlastnostmi). [3]

3.9 Třída 19

Jsou to oceli nástrojové. Požaduje se u nich vysoká tvrdost a pevnost, dostatečná houževnatost, odolnost proti opotřebení, vhodná prokalitelnost a leštitelnost. Různým chemickým složením a vhodným tepelným zpracováním lze u nástrojových ocelí měnit jejich vlastnosti v širokém rozsahu. [3]

3.9.1 Nelegovaní nástroje oceli

Normalizováno je 11 druhů. Na jejich vlastnosti má největší vliv obsahu uhlíku. Tvrdost oceli v zakaleném stavu vzrůstá se stoupajícím obsahem asi do 1,0% C, kdy dosahuje maxima, asi 67 HRC. Při vyšším obsahu C se tvrdost oceli již výrazně nemění, ale zvětšuje se obsah cementitu, který zvyšuje řezivost a odolnost proti otěru. Nevýhodou ale je, že se do určité míry snižuje houževnatost. Většina nelegovaných ocelí má obsah C od 0,7 do 1,5%. Podle toho rozlišujeme nástroje oceli na: [3]

Oceli velmi houževnaté	do 0,7 % C
Oceli houževnaté	0,8 až 0,9 % C
Oceli houževnaté tvrdé	0,95 až 1,2 % C
Oceli tvrdé	1,25 až 1,35 % C
Oceli velmi tvrdé	nad 1,4 % C

Jestliže požadujeme u nástrojů velkou houževnatost a vysoká tvrdost není nutná, používáme oceli s obsahem uhlíku do 0,7 %. Jsou to různé druhy malých vřetenových nástrojů, průbojníky, nástroje na zpracování potravin, kůže, dřeva, papíru aj.

Vyžadujeme-li však vysokou tvrdost a dostatečnou houževnatost, potom jsou vhodné s obsahem C = (0,8 až 1,2) %, jsou to zejména ruční nástroje na kovové materiály.

Klade-li se požadavek na nejvyšší tvrdost, řezivost a odolnost proti otěru i za cenu nízké houževnatosti, používáme oceli s obsahem C > 1,2 %. Jsou to např. pilníky. Dříve byly jedinými nástrojovými ocelemi na výrobu nástrojů. Vývoje nástrojových legovaných oceli ztratily dnes značné na významu. [3]

3.9.2 Rychlořezné legované nástrojové oceli

Tvoří samostatnou skupin z vysokolegovaných nástrojových ocelí. Používají se k výrobě výkonných a vysoce výkonných řezných nástrojů a také pro tváření za studena.

Od ostatních nástrojových ocelí legovaných se liší jednak obsahem legur, jednak podmínkami tepelného zpracování. V porovnání s nelegovanými a legovanými nástrojovými ocelemi mají v zakaleném a popuštěném stavu vysokou tvrdost, řezivost, velkou odolnost proti otěru a hlavně odolnost proti popouštění. Vysokou tvrdost si zachovávají i při teplotách kolem 600 °C. Hlavními legovanými prvky jsou W, Cr, V, Mo, Co. Nejpoužívanější je ocel 19 824 (Poldi Maximum Special). Má 0,7 % C, 18 % W, 4,3 % Cr a 1,4 % V.

Pro nejvíce namáhané nástroje k obrábění se používají oceli, které mají ještě další legovací prvek, kobalt (5 až 11,5 %). Jsou to oceli 19 852 až 19 861. [3]

4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI OCELI

Materiály jsou při zpracování i při používání vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, střih a ohyb. Tato jednotlivá namáhání obvykle nepůsobí samostatně (jednotlivě), ale i v různých kombinacích. Materiál je tedy vystaven složenému namáhání. Aby materiál mohl odolávat těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost aj. [1]

4.1 Pevnost

Pevnost je definována jako vnější napětí, kterého je potřeba k rozdělení materiálu na dvě části. Podle způsobu namáhání, které vede k porušení, rozlišujeme pevnost v tahu , tlaku, ohybu, krutu a střihu. [5]

4.2 Tvrdost

Tvrdostí rozumíme odolnost povrchových částí hmoty proti místnímu porušení vnikáním cizího tělesa. Tvrdost však není fyzikálně definovatelnou vlastností, neboť je výslednicí vlastností hmoty, zejména elasticity, křehkosti a plasticity, fyzikálně chemických vlastností povrchu i vlastností chemických. [5]

4.3 Houževnatost

Houževnatost je vyjádřením velikosti práce, potřebné k rozdělení hmoty na dvě části. Křehké látky vyžadují nepatrnou práci; houževnatost je protikladem křehkosti. U kovů, které jsou většinou houževnaté, je práce potřebná k rozdělení, prací přetvárnou, neboť rozdělení musí předcházet určité plastické přetvoření. [5]

4.4 Pružnost

Pružnost vykazuje hmota, která se působením napětí deformuje a po odstranění tohoto napětí se vrátí do původního stavu. [5]

4.5 Tvárnost

Tvárnost je schopnost hmoty měnit v tuhém stavu bez porušení soudržnosti vzájemnou polohu částic působením vnějších sil. Je typickou vlastností většiny kovů. [5]

5 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ OCELÍ

Jedním ze základních podkladů pro pevnostní výpočet a konstrukci strojních dílců a zařízení je soubor napěťových a deformačních materiálových charakteristik, které označujeme jako mechanické vlastnosti. Umožňují kvalitativně hodnotit chování materiálů za působení vnějších sil a popřípadě i dalších vlivů a volit pro daný účel materiál s optimálními technickými i ekonomickými parametry. [4]

5.1 Zkouška tahem

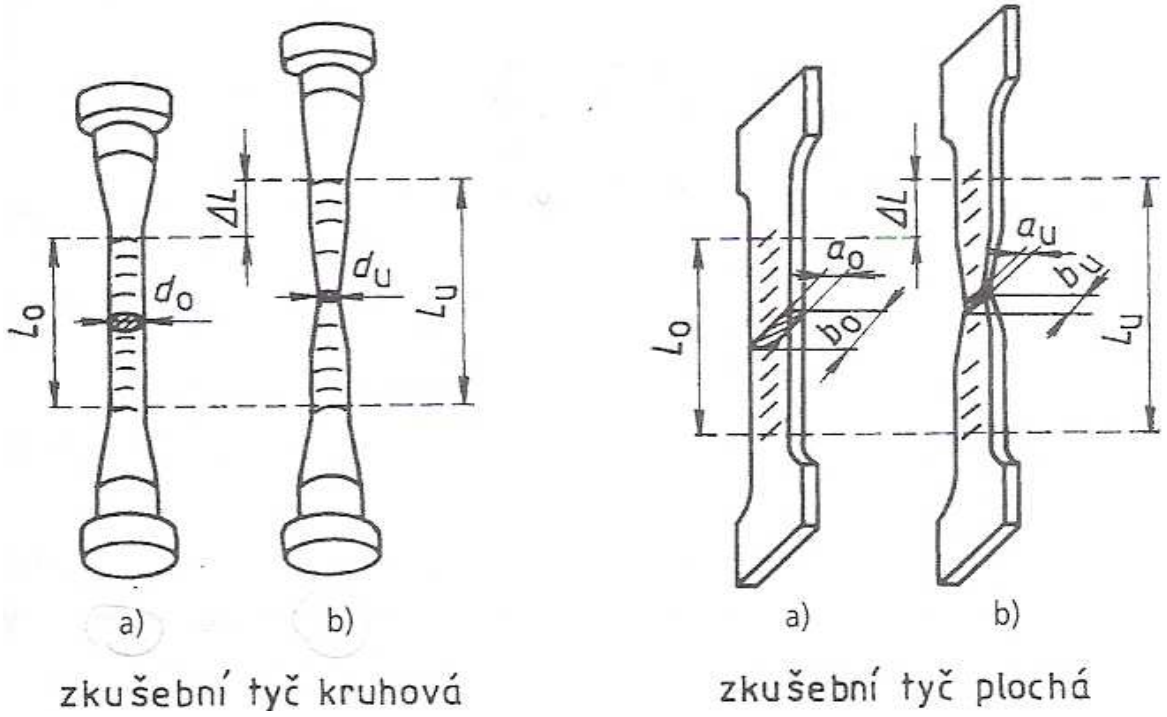
Zkouška tahem je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkouškou tahem zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakci (zúžení) zkoušeného materiálu. [3]

5.1.1 Trhací stroje

Zkoušky tahem se provádějí na zkušebních strojích různých typů, vybavených zařízením k upnutí zkušební tyče a jejímu plynulému zatěžování definovanou rychlostí, a ústrojím k měření a záznamu zatěžovací síly a velikosti deformace zkušební tyče. [6]

5.1.2 Zkušební tyče

Zkouška tahem se nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž rozměry jsou normalizovány. Počáteční délka L_0 zkušební tyče závisí na průřezu skušební tyče. Ta je při kruhovém průřezu u dlouhé tyče 10 d_0 a u tyče krátké 5 d_0 (d_0 – průměr zkušební tyče). Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před rysky ve vzdálenosti 10mm [3]



Obr. 4. Zkušební tyče pro statickou zkoušku tahem [3]

5.1.3 Výsledek zkoušky

Při všech statických zkouškách vzniká v zatížené součásti napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších.Rozeznáváme napětí normálové σ a napětí tečné τ. Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoliv stádiu zkoušky nazýváme skutečným napětím. Běžně však používáme hodnoty smluvních napětí, protože neuvažujeme změnu průřezu tyče a zatížení vztahujeme na původní průřez S_0.

Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu) R_m je smluvní hodnota napětí daného podílem největší síly F_m, kterou snese zkušební tyč, a počátečního průřezu zkušební tyče S_0.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}\left[MPa\right] \tag{1}$$

Byla-li počáteční délka zkušební tyče L_0 a konečná délka po přetržení L_u je celkové (absolutní) prodloužení (změna délky):

$$\Delta L = L_u - L_0 \tag{2}$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky ΔL k počáteční délce zkušební tyče L_0.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \tag{3}$$

Tažnost A je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech počáteční délky:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \tag{4}$$

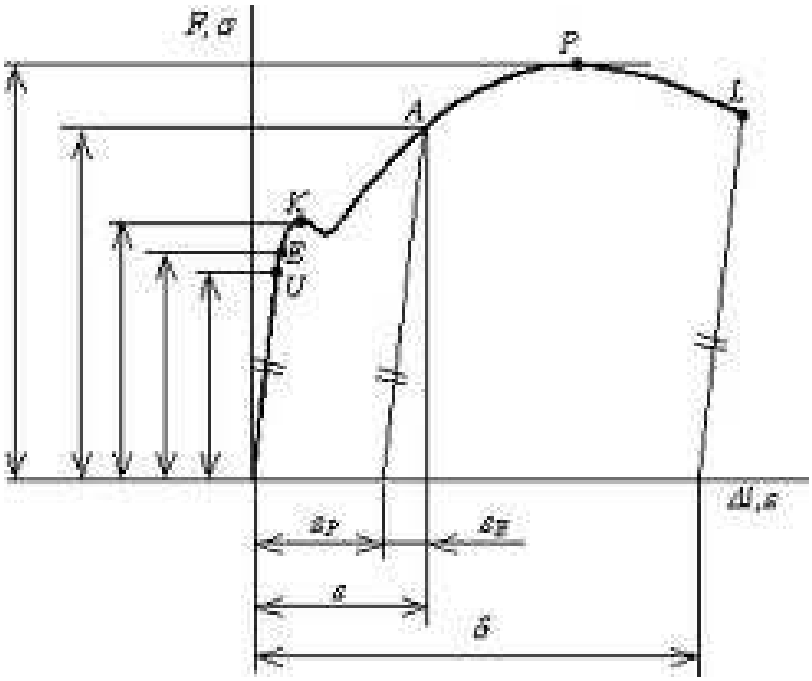
U tažnosti uvádíme index (A_5, A_{10}), zda byla získána na krátké či dlouhé zkušební tyči.

Kontrakce (zúžení) Z je poměr rozdílu počáteční plochy a nejmenší plochy S_u příčného průřezu zkušební tyče po přetržení k počáteční ploše průřezu:

$$Z = \frac{S_u - S_0}{S_0} \cdot 100 \tag{5}$$

[3]

Závislost mezi napětím a prodloužením zkušební tyče je nejlépe znázorněna v pracovním diagramu.



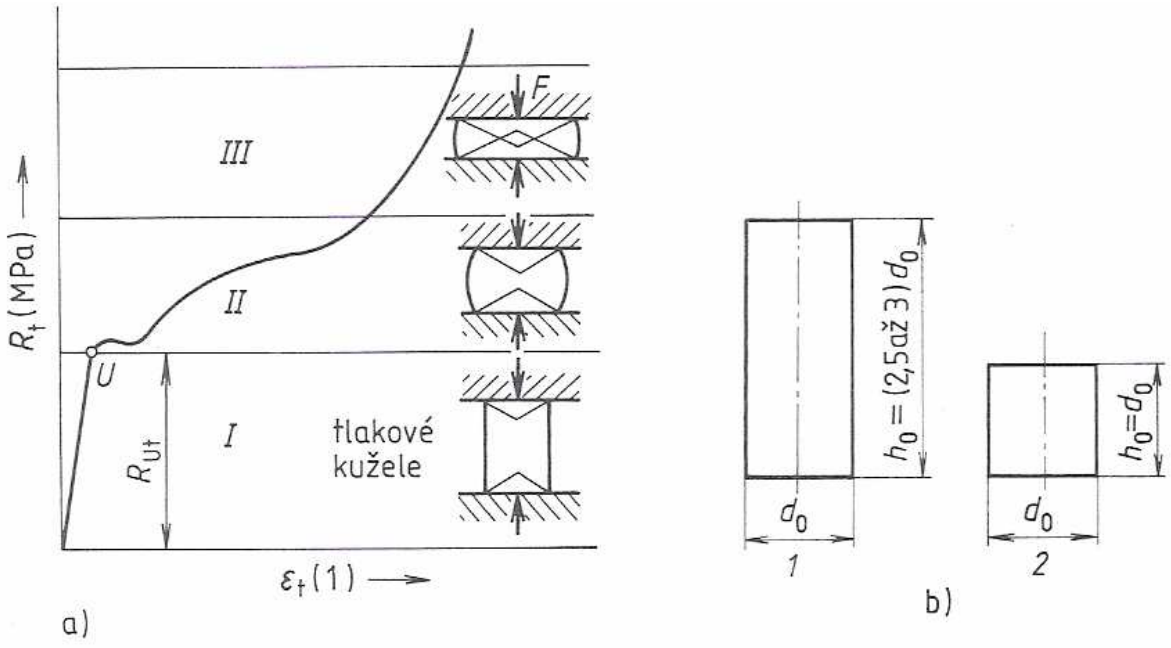
Obr. 5. Pracovní diagram zkoušky tahem [8]

Závislost napětí a deformace lze rozdělit na dvě základní oblasti, a to oblast, kde převládají oblasti pružné, které po odlehčení zátěžné síly prakticky vymizí, a oblast deformací trvalých.První oblast jde až do napětí daného mezí úměrnosti (U) a má přímkový charakter podle Hookeova zákona : [6]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \tag{6}$$

5.2 Zkouška tlakem

Zkouška tlakem je používána méně často (např. u ložiskových kovů, litiny, keramických látek, stavebních hmot apod.). U ocelí nebývá tato zkouška nutná, neboť hodnoty meze úměrnosti a meze kluzu v tahu i tlaku jsou přibližně stejné. Zkušební tělesa mívají obvykle tvar válečku o průměru d_0=(10 až30)mm. Výška válečku h_0 se při hrubých zkouškách rovná průměru d_0, při přesných měřeních volíme výšku h_0=(2,5 až 3)d_0. Zkušební tělesa z kamene, betonu, dřeva apod. mají tvar krychle.



a) zkoušky tlakem měkké nelegované oceli, b) zkušební tělesa
1 – přesné zkoušky, 2 – hrubé zkoušky

Obr. 6. Pracovní diagram zkoušky tlakem [3]

Průběh tlakové deformace zkušebního válečku z houževnatého materiálu (měkké oceli) je na obrázku. V prvním údobí zkoušky je křivka napětí strmá, materiál odolává tlaku a tvoří se tzv tlakové kužele. V druhém údobí hmota tělesa lehce klouže po kuželových plochách do stran, což se jeví v tlakovém diagramu menším vzrůstem napětí vzhledem k deformaci.

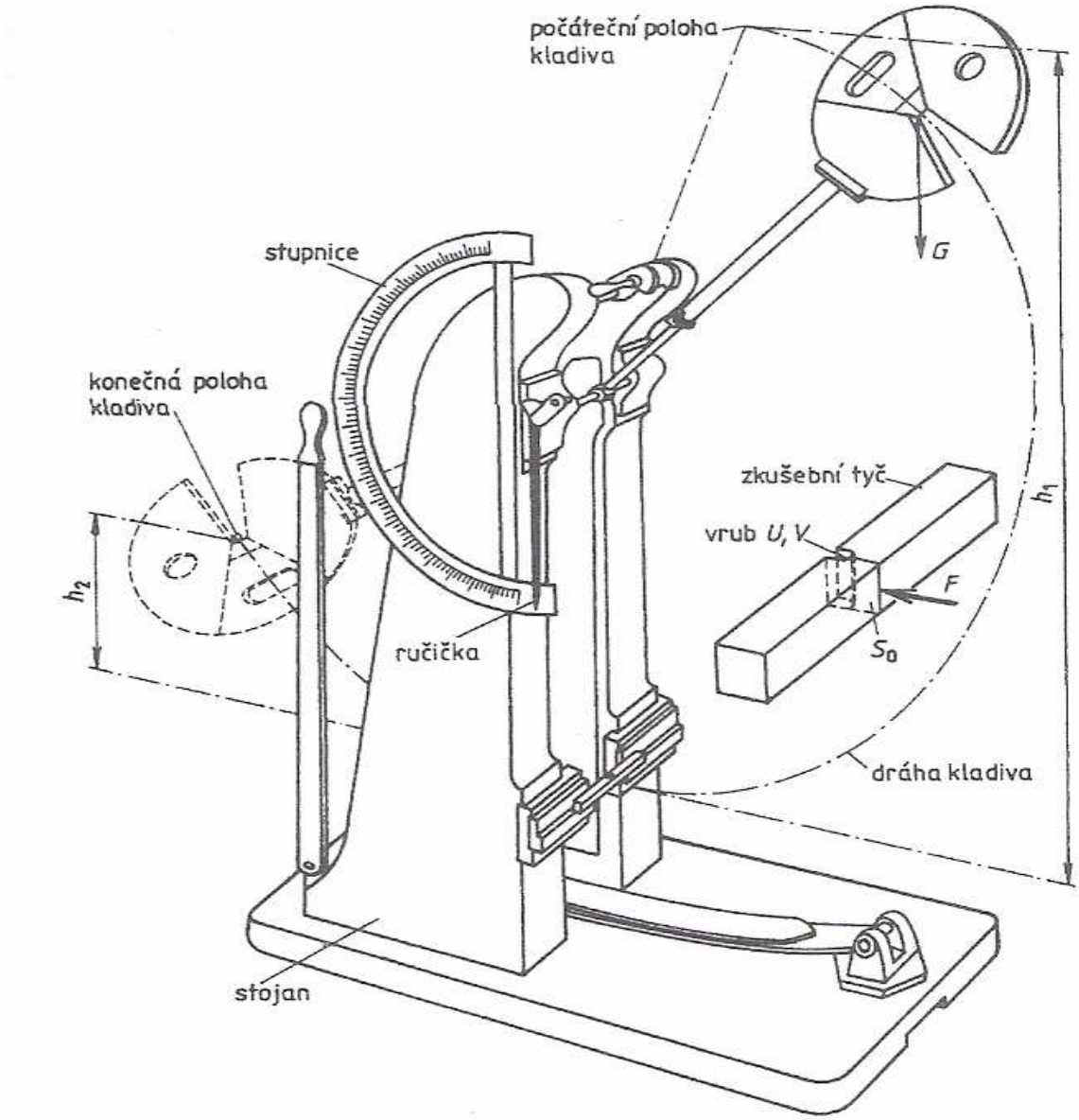
Jakmile se tlakové kužele k sobě přiblíží (třetí údobí), vzrůstá odpor proti stlačování a křivka stlačení má opět strmý průběh. Této třetí fáze obvykle u tlakových zkoušek nedosahujeme. U křehkého materiálu nastává rozdrcení (lom) bez plastické deformace.

Stejně jako u tahové zkoušky můžeme i u zkoušky tlakové sestrojit pracovní diagram a stanovit: pevnost v tlaku, mez kluzu v tlaku, prosté zkrácení (stlačení), poměrné zkrácení (stlačení), poměrné rozšíření.

Rozměry a definice těchto hodnot jsou stejné jako pro zkoušku tahem. Mez pevnosti se uvádí jen pro křehké materiály, neboť u měkkých a tvárných kovů nelze určit okamžik porušení. [3]

5.3 Zkouška vrubové houževnatosti

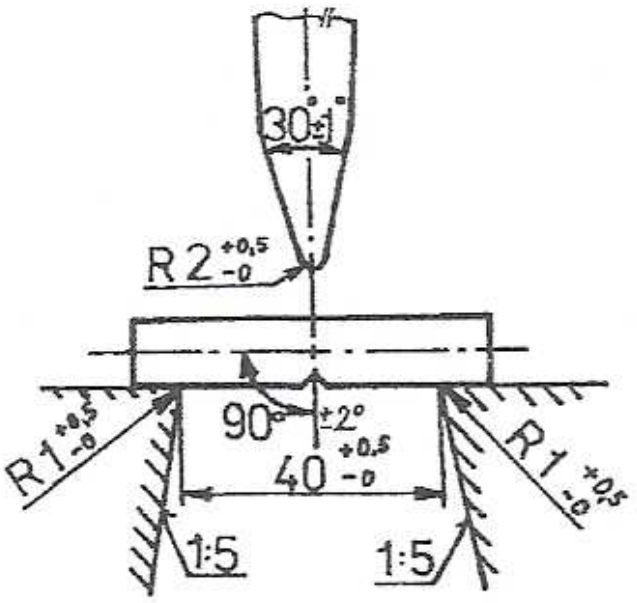
Zkouška rázem v ohybu je základní zkouškou hodnocení houževnatosti materiálu. Je měřítkem citlivosti materiálu vůči místní koncentraci napětí při dynamickém namáhání rázem. Zkouška se provádí na kyvadlovém kladivu a zjišťuje se práce, spotřebovaná k přeražení zkušební tyče. [5]



Obr. 7. Schéma zkoušky [3]

5.3.1 Princip zkoušky

Zkouška rázem v ohybu spočívá v přeražení zkušební tyče jedním nárazem kyvadlového kladiva s maximální energií nárazu nejčastěji 300 J. Kladivo je obvykle typu Charpy nebo Amslet. Zkušební tyč má uprostřed vrub tvaru V nebo U a je položena na dvou opěrkách. Vrub je umístěn v odvrácené straně úderu kladiva. [5]



Obr. 8. Uložení zkušební tyče při zkoušce[5]

Zkušební tyče jsou při přerážení uloženy na dvou podporách (zkouška podle Charpyho) nebo letmo (Zkouška podle Izolda). První způsob se užívá v Evropě a je normalizován i u nás, druhý např. v USA.

5.3.2 Výsledek zkoušky

Jako výsledek zkoušky se určuje buď nárazová práce nebo vrubová houževnatost. Posuzuje se také vzhled lomu a příčné rozšíření zkušební tyče.

- Nárazová práce K [J] je práce, která se spotřebuje na přeražení zkušební tyče. Zjišťuje se na stupnici kyvadlového kladiva.
- Vrubová houževnatost KC [J•cm^{-2}] je podílem nárazové práce K a počátečního příčného průřezu zkušební tyče S_0 v místě vrubu. Vpočte se podle vzorce:

$$KC = \frac{K}{S_0}\left[J \cdot cm^{-2}\right] \tag{7}$$

[5]

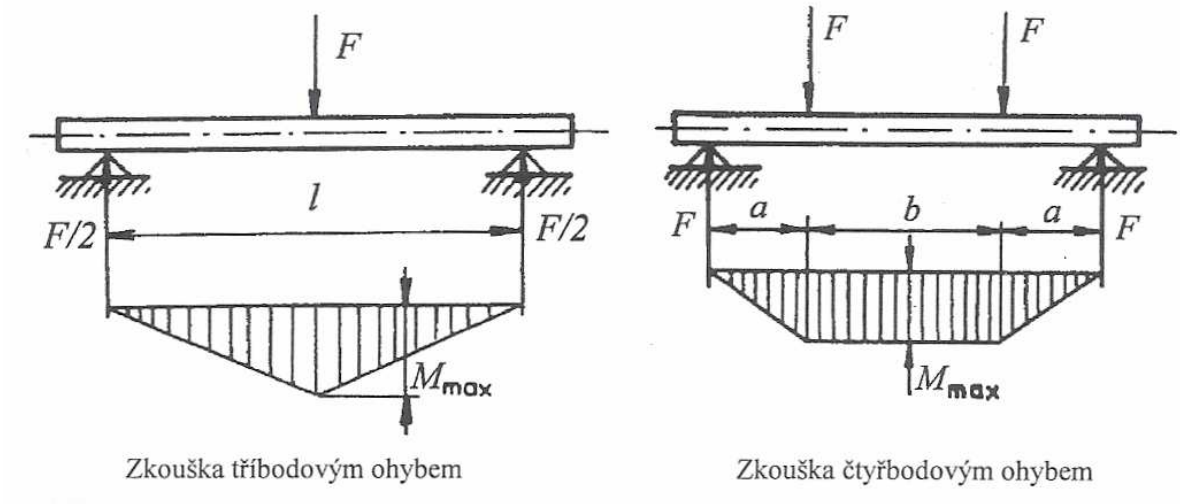
5.4 Zkouška ohybem

Namáhání v ohybu vzniká v průřezu tělesa zatíženého dvojicí sil působících v rovině podélné osy tělesa. Ohyb je kombinací tahového a tlakového namáhání.

5.4.1 Princip zkoušky

Při zkoušce se zkušební tyč obdélníkového nebo kruhového průřezu položí na dvě podpory (zpravidla válečky). Zkušební stroj pracuje v režimu tlakového zatěžování. Horní část přípravku pro ohybovou zkoušku tvoří jeden trn, který působí silou uprostřed zkušební tyče (zkouška tříbodovým ohybem), nebo dva trny umístěné symetricky vzhledem ke středu tyče (zkouška čtyřbodovým ohybem). Účelem zkoušky je získat závislost síla- průhyb tyče. Průhyb se měří snímačem přemístění středu tyče vzhledem k nejbližším oporám.

Při průhybu není napětí v průřezu zkušební tyče konstantní, ale mění se. Na povrchu vzorku, proti zatěžovacímu trnu působí maximální tahová napětí. Směrem ke středu tyče napětí klesá na nulovou hodnotu a dále nabývá záporných hodnot tj. je tlakové.



Obr. 9. Schéma zkoušky ohybem[3]

5.4.2 Výsledek zkoušky

Za pevnost v ohybu se bere maximální hodnota tahového napětí působícího na povrchu tyče v okamžiku lomu. Hodnota smluvní pevnosti v ohybu R_{mo} je dána vztahem: [1]

$$R_{mo} = \frac{M_{O\,MAX}}{W_O}\,[MPa] \tag{8}$$

5.5 Zkouška tvrdosti

Zkoušky tvrdosti jsou v technické praxi velmi rozšířené. Nejčastěji se používají k doplnění hodnot mechanických vlastnosti, zjištěných zkouškou tahem a zkouškou rázem v ohybu. Jejich hlavní předností je jednoduchost a dále ta, že v převážné většině případu není nutno zhotovovat pro měření tvrdosti zvláštní zkušební tělesa, protože se tvrdost měří buď přímo na výrobku, nebo na již vyhodnocené zkušební tyči z jiných zkoušek.

5.5.1 Rozdělení zkoušek tvrdosti

Zkoušky tvrdosti je možno rozdělit podle více hledisek. Podle principu zkoušky se dělí na zkoušky vrypové, vnikací, nárazové a odrazové. Podle rychlosti zatěžující síly jsou zkoušky tvrdosti buď statické, nebo dynamické. Podle účelu měření jsou zkoušky makroskopické a zkoušky mikroskopické. [5]

Tab. 3. Rozdělení zkoušek tvrdosti [5]

Zkoušky makrotvrdosti	Statické	Vrypové	Metoda Martens
		Vnikací	Metoda Brinell
			Metoda Vickers
			Metoda Rockwell
	Dynamické	Plastické nárazové	Metoda volným pádem
			Metoda stlačenou pruži
			Porovnávací metoda
		Elastické odrazové	Metoda volným pádem (Shorova)
			Metoda kyvadlová (Duroskop)
Zkoušky mikrotvrdosti	Statické	Vnikací	Metoda Vickers při zatížení do 4,9 N

5.6 Zkouška podle Brinella

Zkouška tvrdosti podle Brinella (ČSN 42 0371-78). Při této zkoušce se do zkoušeného materiálu zatlačuje určitou silou F ocelová kalená kulička o průměru D. Tvrdost se vyjadřuje poměrem zatížení k ploše kulovitého vtisku a stanoví se ze vztahu. [4]

$$HB = \frac{0{,}102 \cdot F}{A} = \frac{0.102 \cdot F}{\frac{\pi \cdot D}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \tag{9}$$

Tvrdost má sice rozměr napětí, vyjadřuje se však bez rozměrů v jednotkách tvrdosti. Jako vnikacího tělesa se užívá kulička o průměru D= 10; 5; 2,5; 2 a 1mm. Do tvrdosti 400 HB jde o ocelové kuličky, při vyšší tvrdosti o kuličky ze slinutých karbidů. Nad tvrdost 450 HB však není měření podle Brinella vhodné.

Zatížení se volí jako násobek čtverce průměru kuličky $F = K \bullet D^2$. Běžně bývá pro ocel K = 30, pro neželezné slitiny K = 10, pro měkké neželezné kovy a kompozice K = 2,5. Za těchto podmínek jsou výsledky zkoušky srovnatelné.

Průměr vtisku d se měří vhodným měřícím přístrojem ve dvou na sebe kolmých směrech. Rozdíl mezi oběma naměřenými hodnotami nesmí překročit 5%. Měření musí dále splnit tyto podmínky: Povrch zkoušeného předmětu musí být rovný, hladký, bez okují a nečistot. Tloušťka předmětu nesmí být menší než osminásobek hloubky vtisku.

K rychlému vyhodnocení tvrdosti slouží tabulky, v nichž se pro naměřený průměr vtisku, užité zatížení a průměr kuličky odečte tvrdost HB. [4]

5.7 Zkouška podle Vickerse

Zkouška tvrdosti podle Vickerse (ČSN 42 0374-78). Vnikajícím tělískem je diamantový čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136°. Tvrdost se vyjadřuje jako poměr zatížení vnikajícího tělíska F k ploše vtisku (plášť jehlanu): [4]

$$HV = 0{,}189 \frac{F}{d^2} \tag{10}$$

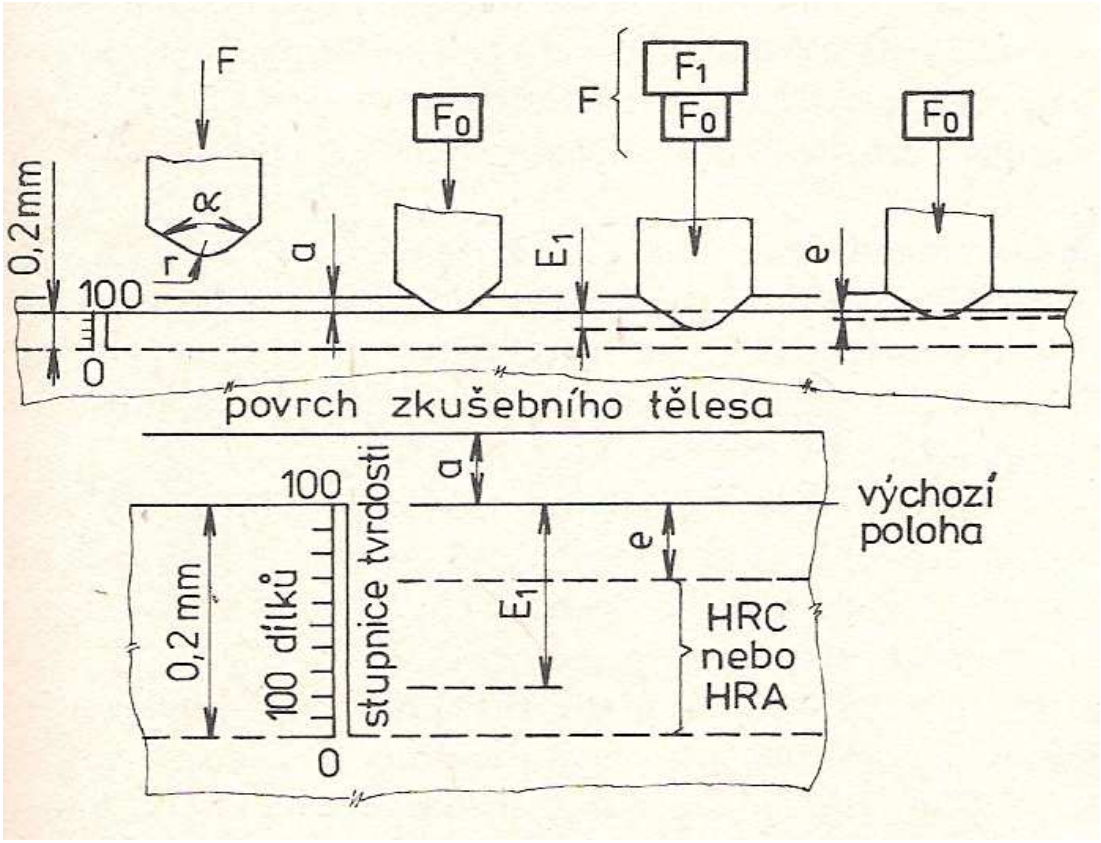
Vtisky při zkoušce podle Vickerse jsou i při různém zatížení geometricky podobné a zatížení lze proto volit libovolně. Prakticky se užívají zatížení odstupňovaná v deseti stupních od 9,8 (1) do 980 (100) N (kp). Tvrdost, např. 324 jednotek, stanovená za základních podmínek 294 N (30 kp) a působení 10 až 15 s, se značí 324 HV. Jiné zatížení a doba působení se vyjádří dalšími údaji, např.: 138 HV /10/30 (tj. tvrdost při zatížení 98 N = 10 kp po dobu 30s). [4]

Vzhledem k malým rozměrům vtisků je často nezbytná úprava měřeného povrchu broušením. Tloušťka předmětu musí být rovna nebo větší než 1,5d. (Podle grafu v normě lze určit vhodné zatížení vzhledem k tloušťce tělesa a jeho tvrdosti). Rovněž nejmenší vzdálenost vtisku od kraje vzorku je stanovena normou.

Úhlopříčky vtisku se měří obvykle mikroskopem s požadovanou přesností (±0,001 mm při délce do 0,2 mm a ±0,5 % při délce nad 0,2 mm). [4]

5.8 Zkouška podle Rockwella

Zkouška tvrdosti podle Rockwella (ČSN 42 0372-81, 42 0373-78). Vnikacím tělískem je diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° a zaoblením hrotu 0,2 mm, nebo kalená ocelová kulička o průměru 1/16“ (= 1,587 5 mm). Měří se hloubka vtisku dosaženého za definovaných podmínek vtlačováním vnikacího tělesa a při vyloučení vlivu povrchu zkoušeného tělesa a jeho dopružování. [4]



Obr. 10. Schéma zkoušky tvrdosti podle Rockwella [4]

Vnikací těleso se nejprve zatíží základním předběžným zatížením F_0. Stupnice hloubkoměru se nastaví v zatíženém stavu do počáteční polohy. Poté se uplatní přídavné zatížení F_1 (celkové zatížení $F = F_0 + F_1$). Po odlehčení na zatížení F_0 se na hloubkoměru odečte přímo tvrdost v příslušné stupnici. (Tvrdost je daná hloubkou vtisku E_1, které se dosáhlo aplikací plného zatížení, měřenou od hloubky odpovídající předběžnému zatížení a zmenšenou o zpětnou pružnost deformací.) [4]

Měřený povrch musí být rovný, vzorek musí ležet na nepoddajné podložce. Jeho tloušťka musí být nejméně osminásobkem hloubky trvalého vtisku.

Vhodnou volbou vnikacího tělesa (kužel, kulička) a velikosti počátečního i celkového zatížení lze zkoušku uplatnit v širokém rozsahu tvrdosti. Díky malé hloubce vtisku je vhodná i pro měření tvrdosti tenkých povrchových vrstev a tenkostěnných součástí. Podle vnikacího tělesa a velikosti zatížení jsou jednotlivé stupnice tvrdosti podle Rockwella označeny HRC, HRB, HRA, HRN, HRT (popř. další). Podmínky odpovídající jednotlivým modifikacím zkoušek podle Rockwella, jsou normalizovány. Metody s diamantovým vni-

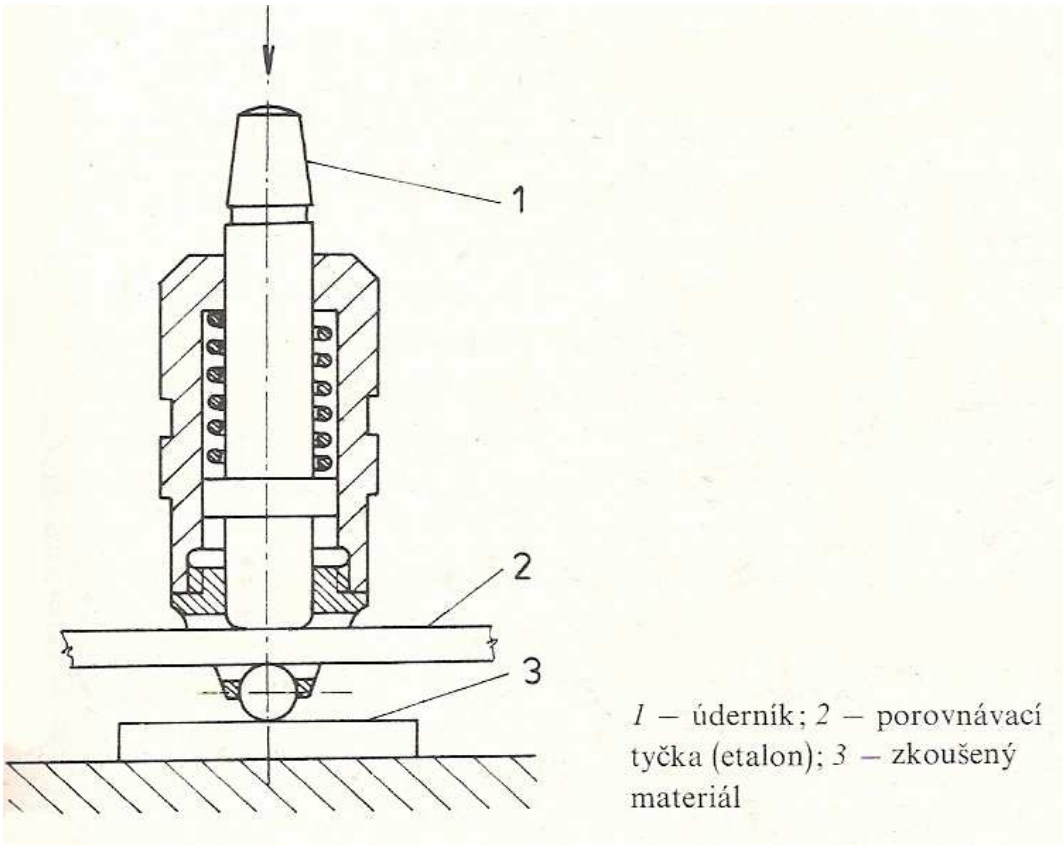
kacím kuželem (HRC, HRA, HRN) jsou vhodné pro tvrdé materiály, přičemž pro křehké látky (slinuté karbidy), tenké vrstvy nebo tenké vzorky se volí nižší zatížení. Modifikace s kuličkou jsou vhodné pro měkčí kov a slitiny. Nejběžnější je metoda HRC, užívaná zejména pro měření tvrdosti nástrojů. Uplatňuje se v rozsahu 20 až 70 HRC. [4]

5.9 Dynamické zkoušky tvrdosti

Při dynamickém měření tvrdosti působí zkušební tělísko na zkoušený vzorek (předmět) rázem. Tvrdost se určuje buď z plastické deformace povrchu zkoušeného tělesa- zkoušky vnikací (vtiskové) -, nebo z velikosti odrazu zkušebního tělíska – zkoušky odrazové.

Dynamické vnikací zkoušky jsou obdobou zkoušek statických. U nás se nejvíce uplatňuje měření tvrdosti pomocí kladívka Poldi a Baumannova kladívka. V obou případech je vakacím tělesem kulička.

Měření kladívkem Poldi je založeno na srovnávací metodě. Kladívko s vloženou porovnávací tyčkou. [4]



Obr. 11. Schéma kladívka Poldi [3]

se přiloží na zkoušený povrch a úderem kladiva na úderník vznikne zároveň vtisk ve zkoušeném materiálu a v porovnávací tyčce známé tvrdosti. Z velikosti obou vtisků se v tabulce odečte tvrdost, popřípadě i přibližná pevnost. U Baumannova kladívka, které pracuje přímou metodou, je rázová energie k vytvoření vtisku vyvozena pružinou.

Z odrazových zkoušek se uplatňuje metoda Shoreho. Tvrdost se posuzuje podle výšky odrazu závaží s diamantovým kulovitě ukončeným hrotem, které dopadlo z určité výšky na zkoušený předmět. Příslušný tvrdoměr se nazývá skleroskop.

Dynamické měření tvrdosti je méně přesné než výsledky statických zkoušek. Užívá se zejména pro dílenská měření tvrdosti velkých výrobků a konstrukcí. [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části bakalářské práce byla výroba kompozitního materiálu za využití technologie kovářského svařování. V této části bakalářské práce byla věnována pozornost volbě materiálu, kde byly popsány vlastnosti zvoleného materiálu, přípravě polotovaru s ohledem na pozdější zpracování kováním. Samotné výrobě kovářsky svařené oceli, technologický postup výroby oceli a popis jednotlivých částí její výroby. Výrobě zkušebních vzorků. Jak zkušebních tyčinek pro statickou zkoušku tahem, tak zkušebních tyčinek pro zkoušku vrubové houževnatosti za použití kladiva typu Charpy. Při vyhodnocení těchto zkoušek jsem se zaměřil především na srovnání výsledků mezi výchozími materiály a materiálem vyrobeným kovářským svařením výchozích materiálů.

6 MATERIÁL

Od vyrobeného materiálu očekáváme jisté mechanické vlastnosti. Mezi hlavní požadované vlastnosti patří vysoká vrubová houževnatost, tvrdost, pevnost v ohybu, prokalitelnost, otěru vzdornost. Tyto vlastnosti vyplývají z použití kovářsky svařených oceli při výrobě nožů a zbraní.

6.1 Volba materiálu

Na výrobu kovářsky svařené oceli a používá dvou a více druhů materiálu. Tyto materiály musí mít jisté vlastnosti potřebné, jak z hlediska výsledných vlastností materiálu, tak z hlediska samotné výroby materiálu. Používanou kombinací jsou oceli nástrojové třídy 19 a oceli konstrukční třídy 11 nebo 12.

V praxi, tedy spíše v amatérských případech výroby, kováři využívají tyto materiály v dostupné formě. Jako zástupce nástrojové oceli jsou tedy používány pilníky, pilové listy a jiné. Další často používanou alternativou je kovářské svaření řetězu motorové pily. Tento řetěz obsahuje jak tvrdé oceli (řezné části), tak měkké oceli (spojovací části).

V mém případě byla objednána ocel v podobě desek, řezaných na rozměr z plochých tyčí.

Tab. 4. Rozměry polotovaru

Ocel	Rozměr polotovaru v mm	Počet kusů	Použití polotovaru
19 191	200 x 60 x 5	2	Kování
	200 x 60 x 14	1	Výrobu zkušebních vzorků
11 523	205 x 61 x 5	2	Kování
	205 x 61 x 14	1	Výrobu zkušebních vzorků

6.1.1 Ocel 11 523

Jako konstrukční ocel jsem zvolil ocel 11 523. Tato ocel by měla plnit funkci měkké a houževnaté části. Po případném povrchovém zakalení by šlo a měkké a houževnaté jádro odolné proti zlomení.

6.1.2 Ocel 19 191

Nejčastěji preferovanou nástrojovou ocelí je ocel 19 191. Ocel je dobře kovářsky svařitelná. A vhodná k povrchovému kalení. Ocel 19 191 bude vhodně doplňovat ocel 11 523 právě svou tvrdostí, pevností a řezovostí.

7 ZPRACOVÁNÍ KOVÁNÍM

7.1 Příprava materiálu

Pro zamezení komplikací s kovářským svařením byl materiál obroušen, odmaštěn a zbaven nečistot. Jednotlivé desky byly popsány lihovým fixem, který byl při broušení a následném odmaštění odstraněn, Proto byly jednotlivé desky, pro pozdější rozlišení, označeny zářezy ruční pilou.

Připravené desky byly sestaveny do bloku. Tento blok se skládal ze čtyř kusů desek. Dvou desek oceli 19 191 a dvou desek oceli 11 523. Tyto desky byly v bloku umístěny střídavě. Vyrovnaný blok desek byl pevně stažen pomocí stolařské svěrky a následně svařen elektrickým obloukem.

Pro lepší manipulaci při samotném kování byla k bloku přivařena delší tyč, sloužící jako držadlo.

7.2 Technologie kovářského svařování, překládání

Kovářské svařování je poměrně stará metoda svařování. Ke svaření jednotlivých materiálu dochází za působení vysoké teploty a vysokého tlaku.

Podobně jako u metody svařování třením. Při této metodě se dvě rotační součásti, z nichž jedna stojí a druhá se otáčí kolem své osy, stýkají čely mezi kterými vlivem rotace a tlaku vniká tření a tím i vysoká teplota. Po zahřátí dojde ke svaření vlivem vysoké teploty a tlaku. Principem je metoda kovářského svařování ve své podstatě stejná, s tím rozdílem že teplo je dodáváno z prostředí kovářské výhně a tlak je na materiál vyvozen, při ručním kováním kladivem, při strojním pak beranem bucharu popřípadě lisem.

Obě svařované plochy musejí být před samotným svařením patřičně připraveny. Při svaření dvou volných konců je třeba materiál třeba mechanicky zpravit. Tlak vyvozený na svár by měl působit pokud možno kolmo na něj. V případě typu tupého sváru bychom museli působit axiální sílou což je v případě jak volného tak strojního kovaní velmi neobratné a těžko proveditelné a tudíž nevhodné. Z toho důvodu musí být oba konce vhodně upraveny zkosením. Po přeložení takto zkosených konců lze působit radiální silou, což je mnohem snadnější. V našem případě jsme svaření prováděli v celé ploše materiálu jak u připraveného polotovaru tak později při překládání.

Technologie překládání vychází z technologie výroby damascénské nebo sendvičové oceli. Vycházíme z připraveného svařeného polotovaru o čtyřech vrstvách. Dvou vrstvách oceli 19 191 a dvou vrstvách oceli 11 523. Tyto čtyři vrstvy jsou ve formě polotovaru zahřáty ve výhni a poté skovány dohromady. Po prodloužení materiálu je materiál přeseknut a přeložen. S každým přeložením roste počet vrstev geometrickou řadou (4, 8, 16, 32…). S rostoucím počtem vrstev by měl daný materiál nabývat lepších vlastností. Našem cílem je tedy vytvoření kompozitního materiálu, u něhož se budou střídat vrstvy materiálu nástrojové oceli a oceli konstrukční.

Před svařením musejí být svařované plochy patřičně připraveny. Pří kování se na povrchu výkovku tvoří okysličené vrstvy, okuje. Tento z našeho pohledu znehodnoceny materiál je třeba před přeložením mechanicky odstranit. V našem případě byla použita škrabka a ocelový kartáč. Povrch výkovku byl ošetřen tavidlem Boraxem (tetraboritan sodný). Tavidlo do jisté míry zabraňuje vzniku nežádoucích okují. Styčnou plochu svaru jsme tedy před přeložením a následným skováním posypali tavidlem. V ploše sváru se tedy nenacházeli okuje a tavidlo bylo při samotném kování vytlačeno. Tímto postupem by mělo byt v ideálním případě docíleno celistvého, pevného sváru bez případných nečistot.

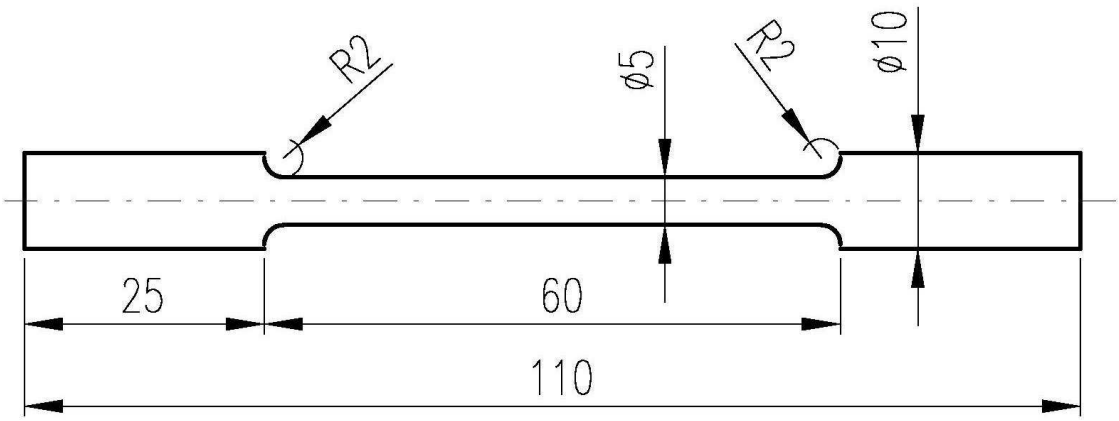
K výrobě lze použít i postup kdy k přeložení nedochází při naseknutí oceli zahřáté na kovací teplotu jejímu ohnutí v místě přeseknuti a následnému skování, ale skovaný prodloužený materiál ponecháme volně zchladnout a pomocí úhlové brusky nebo pily nadělíme. Odřezané kousky očistíme, následně sestavíme do bloku, který za použití svářecí techniky připravíme opět jako polotovar pro kování. Oba postupy opakujeme až k dosažení požadovaného počtu vrstev.

8 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Polotovarem pro výrobu zkušebních vzorků byl vyrobený výkovek o 64 vrstvách a o rozměrech 65mm x 165mm a průměrné tloušťce 13mm. Polotovar byl zbaven okují, očištěn a rozřezán na menší kusy vhodnější k dalšímu zpracování. Na přibližně stejné kusy byli rozřezány i polotovary původních materiálu ocelí 11 523 a 19 191.

Pro obě zkoušky byli tedy vyrobeny vždy tři zkušební tyčinky ze tří materiálu. Vždy byl vyroben zkušební vzorek z materiálu 11 523, materiálu 19 191 a materiálu vzniklého kováním.

8.1 Zkušební těleso pro statickou zkoušku tahem

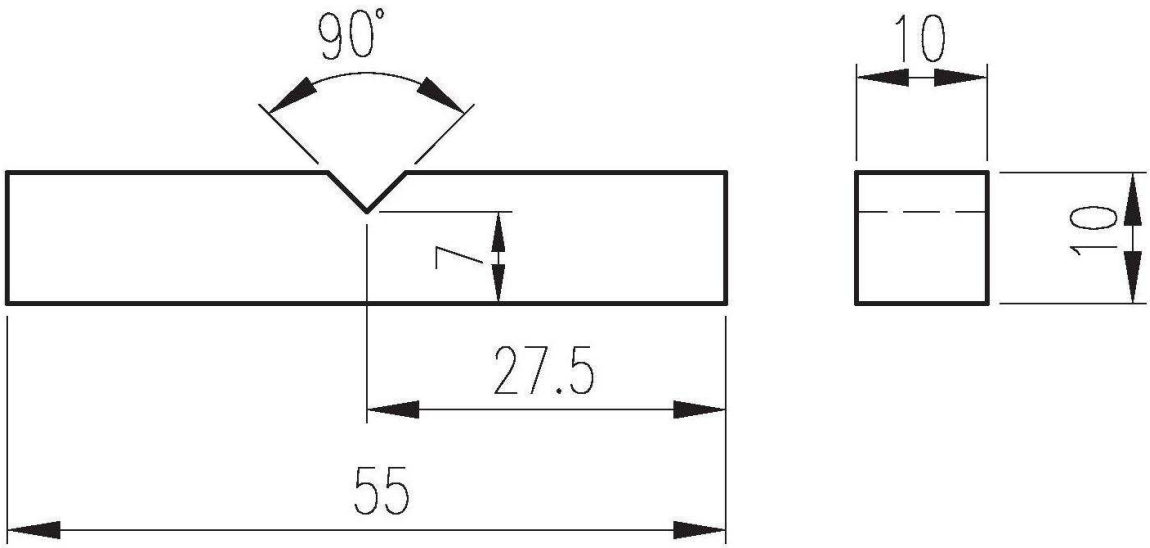


Obr. 12. Zkušební tyč pro statickou zkoušku tahem

Postup výroby těchto vzorků byl značně ztížen, neboť výchozím polotovarem pro výrobu rotační součásti soustružením byl čtyřhran. Tento čtyřhran byl vyroben řezáním za pomoci úhlové brusky. Tato stávající podoba polotovaru, který byl značně nerovný a nepřesný, byla tedy nevhodná jak pro obecné soustružení tak pro samotné upnutí do sklíčidla.

Jak polotovar kovaný, tak ostatní dva byly nejprve frézováním zúhlovány a tím připravený k dalšímu zpracování soustružením.

8.2 Zkušební těleso pro zkoušku vrubové houževnatosti



Obr. 13. Zkušební tyč pro zkoušku vrubové houževnatosti

Polotovarem byly stejně jako u výroby zkušebních vzorku pro statickou zkoušku tahem čtyřhrany nařezané pomocí úhlové brusky. Zde však byla tato podoba polotovaru značně vhodnější, než v předchozím případě. Konečným výrobkem je dle obrázku čtyřhran opatřený vrubem. Tento vzorek byl tedy vyroben zúhlováním polotovaru na požadovaný rozměr 10mm x 10mm a délku 55mm.

9 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

9.1 Statická zkouška tahem

Statická zkouška tahem byla provedena na zkušebním trhacím stroji. Po vynulování a nastavení stroje byla do připravených čelistí upnuta zkušební tyč. Po dokončení těchto operací byl stroj připraven na spuštění samotné zkoušky.

Narůstající síla byla zaznamenávána, jak na ukazateli samotného stoje, tak na připojeném počítači. Zaznamenána byla síla na mezi kluzu a síla na mezi pevnosti. Zkouška byla ukončena přetržením zkušební tyče. Po přetržení byly pomocí posuvné měrky změřena hodnota délky a průměru.

Tab. 5. Naměřené hodnoty

Materiál	Síla na mezi kluzu (N)	Síla na mezi pevnosti (N)	Délka z 50mm na : (mm)	Průměr z 5mm na : (mm)
11 523	3766	9700	63	2,9
19 191	4083	12150	58,1	4,4
Kovaný materiál	4147	11900	54	4,7

9.1.1 Vyhodnocení statické zkoušky tahem

Námi získané výsledky zkoušky jsou síla na mezi kluzu F_k a síla na mezi pevnosti F_m.

Z těchto sil jsem následným výpočtem určil smluvní mez pevnosti a mez kluzu.

9.1.1.1 Materiál 11 523

F_k = 3766 N, F_m = 9700 N, L_0=50mm, L_u= 63mm, d_0= 5mm, d_u= 2,9mm

Mez kluzu $R_k = \frac{F_k}{S_0} = [MPa]$ $R_k = \frac{3766}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 191{,}85MPa$ (11)

Mez pevnosti $R_m = \frac{F_m}{S_0} = [MPa]$ $R_m = \frac{9700}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 494{,}14MPa$ (12)

Prodloužení $\Delta L = L_u - L_0 [mm]$ $\Delta L = 63 - 50 = 13mm$ (13)

Poměrné prodloužení $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0}[1]$ $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{63-50}{50} = 0{,}26$ (14)

Tažnost $A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100[\%]$ $A = \frac{63-50}{50} \cdot 100 = 26\%$ (15)

Kontrakce $Z = \frac{S_u - S_0}{S_0} \cdot 100[\%]$ $Z = \frac{\frac{\pi \cdot 5^2}{4} - \frac{\pi \cdot 2{,}9^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} \cdot 100 = 66{,}3\%$ (16)

9.1.1.2 Materiál 19 191

F_k = 4083 N, F_m = 12150 N, L_0=50mm, L_u= 58,1mm, d_0= 5mm, d_u= 4,4mm

Mez kluzu $R_k = \frac{F_k}{S_0} = [MPa]$ $R_k = \frac{4083}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 208MPa$ (17)

Mez pevnosti $R_m = \frac{F_m}{S_0} = [MPa]$ $R_m = \frac{12150}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 618{,}95MPa$ (18)

Prodloužení $\Delta L = L_u - L_0 [mm]$ $\Delta L = 58{,}1 - 50 = 8{,}1mm$ (19)

Poměrné prodloužení $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0}[1]$ $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{58{,}1-50}{50} = 0{,}162$ (20)

Tažnost $A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100[\%]$ $A = \frac{58{,}1-50}{50} \cdot 100 = 16{,}2\%$ (21)

Kontrakce $Z = \frac{S_u - S_0}{S_0} \cdot 100[\%]$ $Z = \frac{\frac{\pi \cdot 5^2}{4} - \frac{\pi \cdot 4{,}4^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} \cdot 100 = 22{,}5\%$ (23)

9.1.1.3 Materiál kovářsky svařený

F_k = 4147 N, F_m = 11900 N, L_0=50mm, L_u= 54mm, d_0= 5mm, d_u= 4,7mm

Mez kluzu $R_k = \frac{F_k}{S_0} = [MPa]$ $R_k = \frac{4147}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 211{,}26MPa$ (24)

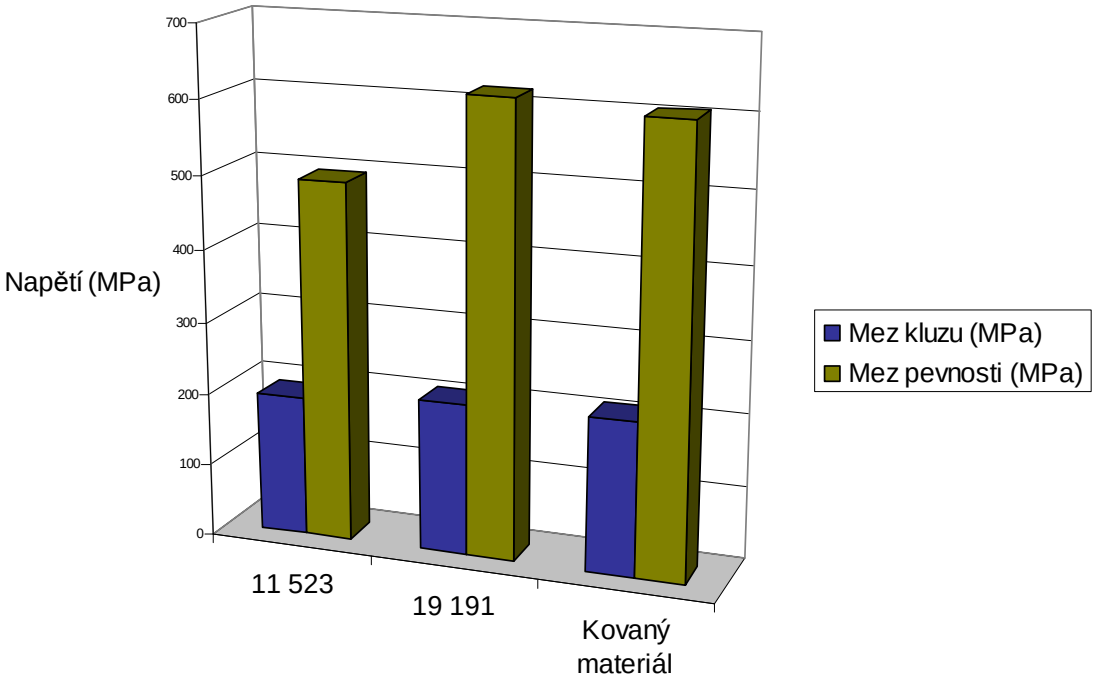
Mez pevnosti $R_m = \frac{F_m}{S_0} = [MPa]$ $R_m = \frac{11900}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 606{,}21MPa$ (25)

Prodloužení $\Delta L = L_u - L_0 [mm]$ $\Delta L = 54 - 50 = 4mm$ (26)

Poměrné prodloužení $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0}[1]$ $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{54 - 50}{50} = 0{,}08$ (27)

Tažnost $A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100[\%]$ $A = \frac{54 - 50}{50} \cdot 100 = 8\%$ (28)

Kontrakce $Z = \frac{S_u - S_0}{S_0} \cdot 100[\%]$ $Z = \frac{\frac{\pi \cdot 5^2}{4} - \frac{\pi \cdot 4{,}7^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} \cdot 100 = 11{,}6\%$ (29)



Obr. 14. Porovnání meze kluzu a meze pevnosti

Při měření mechanických zkoušek materiálů bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot meze pevnosti a maximálního napětí bylo dosaženo u materiálu 19191 a kovaného materiálu.Naopak nejmenší pevnosti a meze kluzu dosáhl materiál 11 523.

9.2 Zkouška vrubové houževnatosti

Zkouška vrubové houževnatosti byla provedena na zkušebním stroji, kladivu typu Charpy. Cílem zkoušky bylo postupné přeražení tří zkušebních vzorků.

Kladivo stroje bylo nastaveno do horní polohy a zajištěno. Ukazatel stroje byl vynulován a zapřen o unášecí kolík. Zkušební tyč byla umístěna na podpory ve spodní části stroje. Tyč byla umístěna vrubem od hrany kladiva. Tímto byl stroj připraven na provedení zkoušky.

Po odjištění kolíku se kladivo uvolnilo ve své horní poloze a zhouplo směrem dolů. V nejnižším bodě zhoupnutí byla přeražena zkušební tyč. Na stupnici byla zaznamenána energie spotřebovaná při přeražení tyče.

Tab. 6. Naměřené hodnoty nárazové práce

Materiál	K-Nárazová práce (J)
11 523	98
19 191	81,5
Kovaný materiál	58

9.2.1 Vyhodnocení zkoušky

Hodnoty vyplvající ze zkoušky jsem dále zpracoval výpočtem vrubové houževnatosti.

Materiál 11 523

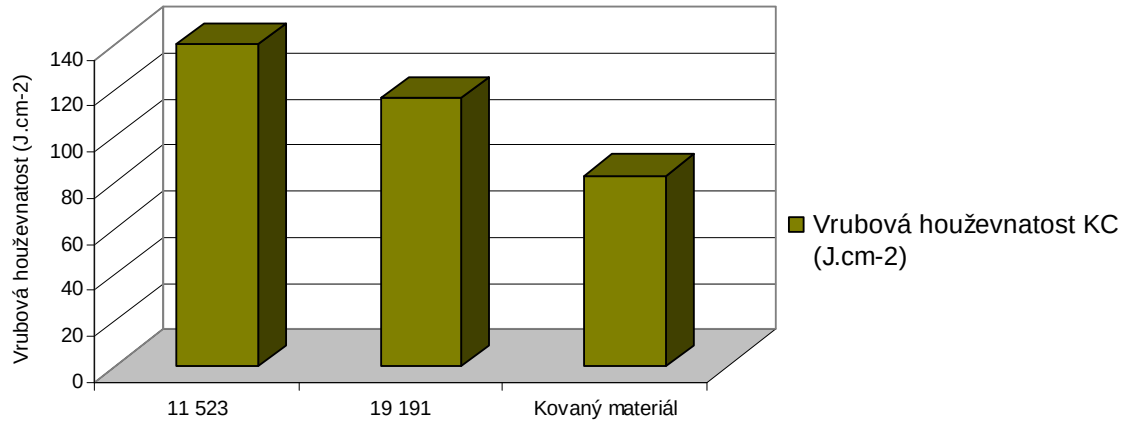
K = 98 J $KC = \frac{K}{S_0}\left[J \cdot cm^{-2}\right]$ $KC = \frac{98}{1 \cdot 0{,}7} = 140 J \cdot cm^{-2}$ (30)

Materiál 19 191

K = 81,5 J $KC = \frac{K}{S_0}\left[J \cdot cm^{-2}\right]$ $KC = \frac{81{,}5}{1 \cdot 0{,}7} = 116{,}43 J \cdot cm^{-2}$ (31)

Materiál kovářsky svařený

K = 58 J $KC = \frac{K}{S_0}\left[J \cdot cm^{-2}\right]$ $KC = \frac{58}{1 \cdot 0{,}7} = 82{,}86 J \cdot cm^{-2}$ (32)



Obr. 15. Vrubová houževnatost jednotlivých materiálu

Z výsledků zkoušky vrubové houževnatosti vyplynulo, že největší vrubovou houževnatost měl materiál 11 523. Menší potom materiál 19 191. Nejmenší vrubová houževnatost byla zjištěna u materiálu kovaného.

10 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo ověřit mechanické vlastnosti kované oceli. V teoretické části byly probrány materiály obecně, jejích složení, jejích značení, a vlastnosti. Dále byly popsány zkoušky mechanických vlastností. Na tyto zkoušky z velké části navázala praktická část bakalářské práce. V praktické části bakalářské práce jsem se věnoval výrobě kovářsky svařené oceli. Tento vyrobený materiál sloužil k výrobě zkušebních tyčí pro zkoušky mechanických vlastností. Zkouškami mechanických vlastností materiálu 11 523 a materiálu 19 191 jsme si ověřili jejich reálné hodnoty. U obou těchto materiálu jsou hodnoty meze pevnosti určeny v tabulkách v poměrně nepřesném rozmezí. Proto byly i u nich provedeny zkoušky pro získání přesnějšího výsledku. Tento postup je vhodný i s ohledem na to že výsledky zkoušek budou mezi sebou vzájemně porovnávány.

Samotná výroba, využitím technologie kovářského svařování je velmi náročná a zdlouhavá. I samotné kování vyžaduje jisté zkušenosti. Pro tento případ byl vyrobený materiál dostačující, ale pro náročnější, přesnější a rozsáhlejší výzkum a využití by bylo vhodné výrobu zlepšit. Toto zlepšování výroby by mělo vycházet z přibývajících zkušenosti. V našem případě bych doporučil pro příští zpracování při překládání nechat materiál vychladnout, přeřezat a znovu upravit do podoby polotovaru před kováním.

Z praktické části jsem vycházel i při volbě mechanických zkoušek. Hlavní zkouškou byla statická zkouška tahem, která byla blíže popsaná v teoretické části. Zkouška byla provedena na univerzálním stroji. Výsledkem byly síly na mezích kluzu a mezích pevnosti. Následným výpočtem jsem určil mez kluzu, mez pevnosti, absolutní prodloužení, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakci. Protože kovaný materiál se skládá z materiálu 11 523 a materiálu 19 191 ve stejném poměru měli by teoreticky být i jeho vlastnosti průměrem vlastností jednotlivých materiálů. Jak z vypočtu, tak i z grafického vyjádření vyplynulo, že vlastnosti kovaného materiálu byly více než průměrnou hodnotou jednotlivých materiálu. Tažnost a kontrakce byly největší u oceli 11 523, menší poté u oceli 19 191 a nejmenší u materiálu kovaného. Z toho jasně vyplývá, že kovaný materiál, při srovnatelném zatížení, podléhá menší deformaci oproti materiálu 19 191. Mnohem výrazněji je to poté vidět při srovnání s materiálem 11 523.

Druhou preferovanou zkouškou byla zkouška vrubové houževnatosti. Největší vrubová houževnatost byla naměřena u materiálu 11 523. To vyplývá i z charakteru použití toho-

to materiálu především jako materiál hluboko tažný. Nižší vrubová houževnatost byla naměřena u oceli 19 191. Nejmenší vrubová houževnatost byla poté naměřena u materiálu kovaného. Tento výsledek do jisté míry vyplývá i z výše zmíněných výsledků. Protože se materiál kovaný na rozdíl od materiálu 11 523 deformoval nejméně, byla i práce potřebná pro přeražení zkušební tyče nejmenší. V tomto případě je nutno podotknout, že osa vrubu byla kolmá na vrstvy kovaného materiálu. Tím mohla být vrubová houževnatost ovlivněna.

Zkoušky aplikované na těchto materiálech bych zařadil mezi základní zkoušky pro zjištění prvotních, směrodatných informací o těchto materiálech. V této problematice je stále mnoho možností pro navázání na tyto základní zkoušky. Volbu dalších, popřípadě upravením a přepracováním stávajících zkoušek. Na základě výsledků těchto navazujících zkoušek zlepšit vlastnosti daného materiálu optimalizací jeho výroby. Dalším samostatným oborem by bylo následné tepelné zpracování vyrobených součástí. Tato následná práce je však podmíněna poměrně četným a tudíž i nákladným zázemím.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I.*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 503 s.

[2] ČERNOCH, Svatopluk; BERNARDA, Ivo. *Strojně technická příručka : Svazek 2*. 13. upravené. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977. 2568 s.

[3] HLUCHÝ, Miroslav; KOLOUCH, Jan. *Strojírenská technologie 1 : Nauka o materiálu*. Praha : Scientia, 2002. 266 s.

[4] PLUHAŘ, Jaroslav. *Nauka o materiálech*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. 552 s.

[5] SKÁLOVÁ, Jana; KOVARÍK, Rudolf; BENEDIKT, Vladimír. *Základní zkoušky kovových materiálů*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2005. 178 s.

[6] PLUHAŘ, Jaroslav; KORITA, Josef. *Strojírenské materiály*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1966. 560 s.

[7] LEINVEBER, Jan ; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly : Albra, 2003. 866 s.

[8] *Jhamernik.sweb.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-06-02]. Vlastnosti kovových materiálů a jejich zkoušení. Dostupné z WWW: <http://jhamernik.sweb.cz/vlastnosti.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

L	Délka
L_0	Původní délka
d	Průměr
d_0	Původní průměr
S_0	Původní průřez
S_u	Průřez po přetržení
L_u	Délka po přetržení
ΔL	Absolutní prodloužení
ε	Poměrné prodloužení
σ	Napětí
Z	Kontrakce
E	Modul pružnosti
K	Nárazová práce
KC	Vrubová houževnatost
J	Joule
Mo_{max}	Maximální ohybový moment
W_O	Modul průřezu v ohybu
R_m	Mez pevnosti v tahu
R_k	Mez pevnosti v kluzu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Množství přísadových prvků[4] 12
Obr. 2. Schéma číselného značení[7] 14
Obr. 3.Přiklad barevného značení oceli [3] 17
Obr. 4. Zkušební tyče pro statickou zkoušku tahem [3] 26
Obr. 5. Pracovní diagram zkoušky tahem [8] 27
Obr. 6. Pracovní diagram zkoušky tlakem [3] 28
Obr. 7. Schéma zkoušky [3] 30
Obr. 8. Uložení zkušební tyče při zkoušce[5] 31
Obr. 9. Schéma zkoušky ohybem[3] 32
Obr. 10. Schéma zkoušky tvrdosti podle Rockwella [4] 36
Obr. 11. Schéma kladívka Poldi [3] 37
Obr. 12. Zkušební tyč pro statickou zkoušku tahem 45
Obr. 13. Zkušební tyč pro zkoušku vrubové houževnatosti 46
Obr. 14. Porovnání meze kluzu a meze pevnosti 50
Obr. 15. Vrubová houževnatost jednotlivých materiálu 52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Významu doplňkových číslic [7] 15
Tab. 2. Rozdělení tříd ocelí [7] 16
Tab. 3. Rozdělení zkoušek tvrdosti [5] 33
Tab. 4. Rozměry polotovaru 41
Tab. 5. Naměřené hodnoty 47
Tab. 6. Naměřené hodnoty nárazové práce 51

SEZNAM PŘÍLOH