

Hodnocení technologičnosti výroby forem

Vítězslav Rolek

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vítězslav ROLEK**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Hodnocení technologičnosti výroby forem**

Zásady pro vypracování:

- 1.) **Technologičnost konstrukce forem**
- 2.) **Materiálové aspekty technologičnosti ve výrobě forem**
- 3.) **Nové technologie ve výrobě nářadí**
- 4.) **Porovnání užitečných vlastností nových materiálů (obrobitelnost, fyzikálně mechanické charakteristiky, jakost)**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Ptáček L. a kol., Nauka o materiálu I, II

Humár A., Materiály pro řezné nástroje

Kocman, K., Prokop, J., Technologie obrábění

Skarabinski, M., Technologickosť konštrukcie strojov

RAGAN, E., RUŽBARSKÝ, J., MAŇAS, M. Vstrekovanie a spracovanie plastických hmot

HENDRYCH, J. A KOL. Standartizace rámmů a součástí forem pro vstřikování termoplastů

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**

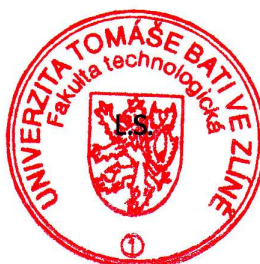
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2010**

Ve Zlíně dne 18. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

vedoucí katedry

Příjmení a jméno: Rolek Vítězslav

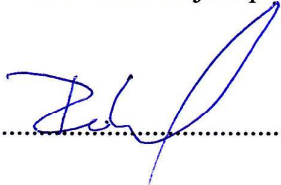
Obor: Procesní inženýrství

PROHLÁŠENÍ

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 užit 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 14.05.2010



.....

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 nevydělečně 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Práce se zabývá technologií výroby forem s důrazem na vlastnosti používaných nástrojových materiálů. Během práce bylo nutné prověřit vlastnosti materiálů Toolox a prověřit jejich užitnost s konvenčními nástrojovými oceli. Získat ucelený pohled na jejich význam znamenalo ověřit laboratorně jejich vlastnosti a porovnat údaje výrobce s naměřenými hodnotami a následně vše postoupit důkladné rozvaze.

Klíčová slova: nástrojové materiály, technologičnost, Toolox,

ABSTRACT

The works analyze manufacturing technology with focus on material features used for construction of tools. It was necessary to explore material characteristics for TOOLOX materials and check their usability with traditional tool steels. Comprehensive evaluation of key characteristics was checked in laboratory and compared with material data sheets provided by material manufacturer. Final results were displayed and evaluated.

Keywords: tool materials, technology, Toolox

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat za odborné vedení panu doc. Ing. Lukovicsovi, CSc. Děkuji za podporu v zaměstnání a poskytnuté vzorky materiálu od JKZ Bučovice, a.s., za pomoc při laboratorním měření ing. Žaludkovi a ing. Látalovi ze ZPS-Slévárna, a.s. a za pomoc všem lidem, kteří přispěli svou vstřícností a ochotou při psaní této práce.

OBSAH

ÚVOD.....	10	
I	TEORETICKÁ ČÁST	11
1	TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE FOREM	12
1.1	KONSTRUKCE FOREM.....	12
1.1.1	Konstrukce forem pomocí softwaru	12
1.1.2	Využití stavebnicového systému při konstrukci forem	12
1.1.3	Postup při konstrukci forem	13
1.1.4	Konstrukční uspořádání běžných forem.....	13
1.2	VÝROBNÍ TECHNOLOGIE FOREM	15
1.2.1	Strojní obrábění vstříkovacích forem.....	16
1.2.2	Výroba dutin forem a tvářecích vložek	18
2	MATERIÁLOVÉ ASPEKTY VE VÝROBĚ FOREM	19
2.1	VOLBA MATERIÁLU	19
2.2	POUŽÍVANÉ KONSTRUKČNÍ OCELI	21
2.3	POUŽÍVANÉ NÁSTROJOVÉ OCELI – OBECNÉ ČLENĚNÍ.....	21
2.3.1	Členění nástrojových ocelí dle způsobu výroby.....	21
2.3.2	Členění nástrojových ocelí dle způsobu využití.....	23
2.4	NÁSTROJOVÉ OCELI PRO VÝROBU PLASTIKÁŘSKÝCH FOREM.....	23
2.4.1	Předem zušlechtěné nástrojové oceli.....	23
2.4.2	Předem zušlechtěné nástrojové oceli v antikorozním provedení	24
2.4.3	Nástrojové oceli určené pro tepelné zpracování.....	25
2.5	KALENÍ, CHEMICKO-TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELÍ	27
2.6	POVLAKOVÁNÍ OCELÍ.....	28
2.7	MATERIÁLY TOOLOX 33 A TOOLOX 44.....	29
2.7.1	Materiál Toolox 33.....	29
2.7.2	Materiál Toolox 44.....	32
3	METODY MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ	34
3.1	NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ	34
3.1.1	Spektrální analýza chemického složení.....	34
3.1.2	Měření tvrdosti metodou Vickers.....	35
3.2	DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ	36
3.2.1	Zkouška tahem	36
3.2.2	Zkouška rázem (zkouška vrubové houževnatosti)	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
4	MĚŘENÍ VZORKŮ OCELÍ	39
4.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	39
4.1.1	Grafické vyjádření tahové zkoušky	40
4.1.2	Zhodnocení výsledků tahové zkoušky.....	45

4.2	MĚŘENÍ TVRDOSTI METODOU VICKERS	46
4.2.1	Výsledky měření tvrdosti	46
4.3	MĚŘENÍ HOUŽEVNATOSTI.....	47
4.3.1	Výsledky měření houževnatosti	47
4.4	SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA	47
4.4.1	Výsledky spektrální analýzy.....	48
5	PŘÍNOS INOVOVANÝCH OCELÍ TOOLOX Z HLEDISKA TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY FOREM.....	49
5.1	ZHODNOCENÍ OCELI TOOLOX 33 Z HLEDISKA TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY FOREM	49
5.2	ZHODNOCENÍ OCELI TOOLOX 44 Z HLEDISKA TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY FOREM	50
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK.....	56

ÚVOD

V současné době roste význam výroby produktů z plastů a tedy i výroba samotného nářadí, jakým jsou i vstřikovací formy. Rostoucí energetická náročnost při zpracování kovových dílů vkládá pro konstruktéry úkoly v podobě nahrazení těchto součástek součástkami vyrobenými z plastu. Takto vyrobené díly mají proti kovovému provedení sníženou hmotnost, nižší energetickou náročnost a v řadě případů i vyšší estetickou hodnotu. V případě optimální série se ekonomicky jeví využití plastů jako vhodnější řešení. Právě tyto nově vytyčené cíle dopadají na samotnou technologii konstrukce forem, která musí být sto tyto náročné úkoly vyřešit.

Vstřikovací forma je negativem výrobku a tedy poskytuje výsledný tvar vstřikovanému polymeru. Polymer, který vstřikujeme, přichází do přímého styku s materiálem formy, který je tímto významně abrazivně, chemicky a tepelně namáháný. Je úkolem technologa a konstruktéra formy správně navrhnout nářadí, aby odolalo těmto vlivům.

V zásadě můžeme konstrukci nástroje měnit jen omezeně s ohledem na zadaný design, proto bychom měli hledat vhodné řešení zejména v použitých konstrukčních materiálech a dobře zvolených výrobních postupech. Je třeba zvážit význam těchto materiálů nejen ve vztahu k výrobku, ale i k samotné výrobě formy a zamyslet se nad úsporami, které vyplývají ze změny původních technologií.

Tato práce si klade za cíl řešit obsáhnout základní technologické úkony při výrobě forem s cílem najít vhodnější řešení při využití nových nástrojových materiálů a zhodnotit důsledky této změny.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE FOREM

1.1 Konstrukce forem

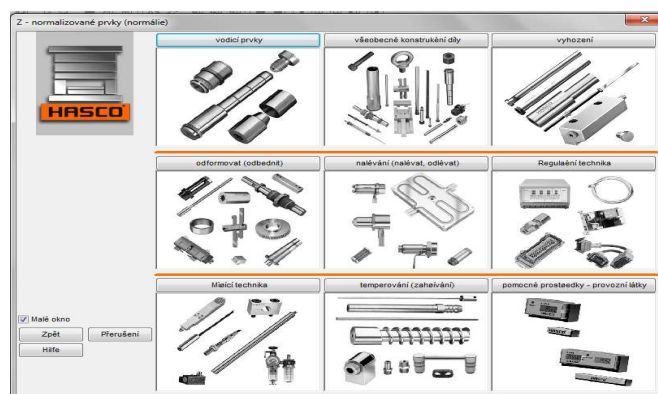
1.1.1 Konstrukce forem pomocí softwaru

Pochopitelně je v dnešní době už překonané kreslení tuží na pauzovací papír, které bylo časově neefektivní a tak jakmile výpočetní technika dospěla do výkonového stádia, které umožňovalo využití výpočetní kapacity pro vektorové kreslení, byla tato metoda úspěšně implementována do většiny nástrojů a konstrukčních kanceláří.

V dnešní době máme na výběr konstrukci pomocí 2D a 3D programů. Nicméně tvarová sofistikovanost dnešních plastových výrobků, kde se využívá složitých křivek a polynomů je pro 2D zobrazení nevhodná a tak se pro tento segment strojírenské výroby spíše uplatňuje 3D zobrazení. Máme na výběr celou řadu kreslicích programů jako je například SolidWorks, Catia, Autodesk Inventor, nebo Solid Edge. Tito výrobci poskytují nejen 3D CAD programy, ale i nástavby v podobě CAM programů, které umožňují vytvořit pro daný model konkrétní program pro obrábění.

1.1.2 Využití stavebnicového systému při konstrukci forem

Pro urychlení výroby forem často využíváme i stavebnicové prvky, které u nás prodává firma HASCO, Meusburger, DME, apod. Využití těchto normálií efektivně přispívá k redukci nákladů a časové náročnosti výroby. Nabízejí kompletní deskový systém forem, ale i vyhazovací systémy, temperační elementy, vtokové vložky, posuvné části forem (šíbry), odformovací systémy a manipulační prostředky.



Obr. 1 – nabídka produktů od firmy HASCO

1.1.3 Postup při konstrukci forem

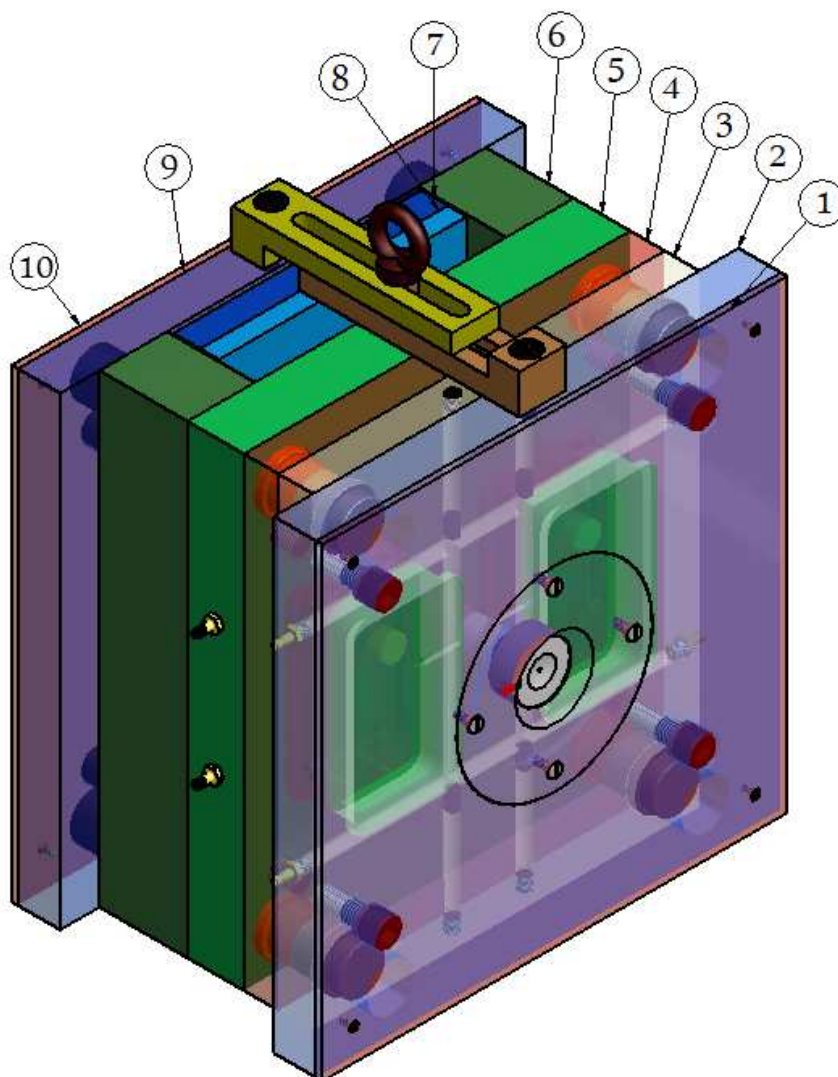
Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem. Vlastní koncepce pak má následující postup:

- Posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecí podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, jejich tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny a lunkry. Nezanedbat ani úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny.
- Určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému ústí vtoků a vyhazování z dutiny formy.
- Dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezu, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálku i ústí vtoku
- Stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvodu vzdušné dutiny formy.
- Navržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet i rozmístění dutiny, systém vyhazování i temperance formy.
- Vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroji s ohledem na využití dostupných prostředků. To všechno v rámci bezpečnosti práce.
- Zkontrolování funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj.[1]

1.1.4 Konstrukční uspořádání běžných forem

Běžná vstřikovací forma se skládá z pravé a levé strany, přičemž středem prochází hlavní dělicí rovina. Čelo formy je odizolované na obou stranách izolační deskou (pozice 1. a 10.), která brání přenosu tepla do vstřikovacího stroje. Na pravé straně je umístěna pravá kotevní (poz. 3) a upínací (poz. 2) deska. Levá strana taktéž zahrnuje levou kotevní (poz. 4), upínací (poz. 9) a navíc i opěrnou (poz.5) desku, rozpěrky (poz.6), vyhazovací opěrnou (poz.7) a vyhazovací kotevní (poz.8).

Desky jsou vystředěny pomocí středících pouzder a sloupků a spojeny pomocí konstrukčních šroubů. Polymer vstřikujeme do vtokové vložky. Následně je vstřikovaný materiál dopraven pomocí rozvodných kanálků až do tvarové části formy. Samotný tvar vstřikovaného výrobku je vyrobený přímo do kotevních desek – především u jednonásobných forem a v případech, kdy účelně zvyšujeme tuhost formy nebo do vložek, které jsou umístěny v kotevních deskách – vhodné při výrobě vícenásobných forem. Ihned po vstřiknutí polymeru do formy dochází k jeho postupnému chladnutí, které je usměrňované přes temperační systém formy a následně je výrobek odformovaný a vyhozený za pomoci vyhazovacího systému nástroje.



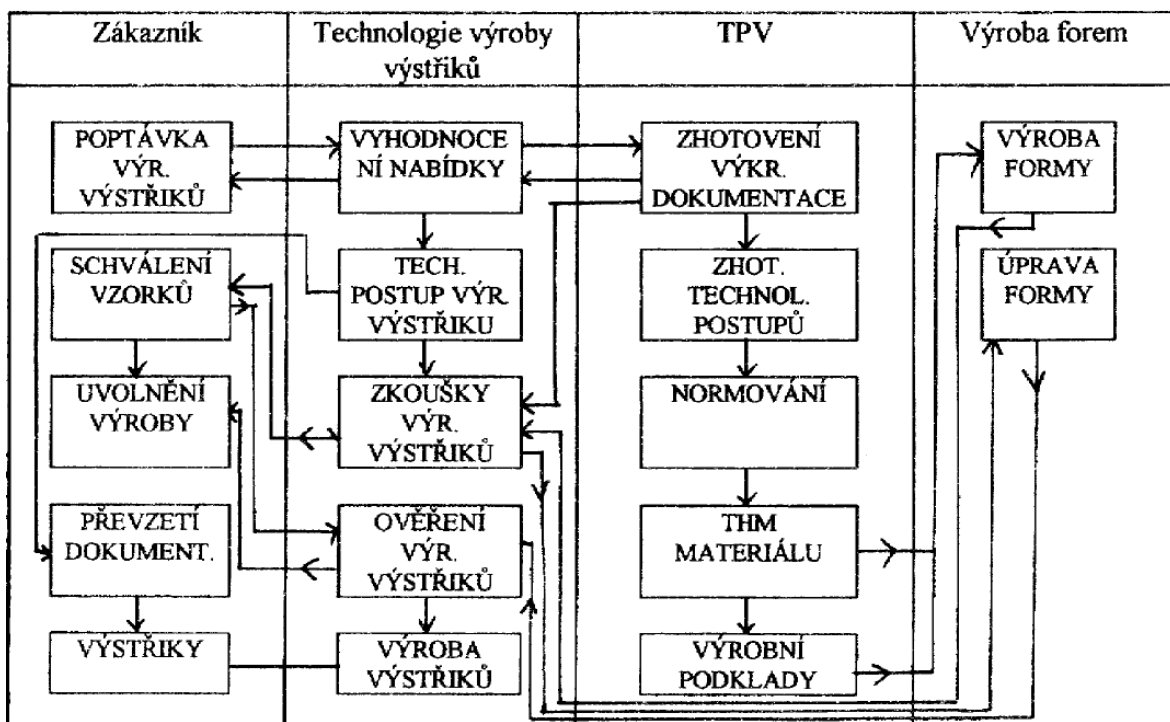
Obr. 2 – Model vstřikovací formy

1.2 Výrobní technologie forem

Forma jako nástroj je složena z rámu, tvarových dílů a dalšího příslušenství. Ustálený sled činností při realizaci jeho výroby vyjádřený časovou náročností jednotlivých etap představuje:

- obchodně technické jednání se zákazníkem a projekt 5 – 10%
- konstrukce formy 10 – 20%
- technická příprava výroby 5 – 15%
- výroba formy 40 – 70%
- zkoušení, úprava a předání formy 5 – 15%

Tyto etapy je možné urychlit využitím některých automatizačních systémů. Lze zkrátit i průběžnou dobu výroby důsledným uplatňováním technologičnosti konstrukce, využitím vyzkoušených typových postupů s použitím technologických novinek a typizovaných dílů. [2]



Obr. 3 – Organizace výroby forem [2]

1.2.1 Strojní obrábění vstřikovacích forem

Výroba forem jako jeden z výrobků lisovací techniky představuje pro běžnou výrobu následné časové rozdělení strojních technologických operací

- frézování	28%
- soustružení	11%
- broušení	18%
- elektroerozivní obrábění	15%
- ruční práce	20%
- ostatní	8%

Tomu má odpovídat kapacitní vybavení výroby obráběcími stroji a příslušným nářadím. [2]

Podle tohoto srovnání hrají dominantní roli především frézařské a soustružnické práce, tedy obrábění s definovanou geometrií břitu. Pro nástrojařskou výrobu se v současnosti užívá především CNC obráběcích center s 3. a 5. osou výrobou. Zejména nová, moderní obráběcí centra jsou schopna v některých případech nahradit i elektroerozivní hloubičku při práci do nekalených ocelí.

Broušení představuje dokončovací metodu obrábění a používá se tedy především u výrobků s vyššími požadavky na tvarovou a rozměrovou přesnost.

Elektroerozivní obrábění – uplatňuje se při výrobě tvářecí zápusťky, forem pro lití, střížných nástrojů, obrábění SK, nástrojů pro lisování plastů atd. Elektrojiskrové obrábění vnitřních tvarových ploch se provádí standardním postupem tak, že tvar nástrojové elektrody je negativem tvarem obráběné plochy. [3]. Výhoda této nekonvenční metody obrábění spočívá v tom, že nástroj se fyzicky nestýká s obráběnou plochou a tedy výrazně nezávisí jeho účinnost na tvrdosti obráběné plochy. Dále je využívána tato metoda u tvarově složitých dílců, které by klasickým frézováním nebyli možné obrobít (žebrování atp.)

Z hlediska technologických výstupů těchto obráběcích procesů jsou důležité zejména dosahované parametry přesnosti obroběných ploch. [3]

Tab. 1. Dosahované přesnosti obroběných ploch pro základní metody obrábění [3]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů		Drsnost plochy	
		IT		Ra [μm]	
		střední	rozsah	střední	Rozsah
<i>Vnější rotační plochy</i>	<i>Soustružení</i>				
	hrubování	13	11 až 14	25	12,5 až 50
	dokončování	10	9 až 11	3,2	1,6 až 12,5
	jemné slin.karbidem	8	7 až 9	0,8	0,4 až 1,6
	jemné diamantem	6	5 až 7	0,4	0,2 až 0,8
<i>Vnitřní rotační plochy</i>	<i>Soustružení</i>				
	hrubování	12	11 až 13	25	12,5 až 50
	dokončování	10	9 až 12	3,2	1,5 až 12,5
	<i>Vrtání šroubovým vrtákem</i>				
	bez vedení	13	12 až 14	6,3	6,3 až 25
	s vedením	12	10 až 13	3,2	3,2 až 25
	<i>Vyhrubování</i>	9	9 až 11	3,2	1,6 až 3,2
	<i>Vystružování</i>	8	7 až 9	0,8	0,8 až 3,2
	<i>Zahlubování</i>				
	hrubování	12	11 až 14	3,2	1,6 až 12,5
	dokončování	9	7 až 10	1,6	1,6 až 6,3
	<i>Vyvrtávání</i>				
	hrubování	12	11 až 14	25	12,5 až 50
dokončování	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3	
jemné slin.karbidem	6	5 až 8	0,8	0,4 až 1,6	
jemné diamantem	5	4 až 7	0,4	0,2 až 0,8	
<i>Protahování</i>					
hrubování	8	7 až 8	1,6	0,8 až 3,2	
dokončování	7	5 až 7	0,4	0,1 až 0,8	
<i>Rovinné plochy</i>	<i>Frézování</i>				
	hrubování válč.frézou	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	dokonč.válč.frézou	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	hrub.nožovou hlavou	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	dokonč.nož.hlavou	9	8 až 9	3,2	0,8 až 6,3
	jemné slinutým karb.	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	<i>Hoblování</i>				
	hrubování	12	12 až 13	50	25 až 100
dokončování	10	9 až 11	6,3	3,2 až 12,5	
	jemné	9	7 až 10	1,6	0,8 až 1,6

Tab. 2. Technologické parametry vybraných nekonvenčních metod obrábění [3]

Metoda	Drsnost Ra [μm]	Stupeň přesnosti IT	Hloubka ovlivněné vrstvy [μm]	Úběr [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	Měrná spotřeba energie [$\text{kWh} \cdot \text{cm}^{-3}$]
Elektrojiskrové obrábění	50 až 0,2	6 až 12	10 až 300	10^{-4} až 0,6	0,1 až 1
Obrábění paprskem laseru	50 až 6,3		100	10^{-4}	8 až 13
Obrábění paprskem elektronů	50 až 6,3		beze změn	10^{-2} až 0,4	
Obrábění paprskem plazmy			500 až 800	100	
Elektrochemické obrábění	2,5 až 1,6	9 až 12	beze změn	0,05 až 0,5	0,1 až 0,3
Elektrochemické broušení	0,8 až 0,2	6 až 9	beze změn	10^{-2}	0,04 až 0,08
Ultrazvukové obrábění	6,3 až 0,4	7 až 9	beze změn	10^{-2} až 10	0,07 až 0,8

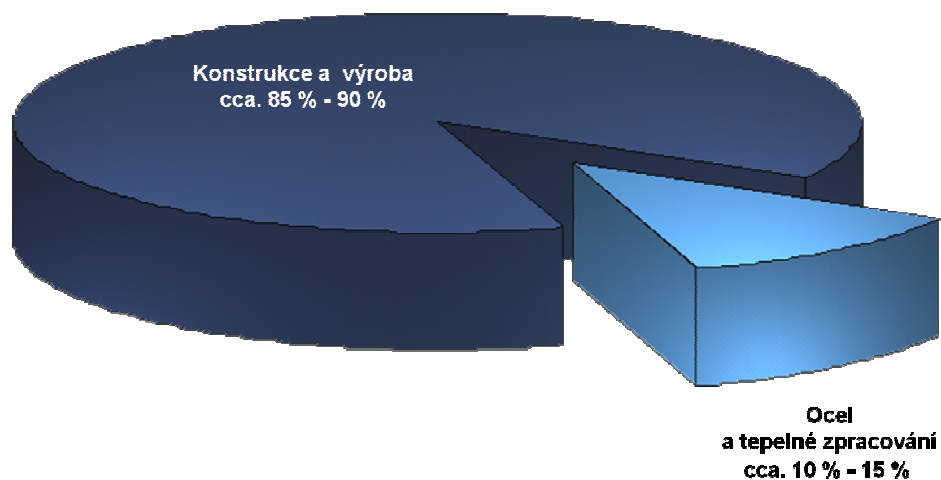
1.2.2 Výroba dutin forem a tvářecích vložek

Tvářecí dutina, jako inverzní tvar výstřiku, je vypracována ve vložkách nebo přímo v rámu formy spolu s vtokovými kanálky. Tvar, rozměry i povrch dutiny musí odpovídat požadavkům na výstřik a přitom zplňovat následující požadavky:

- Stěny dutiny musí mít technologické úkosy. Pro vnější tvary, které při ochlazení uvolňují výstřik, se úkos nepožaduje, ale doporučuje (cca 30°).
- Všechna jádra v tvářecí dutině vyžadují úkosy. Mají být konstruována tak, aby při výstřiku taveniny nedocházelo k jejich deformacím, nebo destrukci.
- V případě nedělené tvářecí dutiny zabezpečit od vzdušnění v nejbližším místě od vtokového ústí.
- U výstřiků, kde záleží na vzhledové kvalitě povrchu, se nedoporučuje ve formě vložkování (i za cenu obtížnější výroby) kromě nezbytně nutných částí.
- Tvářecí dutinu je třeba řešit tak, aby možnost zástřiku během provozu byla minimální.
- Pokud má dutina natolik otevřené tvary (velké úkosy), že by výstřik nemusel bezpečně zůstat ve vyhazovací části formy, provést na krátké ploše povrchu záporný úkos (3 – 7°) nebo mělký zápich, který by výstřik bezpečně přidržel.
- Ostré rohy a hrany, které vyjíždí během pracovního cyklu do dutiny a utěsňují je, musí mít úkos cca 1 – 2° (podle prostorových možností) nebo sražené, případně zaoblené hrany.

2 MATERIÁLOVÉ ASPEKTY VE VÝROBĚ FOREM

Tak jak už bylo předesláno v předchozím textu, hrají zvolené materiály významnou roli pro dodržení požadovaných vlastností výrobku a jeho ceny. I v této oblasti zaznamenal obor významný rozvoj, který obohatil technologii výroby o důležité aspekty. Vhodná volba jakosti má v konečném důsledku rozhodující význam v konkurenčním boji a je jí tak věnovaná podstatná část této práce. Cena materiálu se na konečných nákladech pro výrobu formy podílí zhruba 10 – 15% ceny celé formy a je tak minoritní ve srovnání s náklady na obrábění a další operace.



Obr. 4 – Podíl nákladů na výrobu formy

2.1 Volba materiálu

Pro správnou volbu materiálu je vhodné si stanovit parametry, které by měl vstříkovaný výrobek dosáhnout a zároveň určit možné příčiny poškození formy. Obecně využíváme materiály:

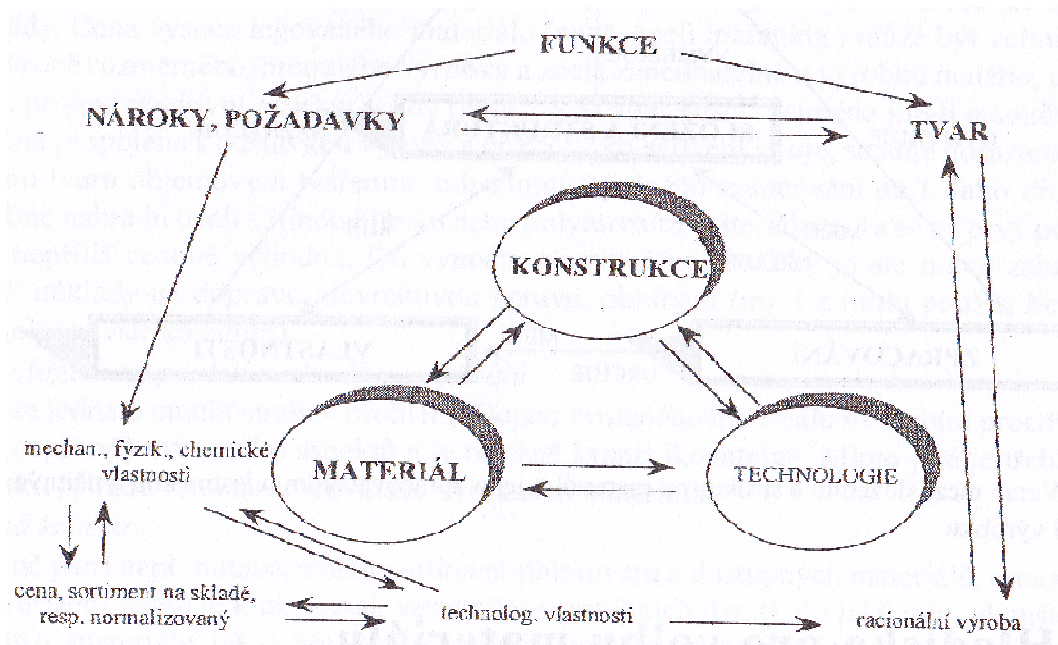
- Oceli (vhodného chemického složení)
- Neželezné kovy (slitiny hliníku, mědi)
- Ostatní (izolační materiál, tepelně vodivé materiály)

Zdaleka největší význam pro konstrukci tohoto typu nářadí hrají oceli – konstrukční i nástrojové.

Volba materiálu pro daný výrobek nemůže probíhat nezávisle na technologii, kterou je nutné (resp. vhodné) použít k vytvoření daného výrobku (jeho tvaru, povrchu atd.). Funkce výrobku (součásti), jeho konstrukce (tvar), materiál a technologie vzájemně interagují. [4]



Obr. 5 – Požadavky na nástrojovou ocel



Obr. 6 – Vzájemné vztahy při volbě oceli [4]

2.2 Používané konstrukční oceli

Používají se především na výrobu upínacích desek a rozpěrek, kde oceníme především dobrou obrobiteľnosť a nevyžadujeme žádné zušlechťení. Oceli třídy 11 zůstávají především v normalizačně žíhaném stavu, nebo v případě předchozího pálení kyslíkem ve stavu žíhaném na měkko. Na výrobu desek s vyšší pevností využíváme konstrukční ušlechtilé uhlíkové oceli 12050 a 12060 (dle ČSN), které můžeme zušlechťit až na 850MPa.

Tab. 3. Přehled využívaných konstrukčních materiálů [2]

Užití	ČSN	Zpracování	Poznámka
Rozpěrky	11 373	dobrá obrobiteľnosť	pevnost 370 - 450 MPa
	11 375		pevnost 370 - 450 MPa
	11 500		pevnost 500 - 620 MPa
	11 600		pevnost 600 - 720 MPa
Dorazy	11 600	dobrá obrobiteľnosť	pevnost 600 - 720 MPa
	11 700		pevnost 600 - 720 MPa
Desky	11 373	dobrá obrobiteľnosť	málo namáhané
	11 375		málo namáhané
	11 500		středně namáhané
	11 600		značně namáhané
Šrouby	11 109	výborná obrobiteľnosť	málo namáhané
Šroubení	11 600	dobrá obrobiteľnosť	značně namáhané

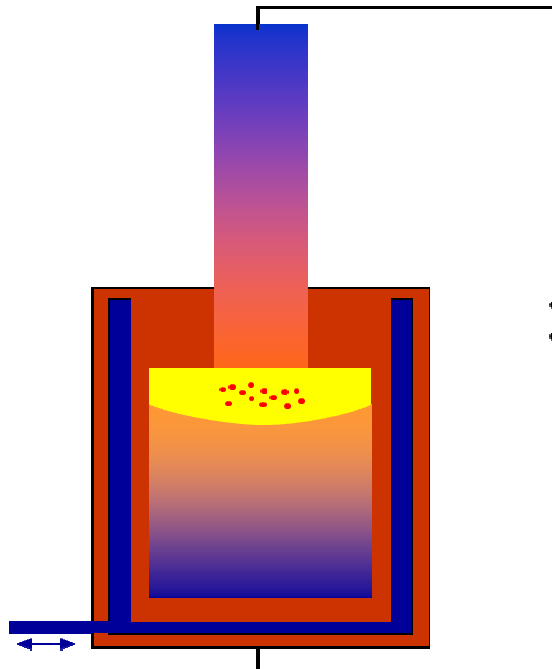
2.3 Používané nástrojové oceli – obecné členění

2.3.1 Členění nástrojových ocelí dle způsobu výroby

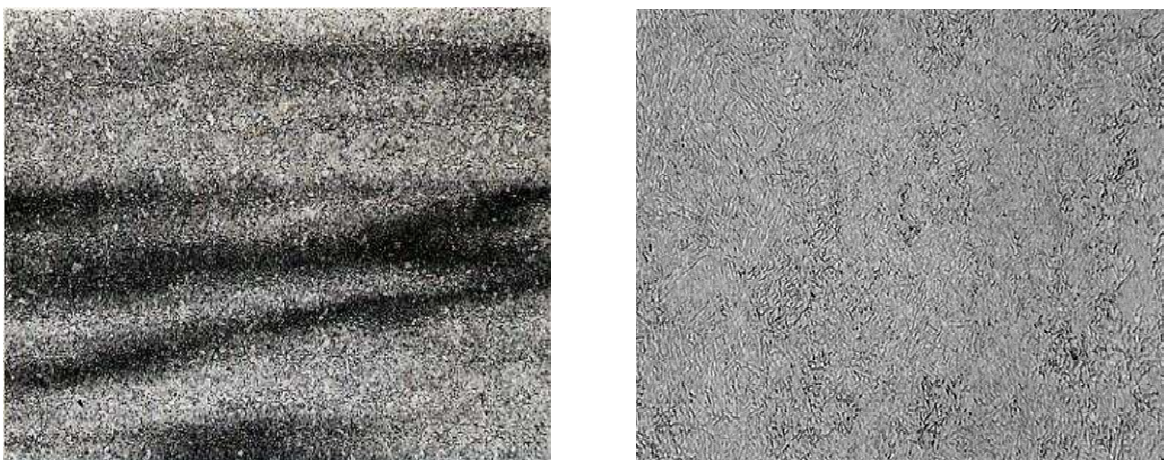
Stupeň jakosti materiálu formy je velmi důležitý. Některé nástrojové oceli používané pro výrobu forem na plastické hmoty mají obdobné chemické složení jako odpovídající konstrukční oceli. Nástrojové oceli se však vyrábějí převážně v elektrických pecích v poměrně malých tavných a odlévají se do menších ingotů. Proto jsou čistší, tj. mají méně nekovových vměstků, které jsou menší a stejnoměrně rozloženy. Také pórovitost ve střední části ingotů je menší. [5]

Pro zlepšení vlastností nástrojových materiálů je vhodné v některých případech volit mimopecní zpracování. Pro tyto účely se používá přetavování ve vakuu, nebo elektrostruskové přetavování. Výsledkem je velmi čistá, hutná makrostruktura bez pórovitosti.

Elektrostruskové přetavování ESU je metalurgický rafinační pochod, při němž k rafinaci určená ocel ve tvaru elektrody se působením stejnosměrného nebo střídavého proudu postupně odtavuje; kapky kovu procházejí roztavenou vrstvou rafinační strusky vhodného složení. Stykem kovu se struskou se snižuje obsah škodlivých příměsí v oceli (fosforu, síry, vměstků, plynů). Roztavená ocel vysoké jakosti se hromadí na dně chlazené kokily, kde ztuhne. [6]



Obr. 7 – Princip metody ESU



Obr. 8 – Primárně vytavená ocel – vlevo, ESU zpracovaná ocel - vpravo

2.3.2 Členění nástrojových ocelí dle způsobu využití

Podle účelu členíme vhodnost využití nástrojových materiálů do následujících skupin:

- Oceli nelegované
- Oceli legované, vhodné pro práci za studena
- Oceli legované, vhodné pro práci za tepla
- Oceli rychlořezné

Oceli používané za studena jsou především ty, jejichž pracovní teplota se pohybuje kolem 20 °C. Pracovní teplota nad 200 °C je typická pro oceli při práci za tepla.

2.4 Nástrojové oceli pro výrobu plastikářských forem

2.4.1 Předem zušlechtěné nástrojové oceli

Tyto oceli jsou vhodné pro celou řadu běžných termoplastů. Tvrdost těchto materiálů je v rozmezí 300-340HB a většinou se dále tepelně nezpracovávají. Je potřeba brát v úvahu, že při této nízké tvrdosti může dojít k poškození nástroje při opravě, nebo seřízení.

W.Nr. 1.2311: Chrom-mangan-molybdenová ocel. Spolu s ocelí 1.2312 tvoří vhodné jakosti pro výrobu běžných rámců, nebo tvárníků pro méně abrazivní plasty jako je PP, nebo PE. Díky příznivému chemickému složení je materiál možné leštit.

W.Nr. 1.2312: Chrom-mangan-molybdenová ocel. Využitím téměř shodná s ocelí W.Nr. 1.2311. Na rozdíl od materiálu 1.2311 obsahuje množství síry, která zvyšuje obrobitelnost, ale současně i snižuje leštitelnost.

W.Nr. 1.2738, W.Nr. 1.2738TS: Chrom-mangan-nikl-molybdenová ocel. Vyrábí se ve dvou pevnostních variantách – s nižší a vyšší tvrdostí. Na rozdíl od předešlých materiálů je tato ocel dostatečně legovaná niklem, který zvyšuje prokalitelnost výrobku. Výchozí polotovary tedy může být rozměrnějšího provedení a nehrozí – oproti materiálu 1.2311 a 1.2312, že dojde k výraznému poklesu tvrdosti ve větších vzdálenostech od okraje bloku.

Tab. 4. Přehled zušlechtěných ocelí pro výrobu plastikářských forem

Norma			Složení (typická hodnota v %)							Tvrdost (HB)
ČSN	W.Nr.	EN	C	Si	Ni	Cr	Mo	V	Další	
19520	1.2311	40CrMnMo7	0,4	0,3	-	1,9	0,2	-	-	280-320
-	1.2312	40CrMnMoS86	0,4	0,35	-	1,9	0,2	-	S	280 - 320
-	1.2738	40CrMnNiMo864	0,4	0,3	0,95	1,9	0,2	-	-	280-320
-	1.2738TS	40CrMnNiMo864	0,4	0,3	0,95	1,9	0,2	-	-	320-360

2.4.2 Předem zušlechtěné nástrojové oceli v antikoročním provedení

Korozivzdorností a odolností proti chemickému působení plastů v oxidačním prostředí se vyznačují oceli s minimálním obsahem Cr nad 12 %. K dosažení nejlepší korozivzdornosti a chemické odolnosti je třeba, aby ocel měla nízký obsah C a chrom byl dokonale rozpuštěn ve struktuře materiálu. [2]

Tyto oceli se využívají především při vstřikování, protlačování, nebo vyfukování plastů, které mají agresivní povahu. Především se jedná o PVC a nebo plasty s některými typy retardérů. Z hlediska odolnosti a výkonnosti materiálů se doporučují zejména oceli s vysokým obsahem chromů a 1% zastoupením molybdenu ve struktuře.

W.Nr. 1.2083: Chromová, martenzitická ocel vhodná i pro další kalení až na 56HRC. Využívána především pro výrobu formovacích desek a vložek forem. Leštitelná v závislosti na tvrdosti. Náchylná ke vzniku trhlin při kalení větších rozměrů a také v případě vysokého rozdílu teplot.

W.Nr. 1.2085: Oproti materiálu 1.2083 vyniká tato ocel vyšším obsahem chromů a zastoupením síry ve struktuře. Díky přídatku síry je tento materiál lépe obrobitelný. Využívá se především na výrobu rámců, méně už pak na výrobu tvárníků, nebo tvárníc.

W.Nr. 1.2316: Chrom-molybdenová ocel s vynikající odolností vůči korozi i ve srovnání s materiálem W.Nr. 1.2085. Navíc v porovnání s touto ocelí vyniká výrazně lepší leštitelností. Díky svému složení je vhodná pro výrobu vyfukovacího a vytlačovacího nářadí, stejně tak i v případě vstřikovacích forem pro výrobu tvárníků a tvárníc.

Tab. 5. Přehled zušlechtěných, korozivzdorných ocelí pro výrobu plastikářských forem

Norma			Složení (typická hodnota v %)							Tvrdost (HB)
ČSN	W.Nr.	EN	C	Si	Ni	Cr	Mo	V	Další	
	1.2083	X42Cr13	0,42	0,4	-	13	-	-	-	280-320
	1.2316	X36CrMo17	0,4	0,35	0,4	16	1	-	-	280-320
	1.2085	X33CrS16	0,32	0,35	0,4	16,4	-	-	S	280-320

2.4.3 Nástrojové oceli určené pro tepelné zpracování

V případě vstřikování abrazivních materiálů je vhodné využít některou z nabízených ocelí, které je možné kalit na vyšší tvrdosti, než oceli, které jsou již zušlechtěné. Stejně tak platí, že pokud máme zájem na vyleštěném povrchu, který má plnit účely jak estetické, tak i funkční, je vhodné volit tvrdost povrchu minimálně 54HRc.

W.Nr. 1.1730: Svým složením se velmi podobá materiálu 12050, nicméně je zde odlišný způsob výroby, který snižuje množství vměstků ve struktuře a je tedy vhodnější pro nástrojařské účely využít tuto jakost. Jedná se o materiál houževnatý, dobře obrobitelný ve vyžháném stavu a také o materiál, který velmi dobře odolává vzniku trhlin po kalení. Tento materiál se také vyznačuje malou prokalitelností. Používá se zejména na výrobu rámu forem.

W.Nr. 1.2842: Mangan-chrom-vanadová ocel, která má široké uplatnění zejména z důvodu velmi dobré rozměrové stálosti a také díky poměrně nízké prodejní ceně materiálu.

W.Nr. 1.2210: Chrom-vanadová ocel, která vyniká poměrně dobrou houževnatostí při vysoké tvrdosti. Navíc má velmi dobrou odolnost vůči opotřebení a je tedy vhodná pro celou řadu aplikací. Ve výrobě forem se uplatňuje zejména při výrobě vyhazovačů, nebo jader.

W.Nr. 1.2080: Vysoce legovaná chromová ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji a na vzduchu, zvláště vysoká odolnost proti opotřebení jak kovovými tak minerálními látkami, dobrá řezivost, velmi vysoká pevnost v tlaku, značně nízká houževnatost zejména v příčném směru, výrazná karbidická řádkovitost. Tato ocel vykazuje dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování, avšak změna rozměrů je větší než u oceli 1.2842. Ocel je citli-

vá na rychlý a nestejněměrný ohřev, vhodná ke kalení na sekundární tvrdost (možnost nitridování). Dále se ocel velmi obtížně brousí, obtížně tváří za tepla a má poněkud ztíženou obrobiteľnosť v žíhaném stavu. [7]. Díky vysokému obsahu chromu má tato ocel i vysokou otěruvzdornost a je tedy vhodná pro místa největšího opotřebení forem (např. tam kde se náhle mění směr toku plastické hmoty).

W.Nr. 1.2101: Chrom-křemíková ocel, velmi dobře obrobiteľná. Rozměrově stálý, houževnatý materiál, který je vhodný použít pro dynamicky namáhané součásti. Zejména se uvádějí vyhazovače.

W.Nr. 1.2343: Chrom-molybden-vanadová ocel s dobrou houževnatostí a teplenou odolností. Díky vysokému obsahu chromu je částečně odolná vůči korozi a má vysokou otěruvzdornost. Ve výrobě forem se používá na rozměrné tvárníky a tvárnice, kde je vyžadována houževnatost a odolnost vůči abrazivnímu působení plastů. Často je využívána v elektrostruskovém provedení na zrcadlově leštěné díly (výroba reflektorů, čoček atp.). Ve stavu žíhaném na měkko je dobře obrobiteľná.

W.Nr. 1.2344: Chrom - molybden – vanadová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu s velmi dobrou prokalitelností (ocel se prokaluje v celém průřezu asi do průměru 150 mm), vysokou pevností za tepla a odolností proti popuštění i otěru (větší než u oceli 1.2343), velmi dobrou houževnatostí a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách. Dále ocel vykazuje velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy (menší než u oceli 1.2343) a větší citlivost na prudké změny teplot než u oceli 1.2343. Ocel je vhodná pro tepelné zpracování i na pevnosti přes 1765 N/mm², a na nástroje chlazené vodou. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobiteľná ve stavu žíhaném na měkko. [7] Oproti materiálu 1.2343 nabízí nižší houževnatost

W.Nr. 1.2718: Chrom – niklová ocel, velmi houževnatá s vysokou pevností v tlaku. Využívá se zejména při výrobě namáhaných razidel pro výrobu mincí, součástí hodinek atp. Při výrobě forem ji uplatňujeme pro mechanicky velmi namáhané součásti.

W.Nr. 1.2767: Chrom – nikl – molybdenová nástrojová ocel o vysoké houževnatosti, tvrdosti a odolnosti v tlaku a ohybu. Dobře strojně obrobiteľná a vhodná pro leštění do zrcadlového lesku (stejná leštitelnost jako 1.2343ESU a k tomu vyšší houževnatost, naproti tomu se tento materiál nenitriduje). Není vhodná pro povlakování PVD, CVD. Vyznačuje se nižší odolností vůči korozi.

W.Nr. 1.2714: Nikl-chrom-molybden-vanadová ocel s dobrou prokalitelností v praxi využívána zejména pro výrobu kovacího nářadí díky odolnosti vůči prudkým změnám teplot a tepelné únavě. Pro výrobu vstřikovacích forem se tento materiál osvědčil jako vhodný u rozměrově větších tvárníků, které se kalí na vzduchu.

Tab. 6. Přehled nástrojových ocelí, které jsou určeny pro tepelné zpracování

Norma			Složení (typická hodnota v %)						
ČSN	W.Nr.	EN	C	Si	Ni	Cr	Mo	V	Mn
19 083	1.1730	C45W	0,4	0,25	-	-	-	-	0,7
19 313	1.2842	90MnCrV8	0,9	0,25	-	0,35	-	0,1	2
19 421	1.2210	115CrV3	1,18	0,22	-	0,65	-	0,1	0,3
19 436	1.2080	X210Cr12	2	0,3	-	12,25	-	-	1,4
19 452	1.2101	62SiMnCr4	0,6	1,5	-	1	-	-	1,1
19 552	1.2343	X38CrMoV51	0,39	1	-	5,15	1,25	0,35	-
19 554	1.2344	X40CrMoV51	0,4	1	-	5	1,3	1	-
19 614	1.2718	55NiCr10	0,55	-	2,5	0,8	-	0,1	-
19 655	1.2767	X45NiCrMo4	0,45	-	3,9	1,3	0,25	-	-
19 663	1.2714	56NiCrMoV7	0,55	-	1,7	1,1	0,5	0,1	-

2.5 Kalení, chemicko-tepelné zpracování ocelí

Pro získání odpovídajících mechanických vlastností, jako je především vysoká povrchová tvrdost oceli, je nutné materiál tepelně zpracovat. Ohřevem oceli na požadovanou teplotu a rychlým ochlazením, dosáhneme přeměny struktury materiálu na ocel s vysokým zastoupením martenzitu. Právě martenzitická struktura a stupeň přeměny na ni je důležitým aspektem výsledné tvrdosti. Ohřev a ochlazení materiálu se děje dle ARA, nebo IRA diagramu, který je dostupný pro každou nástrojovou a konstrukční ocel vhodnou pro kalení.

V případě kalení je třeba uvažovat, že v důsledku teplotní změny a zejména rozdílného objemu zbytkového austenitu a martenzitu ve struktuře dochází k rozměrovým změnám.

nám. Z tohoto důvodu, při výrobě tvárníků a tvárnic, se doporučuje materiál předhrubovat ve vyžíhaném stavu s přídavkem na dokončovací operace, které se provádějí až po kalení. Pokud se jedná o choulostivý díl a z technologického, resp. konstrukčního hlediska zde chceme minimalizovat deformace po kalení, přistoupíme k technologii kryogenního kalení, která odstraňuje, v důsledku velmi nízkých teplot, zbytkový austenit.

Chemicko-tepelným zpracováním rozumíme nasycování povrchu ocelí prvky, které zkvalitňují povrchové vlastnosti nezávisle na jádru. Nejčastěji se setkáváme s cílem zvýšit tvrdost, nebo otěruvzdornost při zachování houževnaté matrice. Podle použitého prvku rozeznáváme:

- Nitridování: nasycování povrchu dusíkem. V ocelní legovaných s přísadami Cr, Al a V vytváří dusík speciální nitridy, které jsou ve srovnání s nitridy železa stálejší a tvrdší. Vzhledem k nízké difúzní hloubce nitridované vrstvy se výrobky, po této chemicko-tepelné úpravě, pouze brousí.
- Cementování: nasycování povrchu uhlíkem do tvrdosti až 800HV. Výrobky je nutné následně kalit a nízkoteplotně popouštět. Cementování se provádí v prostředí sypkém, kapalném a plynném.
- Nitrocementování: nasycování povrchu dusíkem a uhlíkem v prostředí tvořeném směsí uhlovodíku a čpavku (při teplotě cca 820 - 840°C po dobu 1 – 2hodin). Po nitrocementování, které dosahuje hloubky 0,3 až 0,4mm, se oceli kalí a popouštějí. Tvrdost vrstvy je 700 až 800HV a je nižší jak po cementaci, která naopak trvá delší dobu.
- Karbonitridování: nasycování povrchu dusíkem a uhlíkem v prostředí tvořeném směsí uhlovodíku a čpavku (při teplotě 600 až 630°C po dobu 4hodin). Cílem je vytvořit souvislou vrstvu karbonitridů o tloušťce 0,05mm s tvrdostí až 1000HV. Na rozdíl od nitrocementování se výrobek dále nekalí a proto nedochází k následným deformacím.

2.6 Povlakování oceli

Povlakování představuje metodu převážně slabých vrstev materiálu na matici, která nemá požadovanou odolnost vůči otěru nebo agresivnímu chemickému prostředí. Právě podle účelu dělíme povlaky na:

- odolné vůči korozi
- odolné vůči abrazi
- jiné (povlaky od kterých je vyžadována například vysoká odrazivost, pohltivost, povlaky, které mají specifické elektrické nebo magnetické vlastnosti atd.)

Mezi rozšířené metody v nástrojařské výrobě patří procesy probíhající ve vakuu:

- metoda PVD – reaktivní iontové plátování a reaktivní naprašování
- metoda CVD – reaktivní iontové plátování a disociace

Proti chemicko-tepelnému zpracování nabízí tyto technologie dosažení vyšších tvrdosti v mikrovrstvě na povrchu.

Je třeba zdůraznit, že z hlediska přilnutí vrstvy povlaku je důležité použít materiál s jemnou strukturou.

Tab. 7. Přehled nanášených vrstev metodou PVD [8]

Vrstva	Struktura	Barva	Tloušťka (μm)	Mikrotvrdość (0,05 HV)/1	Koeficient tření proti oceli	Teplota při depozici	Max. teplota použití
TiN	monovrstva	zlatá	1-5 μm	2300	0,4	<500	600
TiN	monovrstva	zlatá	1-2 μm	2000	0,4	150/250	600
TiCN	gradientní	šedá	1-4 μm	3000	0,4	<500	400
TiAlN	multivrstva	fialová	1-4 μm	3000	0,4	<500	800
AlTiN	monovrstva	černá	1-4 μm	3300	0,4	<500	900
CrN	monovrstva	kovová	1-4 μm	1750	0,4	<500	700
CrC	monovrstva	kovově šedá	1-4 μm	2300	0,4	<500	600
PLC	gradientní	šedá	<1 μm	1200-2000	0,15-0,2	<500	300
AlCrN	monovrstva	šedočerná	<1-5 μm	3300	0,4	<500	1100

2.7 Materiály Toolox 33 a Toolox 44

2.7.1 Materiál Toolox 33

Jedná se o zušlechťenou ocel dodávanou výrobcem SSAB Oxelosund na český trh s cílem nahradit oceli určené k tepelnému zpracování zejména v oblasti vysoce namáha-

ných strojních součástí a konstrukce forem. Výrobce udává vysokou čistotu oceli, která výrazně zvyšuje vrubovou houževnatost a také zajišťuje spotřebiteli možnost leštění (dle NADCA 207-2003) a dezénování. Nízký obsah vměstků také přispívá k nižšímu opotřebení plátků při obrábění a tedy snižuje celkové náklady na výrobu součástí. Základní myšlenka však spočívá především v tom, že tento materiál šetří náklady na tepelné zpracování a současně vynecháním tohoto kroku výrazně zjednodušuje technologický cyklus. Při výrobě strojní součásti nebo komponenty nástroje se nemusí obrábět s přídavkem na tepelné zpracování – naopak je možné obrábět na čisto a tedy obrábět v mnoha případech jen na jedno upnutí výrobku.

Polotovary:

Toolox 33 se v současnosti vyskytuje pouze v plochem provedení v tabulích síly 5 až 130mm. Následně je možné polotovary řezat nebo pálit kyslíkovým plamenem.

Povrchové úpravy:

Odolnost svrchních vrstev materiálu vůči opotřebení otěrem je možné zvýšit nitrinovaním. Toolox umožňuje hlubokou difuzi dusíku do vrstev materiálu (obrázek č. 9). Díky jemnozrnné matici je také vhodné materiál povlakovat.

Svařování:

Klasické nástrojové materiály jsou díky vysokému obsahu uhlíku obtížně svařitelné. Toolox 33 má ve srovnání s ocelí 1.2312 nebo 1.2311 nižší zastoupení tohoto prvku a je tedy snáze svařitelnější než tyto oceli podobného charakteru. Toolox se před svařováním doporučuje předeřhřát na 170°C.

Obrobitelnost:

Toolox 33 je možné obrábět na konvenčních obráběcích strojích. Důležité je, aby se používali ostré nástroje s kladným řezným úhlem a aby se vyloučili vibrace. Doporučení týkající se obrobitelnosti:

Fréza s cementovanými karbidovými řeznými plochami ISO třída P20

$$V_c = 150 - 250 \text{ m/min}$$

$$f = 0,01 - 0,2 \text{ mm/zub}$$

Vrtání karbidovým vrtákem

$$V_c = 40 - 50 \text{ m/min}$$

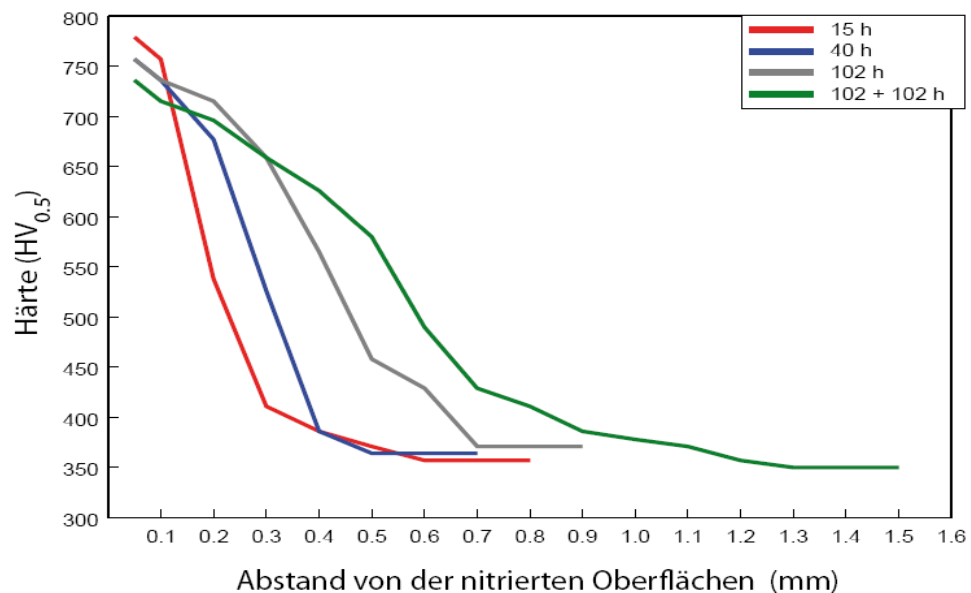
$f = 0,1 - 0,35 \text{ mm/otáčku}$, pro $D=5\text{mm}$ je posuv $0,1\text{mm/otáčku}$, pro $D=30\text{mm}$ je posuv $0,35\text{mm/otáčku}$.

Pro vrtání rychlořezným vrtákem HSS-Co je doporučená řezná rychlost $V_c = 13-15\text{m/min}$. Doporučuje se vždy použít chladicí kapalinu.

Řezání závitů – doporučená řezná rychlost $V_c = 30\text{m/min}$. [13]

Obr. 9 – Plynová nitridace Toolox 33

Gasnitrieren, 510 °C



Tab. 8. Chemické složení a mechanické vlastnosti udávané výrobcem Toolox 33 [13]

Chemické složení (typické hodnoty)		Mechanické vlastnosti (typické hodnoty)		
C	0,25%		+20°C	+200°C
Si	0,60%	Pevnost v tahu R_m [MPa]	1080	1010
Mn	0,90%	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	955	860
P, max	100 ppm	Průměrné prodloužení A_5 [%]	16	12
S, max	40 ppm	Rázová houževnatost [J]	60	
Cr	1,20%	Tvrdost [HBW]	310	
Ni	0,70%	Tvrdost [HRC]	29	
Mo	0,40%			
V	0,125%			
CEV (II W)	0,78			
CET	0,45			
Vměstky (typické hodnoty)		Pevnost v tlaku (typické hodnoty)		
Velikost vměstku (ekv. průměr)	6 μ m	Mez kluzu $R_{p0,2}$	[MPa]	
Plošný podíl	0,015%	při +20°C	880	
Poměr stran	1,2	při +200°C	750	
		Fyzikální vlastnosti (typické hodnoty)		
		Součinitel tepelné roztažnosti	[10 ⁻⁶ K ⁻¹]	
		při +20-200°C	13,1	
		Tepelná vodivost	W/(m • K)	
		při +27°C	37,1	
		+230°C	33,3	
		+392°C	32,55	

2.7.2 Materiál Toolox 44

Jedná se o nejtvrďší nástrojovou ocel dodávanou výrobcem v předzúšlechtěném stavu s vlastností elektrostruskově přetavované oceli. Díky vysoké tvrdosti a současně i houževnatosti nachází tento materiál využití ve výrobě tvářecích nástrojů na ocel, kovacích zápus-tek, prototypových forem na hliník a také vstřikovacích forem.

Polotovary:

Toolox 44 je dostupný v pleších síly až 130mm, blocích a kruhových tyčích od průměru 40mm. Je možné materiál řezat, stejně tak i pálit plamenem. Toolox 44 je uzpůsobený pálení kyslíkovým plamenem a vykazuje po tomto úkonu nižší tvrdost svrchní vrstvy, než je tvrdost v jádru (obrázek č. 10). Tento stav má pozitivní vliv na opotřebení obráběcího nástroje.

Svařování:

Materiál Toolox 44 je možné svařovat s předehřevem 225°C.

Povrchové úpravy

Materiál je možné nitridovat a povlakovat. Výsledná tvrdost po nitridování v závislosti na čase a dosažené hloubce je znázorněna na obrázku č. 9.

Obrábění:

Fréza s cementovanými karbidovými řeznými plochami ISO třída P20

$V_c = 100 - 150 \text{ m/min}$

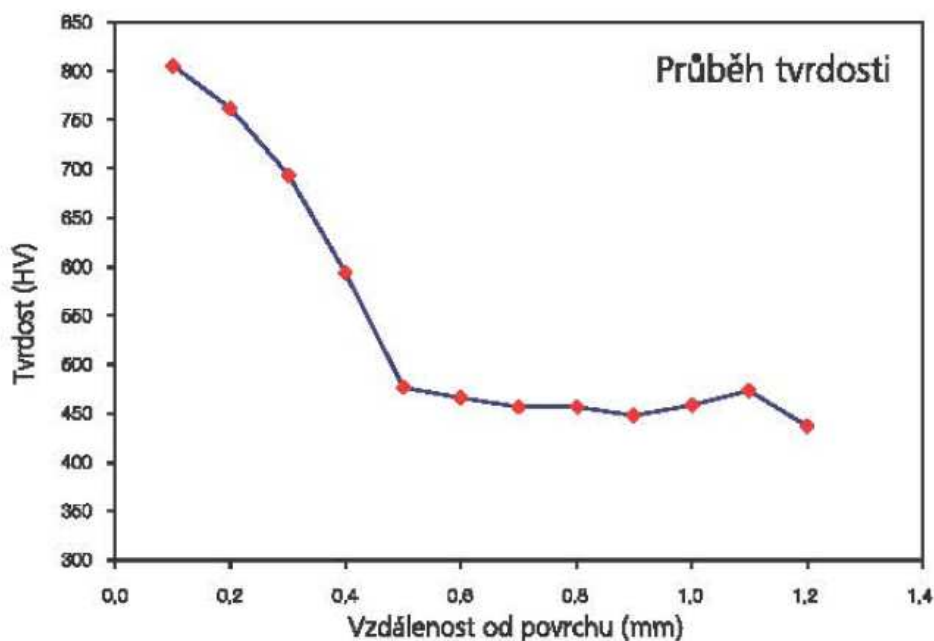
$f = 0,1 - 0,15 \text{ mm/zub}$

Vrtání karbidovým vrtákem

$V_c = 30 - 40 \text{ m/min}$

$f = 0,1 - 0,15 \text{ mm/otáčku}$. Pro vrtání rychlořezným vrtákem HSS-Co je doporučená řezná rychlost $V_c = 6-8 \text{ m/min}$. Doporučuje se vždy použít chladicí kapalinu.

Plynná nitridace - Toolox 44 (60 h, 510 °C)



Obr. 10 – Toolox 44. Průběh tvrdosti po nitridaci

Tab. 9. Chemické složení a mechanické vlastnosti udávané výrobcem Toolox 44 [13]

Chemické složení (typické hodnoty)		Mechanické vlastnosti (typické hodnoty)		
C	0,31%		+20°C	+200°C
Si	0,60%	Pevnost v tahu, R_m [MPa]	1450	1380
Mn	0,90%	Mez kluzu, $R_{0,2}$ [MPa]	1300	1200
P, max	100 ppm	Průměrné prodloužení, A_5 [%]	13	10
S, max	40 ppm	Rázová houževnatost, [J]	30	
Cr	1,35%	Tvrdość, [HBW]	450	
Ni	0,70%	Tvrdość, [HRC]	45	
Mo	0,80%			
V	0,145%			
CEV (IIW)	0,96			
CET	0,57			
Vměstky (typické hodnoty)		Fyzikální vlastnosti (typické hodnoty)		
Velikost vměstku (ekv. průměr) $6\mu\text{m}$		Součinitel tepelné roztažnosti	[$10^{-6}/\text{K}$]	
Plošný podíl	0,015%	při +20-400°C	13,5	
Poměr stran	1,2			
Pevnost v tlaku (typické hodnoty)				
		Mez kluzu $R_{c0,2}$	[MPa]	
		při +20°C	1250	
		při +200°C	1140	
		při +300°C	1120	
		při +400°C	1040	

3 METODY MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ

3.1 Nedestruktivní zkoušky materiálů

3.1.1 Spektrální analýza chemického složení

Není třeba uvádět, proč je důležité určit anebo potvrdit chemické složení materiálu. Jednou z metod, jak exaktně stanovit jakost, je spektrální analýza.

Analyzovaný materiál - vzorek je ojiskřován za pomoci odjiskřovací pistole. Po spuštění analýzy dojde mezi vzorkem a elektrodou umístěnou v odjiskřovací pistolí k elektrickému výboji. Tímto se vybudí jednotlivé atomy prvků obsažených ve vzorku. Tyto vybuzené atomy při návratu do rovnovážného stavu vyzařují světlo na charakteristických vlnových délkách příslušející analyzovaným prvkům.

Tato světelná energie se speciálním optovodičem přivádí na vstupní štěrbinu optického systému. Průchodem štěrbinou (šířka $20\mu\text{m}$) je světlo fokusováno na difrakční mřížku. Jedná se o konkávní mřížku s 3600 vrypy/mm o průměru 30 mm. Na této difrakční mřížce dochází k rozpadu světla na jednotlivé spektrální čáry s odpovídající vlnovou délkou. Takto se získá téměř lineární spektrum. [10].

Vzorek nesmí mít zakřivenou plochu v místě měření a musí být opracovaný (frézovaný, nebo broušený) aby nedocházelo k uvolňování vzduchu nebo vlhkosti.

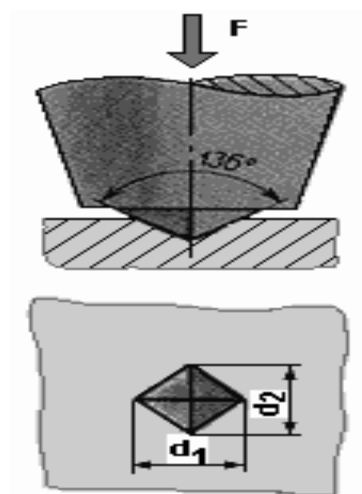
3.1.2 Měření tvrdosti metodou Vickers

Protože měření tvrdosti v zásadě neovlivňuje mechanické vlastnosti oceli a funkčnost dílce, řadíme měření tvrdosti do zkoušek nedestruktivních.

Tvrdot můžeme definovat jako schopnost odolávat vniknutí cizího tělesa. Rozeznáváme několik typů měření (mimo metody Vickers také využíváme metodu Brinell a Rockwell).

Metoda Vickers (normována dle ČSN EN ISO 6507-1, resp. ČSN EN ISO 6507-2) je velmi přesná metoda měření tvrdosti, jejímž principem je vlačování diamantového jehlanu do měřené vrstvy materiálu. Měřená vrstva musí být ošetřena od okují, mastnoty a tvořit rovný a hladký povrch aby bylo možné zřetelně odečíst čtvercovou základnu otisknutého jehlanu. Měření probíhá kolmo k měřené ploše a vnikající síla $F = 294,2\text{N}$. Tvrdot je následně vyjádřena jako poměr zkušebního zatížení k ploše povrchu vtisku.

$$HV = 0,189 \times (F/d^2), \text{ kde } F \text{ je zatěžující síla a } d \text{ úhlopříčka vtisku}$$



Obr. 12 – Měření HV [11]

3.2 Destruktivní zkoušky materiálů

3.2.1 Zkouška tahem

Je jedna z nejrozšířenějších zkoušek vlastností materiálu prováděna dle ČSN 420321 vhodná pro zjištění základních mechanických hodnot materiálů. Na zkušební tyči zjišťujeme touto zkouškou pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakci.

Zkušební tyč upneme do zkušebního stroje a pozorujeme závislost prodloužení ϵ na napětí R (nebo celkové prodloužení ΔL na síle F). Tato závislost je zakreslena na milimetrový papír a je označována jako diagram zkoušky tahem. Samotná zkouška probíhá při teplotě od 10°C do 35°C a rychlost zatěžování se pohybuje od 0,5mm/min do 2mm/min. Tvar zkušební tyče závisí zejména na tvaru kovových výrobků a bývá především obráběna. Průřez vzorku bývá kruhový, obdélníkový anebo prstencový. Zřídka se můžeme setkat i s jiným profilem průřezu.

Tab. 10. Používané vzorce pro výpočet jednotlivých hodnot

$R_m = \frac{F_M}{S_0}$	Výpočet pevnosti v tahu
$\Delta L = L_U - L_0$	Absolutní prodloužení
$A = \frac{L_U - L_0}{L_0} \cdot 100$	Tažnost (výsledek v %)
$Z = \frac{S_0 - S_U}{S_0} \cdot 100$	Kontrakce (výsledek v %)

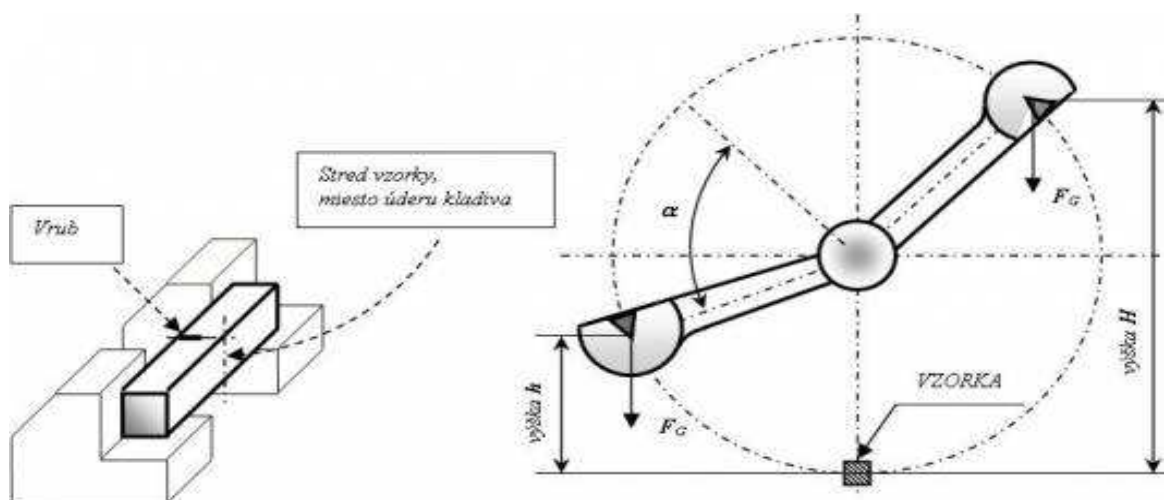
3.2.2 Zkouška rázem (zkouška vrubové houževnatosti)

Tato zkouška slouží k zjištění potřebného množství energie na přerušení zkušební tyče. Nejběžnější je zkouška Charpyho kyvadlovým kladivem, která probíhá podle normy ČSN EN 10045 – 1. Podle zvoleného tvaru vrubu rozeznáváme vrubovou houževnatost KCU, nebo KCV. V oblasti vrubu dochází ke koncentraci napětí, a tedy je zde předpoklad křehkého porušení.

POSTUP PŘI REALIZACI ZKOUŠKY:

1. Vzorek, který má ve středu vrub je symetricky umístěný mezi podpěry
2. Kladivo s gravitační silou F_g , vyzdvihnuté do výšky H má svoji polohovou potenciální energii: $W_{p1} = F_{gh}$
3. Po přeražení zkušební vzorku vystoupí do výšky h s potenciální energií $W_{p2} = F_{gh}$
4. Po odbrzdění kladiva, v dolní poloze, v místě střetu se vzorkem má pohybovou kinetickou energii $W_k = \frac{F_G \cdot v^2}{2g}$, kde v je rychlost pohybujícího se kladiva
5. Práce potřebná na destrukci zkušební tyče, nárazová práce KU , respektive KV podle tvaru vrubu na zkušební tyči, je určena rozdílem potenciálních energií: KU , $KV = W_{p1} - W_{p2}$

Této energii spotřebované na přeražení vzorku je přímo úměrný úhel α . Součástí Charpyho kyvadlového kladiva je mechanický úhломěr, který umožňuje po zlomení vzorku odečítat velikost nárazové práce v Joulech. [9]



Obr. 13 – Umístění vzorku mezi podporami a schéma kyvadlového kladiva [9]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

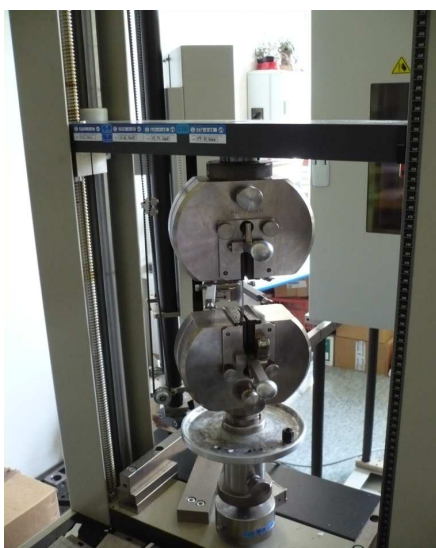
4 MĚŘENÍ VZORKŮ OCELÍ

Cílem porovnávání bylo 6 druhů zušlechťených ocelí, které byly za podmínek opakovatelnosti vystaveny měření.

4.1 Tahová zkouška

Zkouška probíhala na univerzálním zkušebním stroji Zwick 1456 s následujícími technickými parametry: Maximální posuv příčnicku 800mm, Snímač síly až 20kN.

Každá jakost byla zastoupena 5 vzorky, z jejichž měření vyplynuli hodnoty uvedené v tabulce.

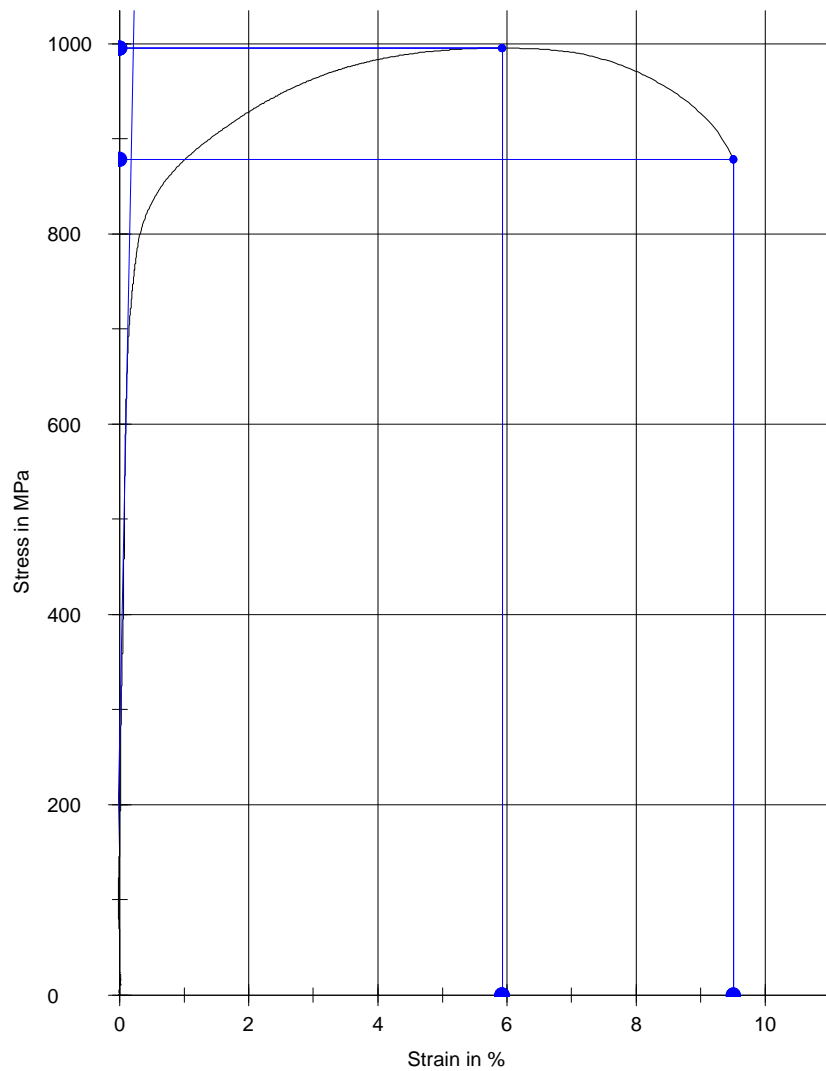


Obr. 14 – Tahová zkouška

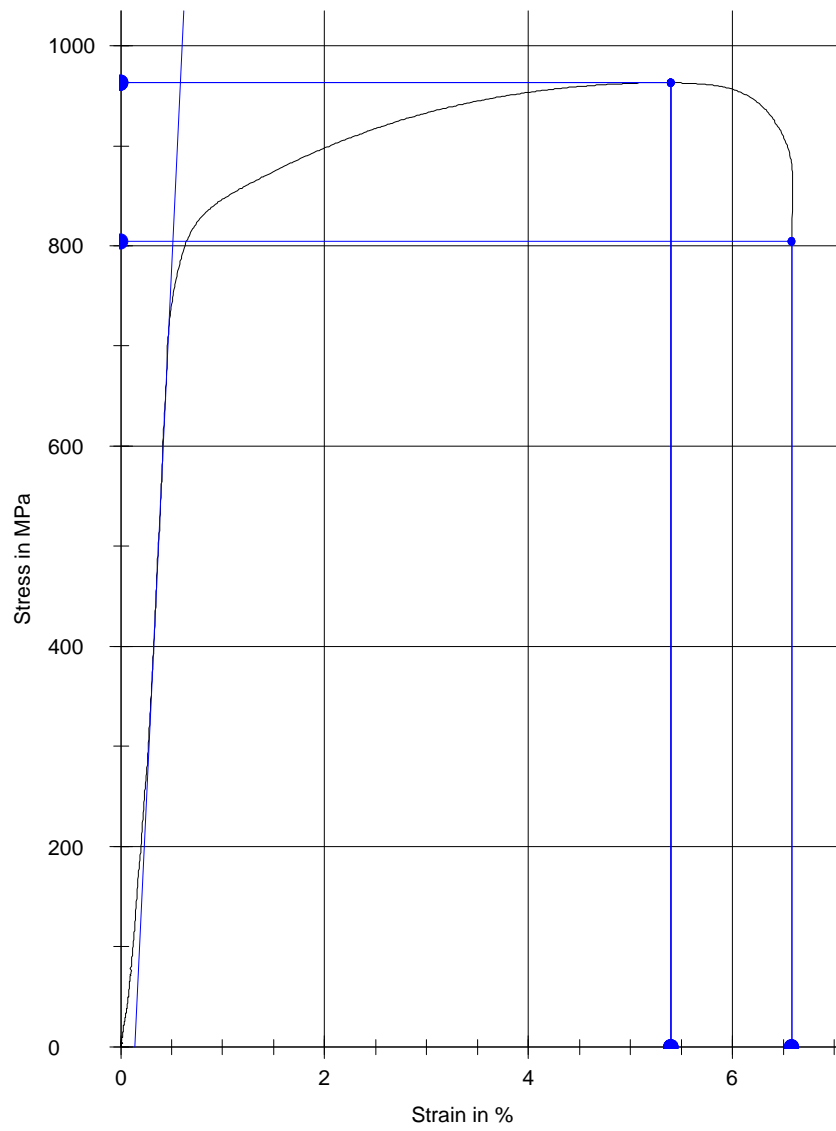
Označení	Rozměry vzorku a x b /mm/	Délka L_0	R_m [N/mm ²]	E [N/mm ²]	R_b [N/mm ²]	ϵR_m [%]
W.Nr. 1.2311	1,85x10,28	35	995	313098	895	5,75
W.Nr. 1.2312	1,9x10,15	35	978	218758	843	4,92
W.Nr. 1.2738	2,01x10,26	35	1025	147221	882	6,82
Toolox 33	1,9x10,28	35	945	207147	789	4,59
W.Nr. 1.2738TS	1,46x10,39	35	1189	298021	1035	6,85
Toolox 44	1,15x10,39	35	1405	245382	1229	3,95

Tab. 11. Typické hodnoty zkoušky tahem u měřených vzorků

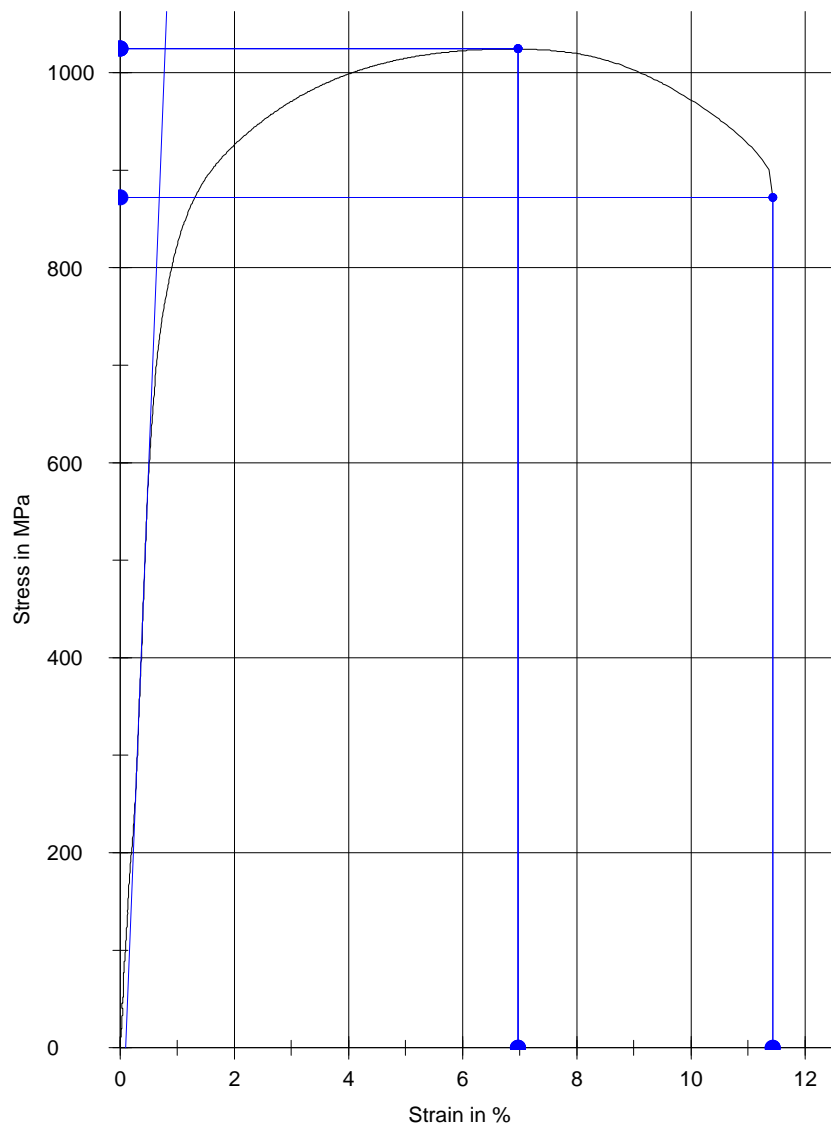
4.1.1 Grafické vyjádření tahové zkoušky



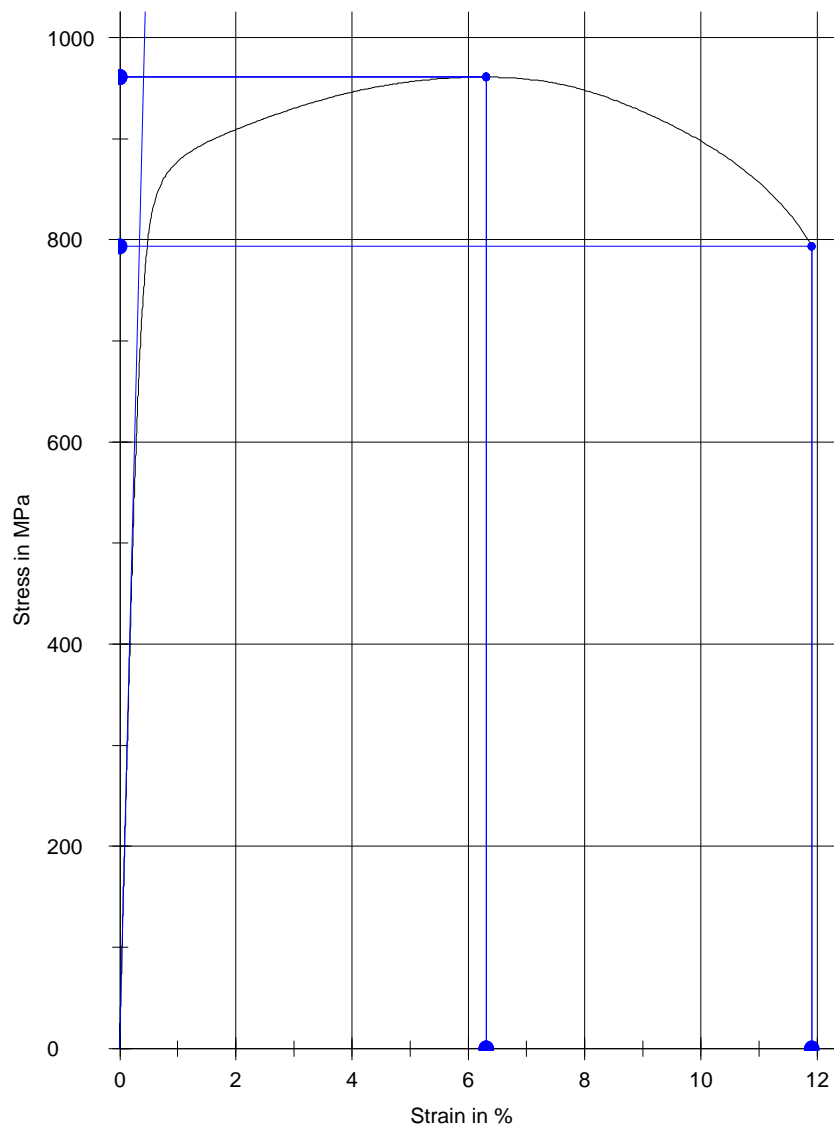
Obr. 15 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2311



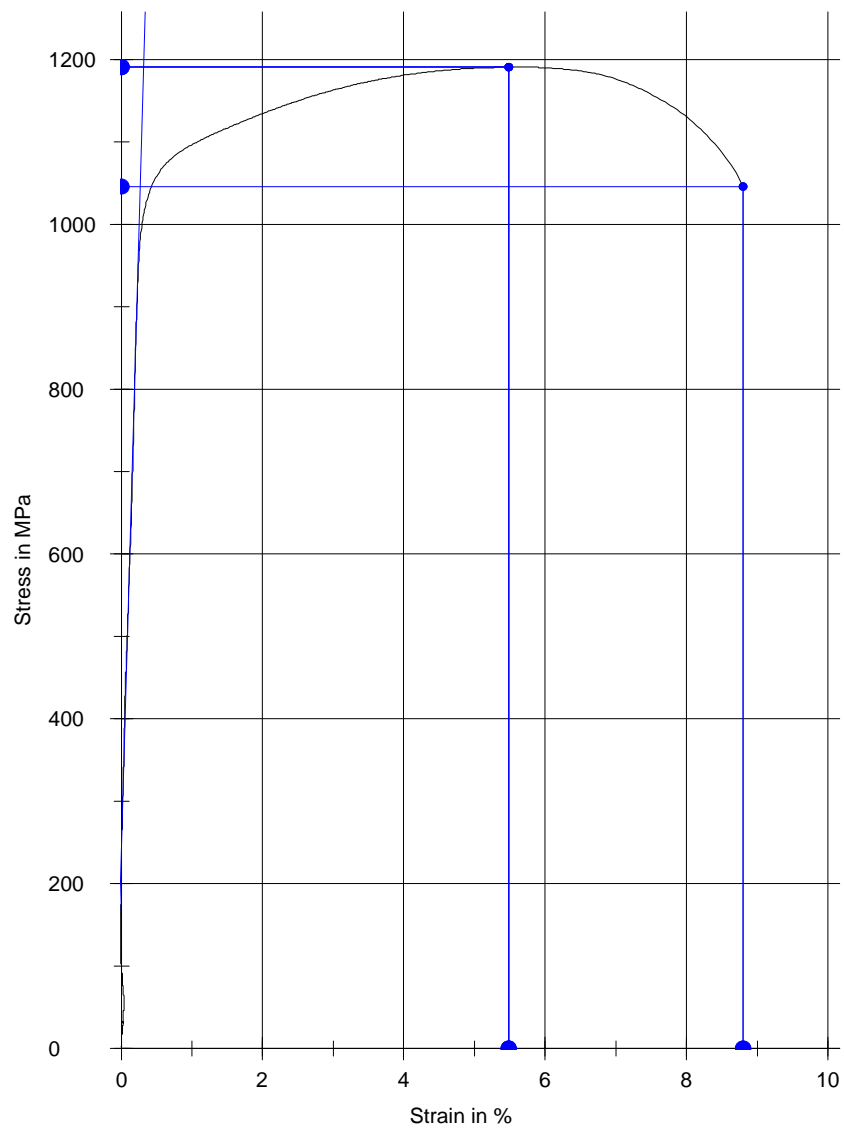
Obr. 16 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2312



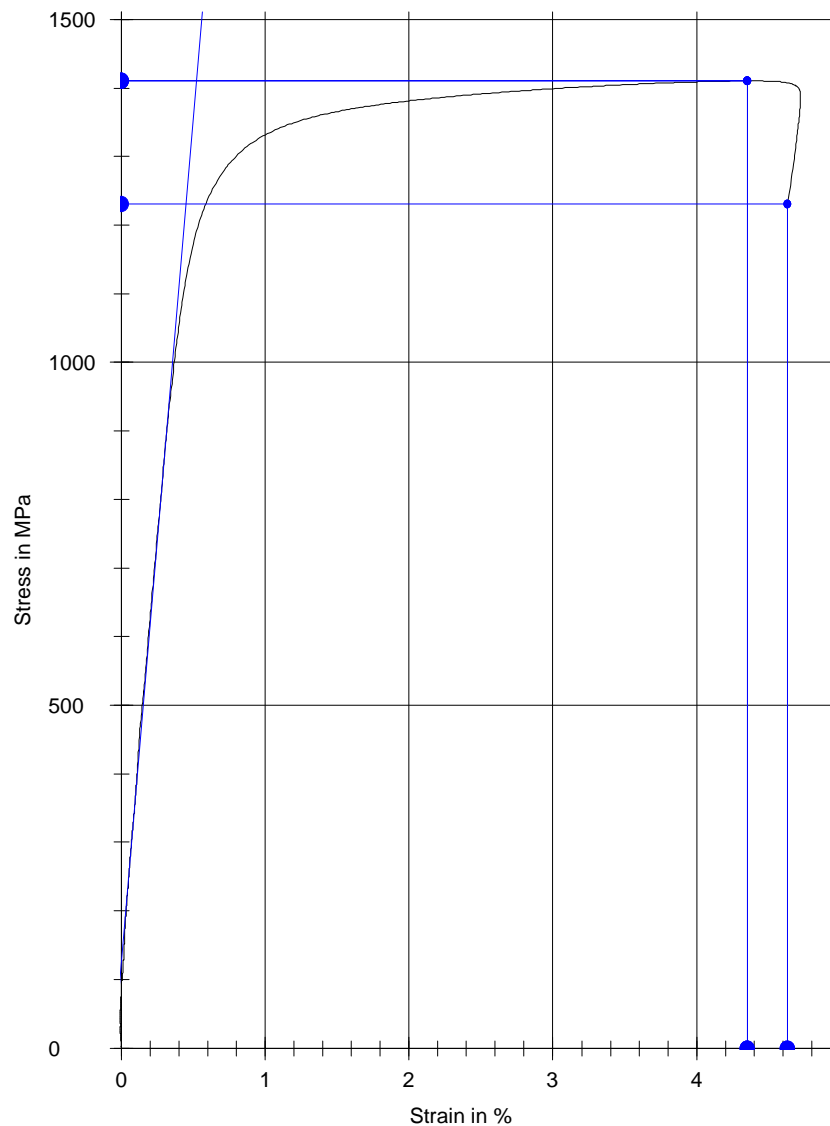
Obr. 17 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2738



Obr. 18 – Tahový diagram oceli Toolox 33



Obr. 19 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2738TS



Obr. 20 – Tahový diagram oceli Toolox 44

4.1.2 Zhodnocení výsledků tahové zkoušky

Počáteční úsudek o nižší elasticitě ocelí, které jsou dodávány již ve zušlechtěném stavu se zcela nepotvrdil. Nejlépe si v porovnání vedl materiál W.Nr. 1.2311, který svou hodnotou $3,13 \cdot 10^5$ MPa výrazně předčil ostatní jakosti.

Z hlediska pevnosti vykazují materiál W.Nr. 1.2311, 1.2312, 1.2738 a Toolox 33 reprezentativní hodnotu, která se shoduje s obecným tolerančním rozsahem udávaným výrobce, v rozsahu $950 - 1050 \text{ N/mm}^2$ a splňují tedy jedno z jakostních kritérií bez výjimky.

Jednoznačně nejpevnější ocelí je materiál Toolox 44 který dosahuje meze pevnosti v tahu R_m 1405Mpa.

4.2 Měření tvrdosti metodou Vickers

Každá ze šesti jakostí byla zastoupena vzorky na nichž bylo provedeno 5 měření dle ČSN EN ISO 6507-1. Měření bylo provedeno na přístroji Integral 2E s cílem ověřit tvrdost udávanou výrobcem.



Obr. 21 – Měřicí přístroj

4.2.1 Výsledky měření tvrdosti

Tab. 12. Vyhodnocení měření tvrdosti

	HV ₁	HV ₂	HV ₃	HV ₄	HV ₅	μHV
W.Nr. 1.2311	316	306	306	317	316	312
W.Nr. 1.2312	383	373	372	377	376	376
W.Nr. 1.2738	348	339	366	356	352	353
Toolox 33	350	336	340	347	338	343
W.Nr. 1.2738TS	394	380	374	383	378	382
Toolox 44	477	484	497	489	490	488

4.3 Měření houževnatosti

Měření bylo provedeno ve firmě ZPS-Slávárna za následujících podmínek:

Zkušební stroj: PS30, maximální energie 300J

Zkušební teplota: 22°C

Tvar a rozměr vzorku: 10x8x55mm, vrub V 2mm hloubka

4.3.1 Výsledky měření houževnatosti

Tab. 13. Vyhodnocení měření houževnatosti

vzorek	KV [J]	KCV [J/cm ²]
1.2311	8	10
1.2312	4	5
1.2738	11	14
1.2738TS	10	12
Toolox33	72	90
Toolox44	19	24

4.4 Spektrální analýza

Ověření totožnosti jednotlivých jakostí bylo provedeno na stroji značky BELEC a následně byly hodnoty chemického složení porovnány s atestem výrobce.



Obr. 22 – Spektrální analýza vzorků

4.4.1 Výsledky spektrální analýzy

Tab. 14. Vyhodnocení spektrální analýzy

	W.Nr. 1.2312	W.Nr. 1.2311	W.Nr. 1.2738	W.Nr. 1.2738TS	Toolox 33	Toolox 44
C	0,36	0,39	0,37	0,36	0,19	0,3
Si	0,36	0,31	0,31	0,29	0,66	0,62
Mn	1,7	1,8	1,6	1,57	0,75	0,72
Cr	1,9	2,09	1,98	1,92	1,06	1,3
Mo	0,24	0,2	0,19	0,19	0,38	0,7
Ni	0,2	0,19	1	0,96	0,61	0,68
V	0,03	0,02	0,01	0,02	0,09	0,12

5 PŘÍNOS INOVOVANÝCH OCELÍ TOOLOX Z HLEDISKA TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY FOREM

5.1 Zhodnocení oceli Toolox 33 z hlediska technologičnosti výroby forem

Materiál Toolox 33 se projevil jako ocel srovnatelné pevnosti s ocelí W.Nr. 1.2312 a W.Nr. 1.2311. Výhodou může být jeho znatelně jemnější struktura, která umožňuje vyšší stupeň leštitelnosti blíže specifikovaný v certifikátu NADCA 207-2003. Tak jak už bylo popsáno u specifikace materiálu W.Nr. 1.2312 je velkým problémem tuto ocel díky příměsi síry leštit a využíváme tak tento materiál zejména v situaci, kdy oceníme jeho lepší obrobiteľnost proti materiálu W.Nr. 1.2311. Technolog tak stojí před rozhodnutím volby mezi lépe leštitelnou ocelí W.Nr. 1.2311 a lépe obrobiteľnou ocelí W.Nr. 1.2312. Toolox 33 toto rozhodnutí technologovi ušetří tím, že splňuje nároky na leštitelnost a současně nabízí lepší obrobiteľnost než u oceli W.Nr. 1.2312 (obr. 23). Vysoce lesklé dílce tak lze vyrábět s nižšími náklady a za kratší dobu.

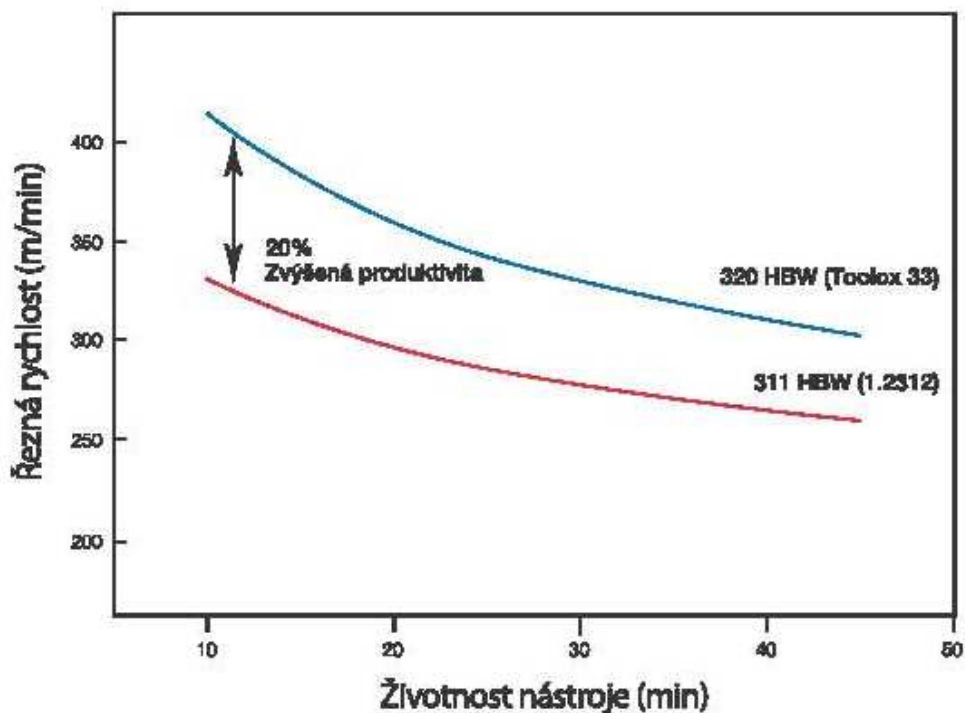
Při zkouškách se materiál Toolox 33 projevil jako vysoce houževnatý materiál, který několikanásobně převyšuje pevnostně srovnatelné oceli. S rozvojem používání vysoce pevných ocelí se ukázalo, že únosnost strojních součástí a konstrukcí neurčuje mez kluzu, ale odolnost proti iniciaci lomu z defektu [12] a právě odolnost vůči vzniku lomu přímo ovlivňuje houževnatost materiálu a z hlediska našeho pozorování tak materiál Toolox 33 nabízí nejvhodnější řešení pro omezení tohoto typu defektu. Vysoce houževnatá matrice Tooloxu pak dále nabízí mimořádně široké pole využití při kombinaci s chemicko-tepelnou úpravou resp. povlakováním. V případě použití vhodného typu povrchové úpravy, která bude odolávat abrazi, pak nabízí tento materiál vhodné uplatnění při výrobě tvárníků a tvárnic vstříkovacích forem pro sklem plněné plasty a současně netrpí vysokou křehkostí kalených ocelí. Lze také předpokládat, že vysoce čistá struktura materiálu zajistí snadnější přilnutí povlaku bez brzkého odlupování. Možnost povlakování je taktéž podpořena faktem, že teplota popouštění u materiálu Toolox 33 je 650°C a je tedy dostatečně vysoká pro většinu nanášených povlaků.

Zkrácení výrobního cyklu spatřujeme také v možnosti využití kyslíkem pálených polotovarů. Tato technologie aplikovaná na plechy z oceli Toolox umožňuje vypálení kontury

rozměrnějších desek včetně otvorů pro vodící sloupky, případně i různá vnější zešíkmení a snižuje objem cenově a časově náročnější operace třískového obrábění.

Rozměrová paleta tohoto typu materiálu je limitována silou plechů 130mm a je tedy značně omezené maximální velikost tvárníku resp. tvárnice formy právě tímto rozměrem. Toolox 33 není vyráběn v kruhovém provedení, nicméně je částečně možné řešit potřebu rozměrnějších kruhových desek právě technologií pálení do tabule.

Důležitým hlediskem při posuzování vlastností materiálu je i fakt, že se jedná o ocel s nízkým obsahem uhlíku a je tedy dobře svařitelná. Jsou tedy možné změny designu formy, popřípadě opravy.



Obr. 23 – Srovnání životnosti nástroje [13]

5.2 Zhodnocení oceli Toolox 44 z hlediska technologičnosti výroby form

Materiál Toolox 44 se projevil v testech jako nejpevnější materiál v nabídce zušlechtěných nástrojových ocelí, který si zachovává poměrně vysokou houževnatost i v porovnání s ocelí zušlechtěnou na menší tvrdost jako je například materiál W.Nr. 1.2738TS. Vzhledem k podobné technologii výroby nicméně zůstává zachována vysoká lešitelnost a vnitřní

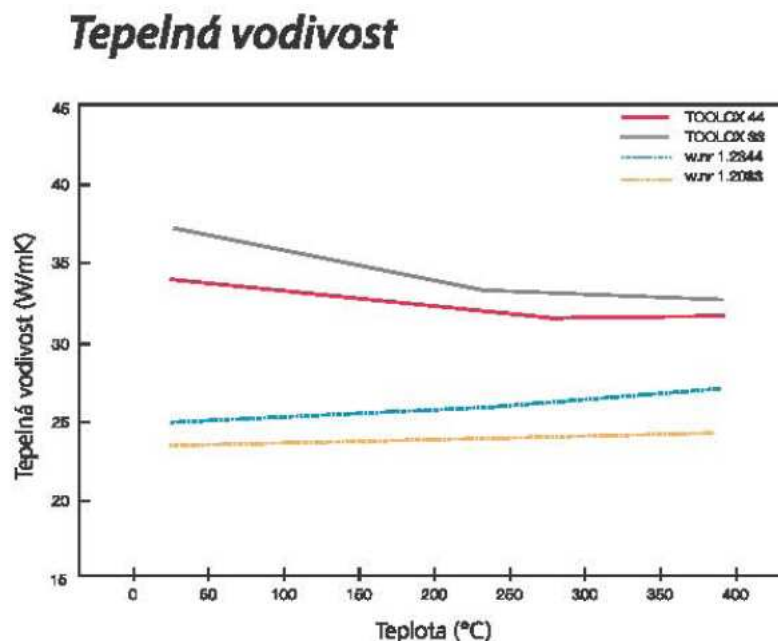
čistota materiálu, která taktéž umožňuje dobrou přilnavost povlaků a případné i difuzi dusíku do vrstev materiálu.

Zkušenosti nástrojářen potvrzují, že Toolox 44 byl schopen v některých případech nahradit kalené materiály (zejména při vstřikování polykarbonátu) W.Nr. 1.2343 a W.Nr. 1.2344 a to bez další chemicko-tepelné úpravy. Tímto krokem dochází k významnému zkrácení výrobního cyklu. Nejen že se spoří čas na samotném kalení, ale je možné i výrazně uspořit náklady na obrábění, protože se obrobek vyrábí bez nutnosti ponechat přídavek na kalení a tedy konečná výroba znamená vždy úsporu minimálně jednoho upnutí. Tím že nedochází k tepelnému namáhání při kalení, nedochází k dodatečným deformacím a snižuje se tak riziko případných neshod.

Obrázek 24 porovnává tepelnou vodivost Toolox 33, Tooloxu 44, materiálu W.Nr 1.2344 a W.Nr. 1.2083. Toolox 44 v tomto případě nabízí lepší tepelnou vodivost a umožňuje tak zjednodušení chladicí soustavy formy, respektive zkrácení cyklu vstřikování v důsledku optimálnějšího chlazení.

Obsah uhlíku 0,3% umožňuje zachování svařitelnosti a tím i případné jednoduché opravitelnosti formy.

Díky dostupnosti materiálu v pleších, kovaných blocích a kruhových tyčích od průměru 40mm nabízí materiál široké možnosti využití v celé nástrojářské výrobě.



Obr. 24 – Tepelná vodivost srovnávaných materiálů [13]

ZÁVĚR

Práce si kladla za cíl obsáhnout používané technologie a materiály při výrobě forem a zhodnotit jejich význam v nástrojařské výrobě.

Podařilo se částečně kvantifikovat vlastnosti zušlechtěných ocelí a získané hodnoty porovnat s udávanými. Výsledkem tohoto srovnání je závěrečné zhodnocení, které vyjádřilo kladný přínos materiálu Toolox v provedení 33 a 44 ve výrobě forem. Přestože bylo přáním autora zhodnotit materiály i po ekonomické stránce, současná rozkolísaná cenová úroveň materiálu nedovoluje přesně stanovit jejich význam v této disciplíně a už vůbec ne v dlouhodobém výhledu. Lze jen konstatovat, že se cenově oceli Toolox blíží běžně používaným konvenčním jakostem i přes zjevný technologický náskok, který v konečném důsledku výrazně zlevní cenu konečného nástroje a potažmo i výrobku.

Na závěr si jen dovoluji vyjádřit myšlenku, že tato problematika si zaslouží do budoucna širší pozornost, která by se měla soustředit zejména na komplexnější srovnání širšího spektra materiálů a to i v souvislosti s chováním vůči polymeru. Takto provedené testy by pravděpodobně znamenali potvrzení nebo vyvracení trendu využití tohoto typu nástrojového materiálu, byť představují cenově a časově velmi nákladné položky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK a kolektiv, *Formy pro zpracování plastů, I. Díl – Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, 2. opravené vydání, 1999. 134 s.
- [2] BOBČÍK a kolektiv, *Formy pro zpracování plastů II. Díl – Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, 1. vydání, 1999. 214 s.
- [3] KOCMAN, Karel, PROKOP Jaroslav, *Technologie obrábění*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, prosinec 2005. 270 s., ISBN 80-214-3068-0
- [4] PTÁČEK, Luděk a kolektiv, *Nauka o materiálu II*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2002. 392 s., ISBN 80-7204-248-3
- [5] MORÁVEK, Otakar, BABOROVSKÝ, Vladislav, *Nástrojové materiály a tepelné zpracování*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p. , Praha, 1972. 508 s.,
- [6] *CoJeCo: elektrostruskové přetavování* [online]. [cit. 2009-12-8]. Dostupný z [www: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=391439&title=elektrostruskov%E9%20p%F8etavov%E1n%ED&s_lang=2](http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=391439&title=elektrostruskov%E9%20p%F8etavov%E1n%ED&s_lang=2)
- [7] JKZ Bučovice, a.s.: *Nástrojová ocel W.Nr. 1.2080* [online]. [cit. 2009-12-15]. Dostupný z [www: http://www.jkz.cz/ocel.php?ocel=12080&lang=cz](http://www.jkz.cz/ocel.php?ocel=12080&lang=cz)
- [8] CzechCoating, s.r.o.: *Tabulka vlastností a doporučených použití povlaků* [online]. [cit. 2010-01-11]. Dostupný z [www: http://www.czechcoating.cz/index.php?p=vlastnosti_a_doporuceni](http://www.czechcoating.cz/index.php?p=vlastnosti_a_doporuceni)
- [9] MatNet Slovenska.: *Skúška rázom v ohybe (vrubovej húževnatosti)* [online]. [cit. 2010-02-18]. Dostupný z [www: http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=530](http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=530)
- [10] Belec compact port: *Návod k obsluze mobilního spektrometru*, Červen 2001
- [11] ConVerter: *Zkouška tvrdosti dle Vickerse* [online]. [cit. 2010-05-11]. Dostupný z <http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-vickers.htm>
- [12] ZČU v Plzni: *Zkoušky založené na principu šíření defektu*, 2009
- [13] JKZ Bučovice: *Materiálové listy oceli Toolox 33 a Toolox 44*. Duben 2009

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

E Modul pružnosti

V_c Řezná rychlost

R_m Pevnost v tahu

f Posuv

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – nabídka produktů od firmy HASCO	12
Obr. 2 – Model vstřikovací formy	14
Obr. 3 – Organizace výroby forem	15
Obr. 4 – Podíl nákladů na výrobu formy	19
Obr. 5 – Požadavky na nástrojovou ocel	20
Obr. 6 – Vzájemné vztahy při volbě oceli	20
Obr. 7 – Princip metody ESU	22
Obr. 8 – Primárně vytavená ocel – vlevo, ESU zpracovaná ocel - vpravo	22
Obr. 9 – Plynová nitridace Toolox 33	32
Obr. 10 – Toolox 44. Průběh tvrdosti po nitridaci	34
Obr. 11 – Průběh tvrdosti po pálení plamenem	34
Obr. 12 – Měření HV	36
Obr. 13 – Umístění vzorku mezi podporami a schéma kyvadlového kladiva	37
Obr. 14 – Tahová zkouška	40
Obr. 15 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2311	41
Obr. 16 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2312	42
Obr. 17 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2738	43
Obr. 18 – Tahový diagram oceli Toolox 33	44
Obr. 19 – Tahový diagram oceli W.Nr. 1.2738TS	45
Obr. 21 – Měřicí přístroj	47
Obr. 22 – Spektrální analýza vzorků	48
Obr. 23 – Srovnání životnosti nástroje	51
Obr. 24 – Tepelná vodivost srovnávaných materiálů	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Dosahované přesnosti obrobených ploch pro základní metody obrábění	17
Tab. 2. Technologické parametry vybraných nekonvenčních metod obrábění	17
Tab. 3. Přehled využívaných konstrukčních materiál	21
Tab. 4. Přehled zušlechtěných ocelí pro výrobu plastikářských forem	24
Tab. 5. Přehled zušlechtěných, korozivzdorných ocelí pro výrobu plastikářských forem	25
Tab. 6. Přehled nástrojových ocelí, které jsou určeny pro tepelné zpracování	27
Tab. 7. Přehled nanášených vrstev metodou	29
Tab. 8. Chemické složení a mechanické vlastnosti udávané výrobcem Toolox 33	32
Tab. 9. Chemické složení a mechanické vlastnosti udávané výrobcem Toolox 44	35
Tab. 10. Používané vzorce pro výpočet jednotlivých hodnot	37
Tab. 11. Typické hodnoty zkoušky tahem u měřených vzorků	40
Tab. 12. Vyhodnocení měření tvrdosti	47
Tab. 13. Vyhodnocení měření houževnatosti	48
Tab. 14. Vyhodnocení spektrální analýzy	49