



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# VLIV VLASTNOSTÍ VSTUPNÍHO MATERIÁLU NA TECHNOLOGII A VÝROBU HLUBOKOTAŽNÉHO VÝROBKU

INFLUENCE OF INPUT MATERIAL ON TECHNOLOGY AND PRODUCTION OF DEEP DRAWN  
PRODUCT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MONIKA JURAČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. IVO ŠULÁK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Monika Juračková

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

### **Vliv vlastností vstupního materiálu na technologii a výrobu hlubokotažného výrobku**

v anglickém jazyce:

### **Influence of input material on technology and production of deep drawn product**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Soudobě dodávaný materiál pro výrobu hlubokotažných komponent užívaných v automobilním průmyslu firmou ITW Pronovia, s.r.o. vykazuje zhoršené plastické vlastnosti a výsledný produkt má vysokou zmetkovitost. Stanovení základních mechanických vlastností a následné porovnání rozdílů nového a starého materiálu má rozhodující vliv na zajištění stávající kvality výroby. Tato problematika je komplexního charakteru a zasahuje do více oborů. Pro její řešení je vhodná spolupráce ústavu materiálových věd a inženýrství spolu s ústavem strojírenské technologie.

Cíle bakalářské práce:

Cílem této mezioborové bakalářské práce je sepsání literární rešerše na téma hlubokotažných ocelí a technologie jejich zpracování. Experimentální část bude zahrnovat mechanické a technologické zkoušky a jejich návaznost na strukturu materiálu. Výsledkem bude následné posouzení vlivu vstupního materiálu na konečný produkt spolu s analýzou dopadu materiálových vlastností na sériovou výrobu ve společnosti ITW Pronovia, s.r.o.

Seznam odborné literatury:

1. PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2003, 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
2. PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
3. BANERJEE, Kumkum. Physical Metallurgy and Drawability of Extra Deep Drawing and Interstitial Free Steels. Recrystallization. InTech, 2012-03-07.
4. FOREJT, M. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0294-6.
5. TIŠNOVSKÝ, M., MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha, SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
6. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: Technologie tváření – plošné a objemové tváření, 1.ed., edit.Rektorát VUT v Brně, 2003, pp.169, ISBN 80-214-2340-
7. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
8. IMLER, Ken. Strategické systémy kvality. Pardubice: Radek Lévy, 2008, 173 s. ISBN 978-80-904156-0-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Šulák

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

JURAČKOVÁ Monika: Vliv vlastností vstupního materiálu na technologii a výrobu hlubokotažného výrobku

---

Bakalářská práce vypracovaná v rámci bakalářského studia předkládá posouzení vlivu vlastností vstupního materiálu na technologii a výrobu hlubokotažného výrobku pro společnost ITW Pronovia, s.r.o. V rámci této práce jsou vypracovány mechanické a technologické zkoušky na dodávaném materiálu HT179. Z tohoto materiálu se dále vyrábí patrona pro vystřelení airbagu, u které byly zaznamenány během výroby vady, ořepky po vystřížení děr na hlubokém výtažku. Firma tuto vadu hodnotí jako vadu materiálu, proto je nutné zhodnotit vlastnosti starého a nového materiálu.

### **Klíčová slova**

hluboké tažení, stříhání, HT179, metalografický výbrus, tahová zkouška, zkouška mikrotvrdosti, zkouška hlubokotažnosti

## **ABSTRACT**

JURAČKOVÁ Monika: Influence of input material on technology and production of deep drawn product

---

This bachelor thesis was elaborated in cooperation with company ITW Pronovia, s.r.o within the scope of the bachelor degree and presents an assessment of the effect of material properties and manufacturing technology of a deep-drawn product. In this work the mechanical and technological tests were carried out on the supplied material HT179. This material is further processed into a cartridge for an airbag deployment. During production many defects occurred, especially after cutting out the holes of deep-drawn product. The company established these defects as material property. Therefore it is necessary to evaluate the characteristics of different material sets.

### **Key words**

deep drawing, shearing, HT179, scratch pattern, tensile test, micro-hardness test, test deep drawing

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JURAČKOVÁ, Monika. *Vliv vlastností vstupního materiálu na technologii a výrobu hlubokotažného výrobku*. Brno, 2014. 55s, 1 výkres, 5 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ivo Šulák.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vliv vlastností vstupního materiálu na technologii a výrobu hlubokotažného výrobku** vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....  
Monika Juračková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Ivu Šulákovi za poskytnuté informace a důležité rady týkající se zpracování bakalářské práce včetně experimentální části. Panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. za velice přínosnou spolupráci. Jeho cenné znalosti a zkušenosti tvořili nedílnou součást při zpracování této práce.

# OBSAH

Zadání  
Abstrakt  
Bibliografická citace  
Čestné prohlášení  
Poděkování  
Obsah

ÚVOD .....	11
1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	12
1.1 Patrona pro vystřelení airbagu .....	12
1.2 Specifikace materiálu.....	12
1.3 Průběh výroby.....	13
1.4 Verze patrony.....	13
1.5 Hlavní vada – otřepy.....	14
1.6 Výrobní postup patrony .....	15
2 NÍZKOUHLÍKOVÉ OCELI .....	16
2.1 Chemické složení.....	17
2.2 Hlubokotažné plechy .....	17
2.3 Stárnutí a jeho vliv na vlastnosti plechu .....	18
3 TECHNOLOGIE TAŽENÍ .....	22
3.1 Tažení válcového výtažku .....	22
3.1.1 Tažení válcového výtažku s přírubou.....	23
3.2 Velikost přístřihu .....	24
3.3 Počet tažných operací .....	25
3.4 Tažná síla a práce.....	26
3.4.1 Tažná síla.....	26
3.4.2 Tažná práce .....	28
3.5 Použití přidržovače .....	28
3.6 Tažná vůle a rychlost.....	29
3.6.1 Tažná vůle.....	29
3.6.2 Tažná rychlost.....	30
3.7 Tažný poloměr .....	30
3.7.1 Tažný poloměr – zaoblení hrany tažnice .....	30
3.7.2 Tažný poloměr zaoblení funkční hrany tažníku .....	31
3.8 Tažný nástroj .....	31
3.9 Technologické zásady a mazání .....	32
4 TECHNOLOGIE STRÍHÁNÍ .....	34

4.1	Proces stříhání.....	34
4.2	Střížná vůle .....	34
4.3	Střížná síla a práce .....	36
4.3.1	<i>Střížná síla</i> .....	36
4.3.2	<i>Střížná práce</i> .....	36
4.4	Jakost povrchu při stříhání.....	36
4.5	Technologičnost konstrukce .....	37
5	EXPERIMENTÁLNÍ METODIKA A ZAŘÍZENÍ.....	38
5.1	Zhotovení metalografického výbrusu .....	38
5.2	Pozorování na rastrovacím elektronovém mikroskopu .....	38
5.3	Tahová zkouška .....	39
5.4	Měření mikrotvrdomosti dle Vickerse .....	42
5.5	Zkouška hlubokotažnosti dle Erichsena .....	43
6	VÝSLEDKY EXPERIMENTU .....	46
6.1	Vyhodnocení mikrostruktury .....	46
6.2	Vyhodnocení mechanických vlastností .....	48
6.3	Vyhodnocení mikrotvrdomosti .....	50
6.4	Vyhodnocení hlubokotažnosti .....	50
7	NÁVRH ŘEŠENÍ PROBLÉMU .....	52
7.1	Tvrdomost výtažku před prostřížením děr.....	52
7.2	Výpočet střížných sil .....	53
	ZÁVĚR.....	55

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

## ÚVOD

Průmyslová výroba, potažmo strojírenství, prošla za posledních několik dekad velmi dramatickým vývojem. Jedním z nejvíce rozvíjejících se oblastí strojírenství je, i přes nedávné ekonomické krize, automobilní průmysl. Stoupající spotřebitelská poptávka a stále vyšší nároky na kvalitu výrobků a jednotlivých komponent kladou před konstruktéry a technology nejednu překážku. Na jedné straně tlak na nízkou cenu a na straně druhé 100% bezpečnost posádky vozu. To znamená, že velká část pozornosti směřuje na kvalitu všech materiálů s nejnižšími možnými náklady.

Firma ITW Pronovia, s.r.o. se sídlem ve Velké Bíteši je jednou ze subdodavatelských subjektů, zabývající se výrobou komponentů pro automobilový průmysl. Firma je rozdělena do čtyř divizí. Jedna z nich je divize Powertrain Metals, která se začala zabývat sériovou výrobou kovových dílů v roce 2000. Produkty firmy představují především airbagové komponenty, hluboké výtažky a matice na uchycení nábojů na poloosy. Stěžejním výrobkem této divize je patrona vystřelující airbag, hluboký výtažek. Adekvátní kvalita výrobků při současném zachování vysoké produkce je cílem každé společnosti. Proto je důležité odstranit každý problém, který je rušivým elementem pro tuto výrobu. ITW Pronovia, s.r.o. se nyní potýká s vyšším počtem defektních kusů airbagové patrony a příčina je připisována vadě materiálu, jenž je v této práci podroben odbornému zkoumání.



*Obr. 1 Produkty společnosti ITW Pronovia, s.r.o. [1]*

# 1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU

Hlavním cílem této mezioborové bakalářské práce je posouzení vlivu vstupního materiálu na kvalitu výtažku. Pro získání ucelené představy o problematice výroby daného dílce a vhodnosti zvoleného materiálu bude praktickému řešení předcházet teoretická studie zaměřená na oceli vhodné k hlubokému tažení, jejich chování, metody používané pro jejich analýzu a v neposlední řadě i na samotnou technologii výroby hlubokým tažením a stříháním. Praktickou částí práce jsou mechanické a technologické zkoušky na dodávaném materiálu HT179 pro firmu ITW Pronovia, s.r.o, která dále z tohoto materiálu vyrábí výrobek hlubokým tahem, patronu pro vystřelení airbagu. Tyto zkoušky musí být posouzeny a následně zhodnoceny vůči vlivu vstupního materiálu na kvalitu výtažku, u kterého bylo zaznamenáno značné zhoršení vlastností. Hlavní vadou patrony jsou otřepy, které se tvoří po stříhu kapkovitých děr. Tyto otřepy by mohly být příčinou poškození airbagu po jeho vystřelení.

## 1.1 Patrona pro vystřelení airbagu

V dané práci je řešena problematika výroby patrony, která slouží k vystřelení airbagu v okamžiku nárazu automobilu na překážku. Pro výrobu dané součásti je používán materiál americké normy HT179 a to v několika šaržích. V minulosti s materiálem nebyl téměř žádný problém, ovšem s přibývajícimi dodávkami materiálu se ve výrobě hromadily zmetky z důvodu tvoření otřepů v kapkovitých otvorech patrony. Firma koncem září 2014 provedla ve své technologii jisté změny, které vedly pouze ke snížení počtu vyrobených neshodných kusů. Konkrétní změny firma neuvádí. Přínosem těchto změn byl fakt, že u nejdelších patron z materiálu HT179-13 otřepy zcela vymizely.

## 1.2 Specifikace materiálu

V amerických normách lze materiál HT179 nalézt jako ASMT A1008 DDS. Jedná se o nízkouhlíkovou ocel válcovanou za studena. Ocel se vyznačuje vysokou pevností v tahu a je nelegovaná. Dle specifikací je materiál vhodný k hlubokému tažení. Podrobné informace o materiálu jsou uvedeny v tab. 1.1 a 1.2.

Tab. 1.1 Specifikace materiálu HT 179

Číslo materiálu	Materiál		Rozměry		
	Stupeň	Norma	tloušťka	šířka	délka
HT 179-00, -01,-02	DC04	ASTM A1008 DDS, E021556	1,879 ± 0,05	203±0,3	svitek
HT 179-13	DC04	ASTM A1008 DDS, E021556	1,879 ± 0,05	220,6±0,3	svitek

Tab. 1.2 Mechanické a chemické vlastnosti materiálu HT 179-00, -01, -02 a HT 179-13

Mechanické vlastnosti				Chemické vlastnosti												
R <sub>e</sub> / R <sub>p0,2</sub>		R <sub>m</sub> min	A <sub>80</sub> min	C max	Mn max	S max	P max	S+P max	Al max	Cu max	Ni max	Cr max	Mo max	V max	Nb max	Ti max
min (MPa)	max (MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
152	200	262	38	0,02-0,06	0,50	0,015	0,020	0,025	0,01	0,20	0,20	0,15	0,06	0,008	0,008	0,025
152	200	262	38	0,02-0,06	0,50	0,015	0,020	0,025	0,01	0,20	0,20	0,15	0,06	0,008	0,008	0,025

### 1.3 Průběh výroby

V průběhu roku se používaly šarže materiálu HT179. Tyto šarže měly různý vliv na vyráběný komponent. Dopad použitého materiálu na výrobu je uveden v tab. 1.3, která popisuje průběh výroby.


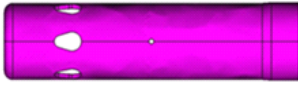


Tab. 1.3 Šarže HT179 v průběhu výroby v roce 2014

č. vzorku	šarže	datum výroby	poznámka k výrobě
00	84/14	13. 3.	žádný výskyt otřepů
01	135/14	18. 3.	žádný výskyt otřepů
02	396/14	17. 6.	začátek výskytu otřepů
03	663/14	4. 9.	největší výskyt vad - otřepy
04	680/14	8. - 10. 9.	
05	696/14	22. - 25. 9.	
06	755/14	6. - 8. 10.	menší výskyt po implementaci nápravných opatření
07	757/14	22. 10.	
08	780/14	30. - 31. 10.	
09	783/14	2. 11.	pro HT179-13, žádný výskyt otřepů, u menších délek stále
10	797/14	13. - 14. 11.	
11	872/14	17. - 31. 12.	

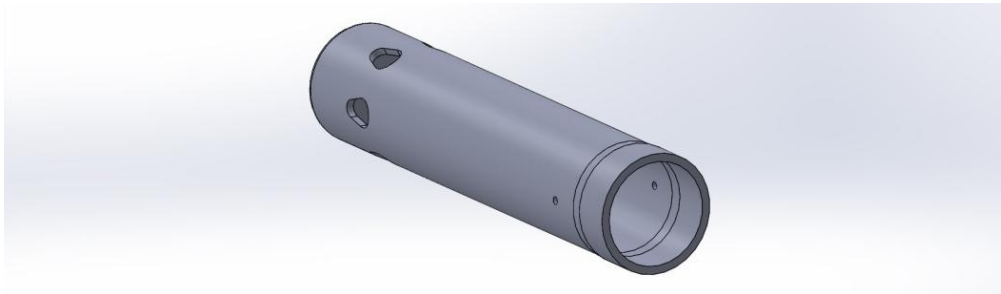
Vzorky jsou označeny číslem 00 až 11, tak jak je označeno v tabulce. Toto označení je dále používáno ve všech experimentech pro označení zkoušeného kusu.

### 1.4 Verze patrony

Patrona se vyrábí v několika délkách. Nejkratší výtazek HT 179-00 je tažen do výšky 91,86 mm, HT 179-01 s výškou 99,86 mm, HT 179-02 s výškou 120,86 mm a nejvyšší výtazek HT 179-13 má 124,36 mm. Tyto výtazky jsou zobrazeny na obr. 1.1. Díry jsou prostřihovány pro všechny výšky ve stejné vzdálenosti ode dna výtazku. Stříhaný tvar, kapkovitý otvor, je pro všechny šarže rozměrově stejný. Tažení všech výšek výtazků probíhá v jednom stroji pouze s redukcí tažníků pro danou sérii. Model výtazku HT179-13 na obr. 1.2.

Verze patrony HT179	
Č. materiálu	Délka patrony
HT179-00	
HT179-01	
HT179-02	
HT179-13	

*Obr. 1.1 Verze výtažků po vytažení*



*Obr. 1.2 Patrona HT179-13*

## 1.5 Hlavní vada – otřepy

Hlavní vadou neshodných kusů ve výrobě je tvorba otřepů v kapkovitých otvorech. Rozměry kapkovitých otvorů jsou pro všechny délky stejné. Kapkovité otvory jsou stříhány stejnou střížnou silou pro všechny délky. Stříhání je prováděno postupně kovovými střížníky. Průřez střížného nástroje je uveden v příloze.



*Obr. 1.3 Otřepy na patroně*

## 1.6 Výrobní postup patrony

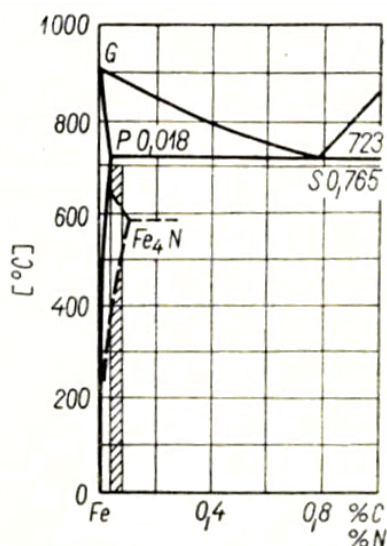
Vstupním materiálem pro výrobu patrony je svitek plechu. Do plně automatického stroje je pomocí podavače vsouván pás plechu ze svitku. Pás je postupně stříhán na přístřihy kruhového tvaru (rondelu). Polotovár je dále postupně tažen do požadované výšky v 5 krocích. Výška patrony je regulována přidavnými nástavci. Po každé sérii je nutné stroj upravit dle výšky patrony. Zvlněný kraj je odstříhnut. Dále je do výtažků prostříhnuta na dvakrát trojice otvorů kapkovitého tvaru a následně i otvory o průměru 1,7 mm, které slouží k průchodu vzduchu pro vystřelení airbagu. Výtažek je během procesu proměřován a kalibrován. Nástroj je v průběhu mazán a kontrolován. Po výstupní kontrole je patrona omílána a projde pasivací. Celý postup výroby patrony je uveden v tab. 1.4. Výkres patrony je uveden v příloze jako výkresová dokumentace.

Tab. 1.4 Výrobní postup patrony

č. op.	popis
1	vystřížení rondelu
2	první operace tažení
3	druhá operace tažení
4	třetí operace tažení
4a	odstřížení okraje
5	čtvrtá operace tažení
6	finální tah
6a	volná pozice (finální tah dlouhých verzí)
7	zažehlení zavřeného konce
8	rozšíření otevřeného konce
9	odstřížení okraje
10	volná pozice
11	test roztržení dílu
12	kontrola vnitřních průměrů
13	test těsnosti
14	volná pozice
15	střížná stanice (kapkovité díry)
16	kontrola přítomnosti střížných děr
17	střížná stanice malých děr z boku
18	odklonit NOK a seřízení kusů
19	označení (razítko)

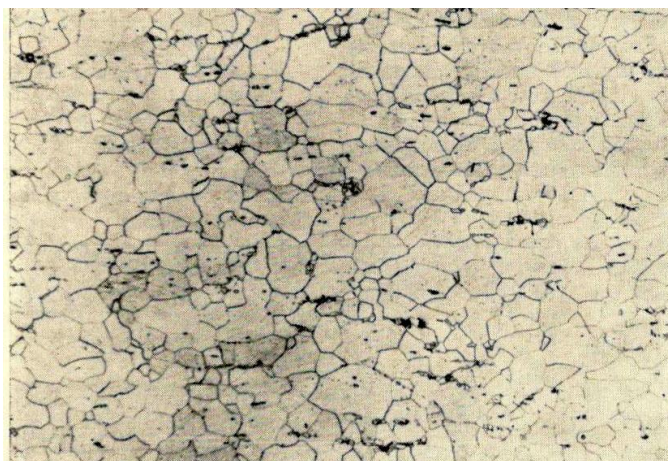
## 2 NÍZKOUHLÍKOVÉ OCELI

Kategorie nízkouhlíkových konstrukčních ocelí je podskupinou mnohem rozsáhlejší skupiny uhlíkových ocelí. Oceli jako takové jsou slitiny železa s definovaným obsahem uhlíku do 2,14 hm. %. S navyšujícím obsahem uhlíku výrazně rostou mechanické vlastnosti. V přímém kontrastu klesají deformační vlastnosti a materiál se stává více křehkým a k jeho opracování je nutné volit složitější a nákladnější technologické postupy. Nízkouhlíkové nelegované oceli nacházejí uplatnění právě pro své zvýšené plastické vlastnosti při zachování adekvátních pevnostních charakteristik. Z hlediska využití se rozdělují na svařitelné a hlubokotažné oceli. U svařitelných nelegovaných ocelí je požadován obsah uhlíku do 0,22%, aby byla zaručena svařitelnost konstrukce. V případě hlubokotažných ocelí, kdy jsou vyžadovány vysoké plastické vlastnosti je nutné obsah uhlíku ještě více omezit a to na maximálních 0,1% [2], kdy je rovnovážná struktura vzniklá pomalým ochlazováním tvořena převážně intersticiálním tuhým roztokem uhlíku v železe  $\alpha$  a malým množstvím terciálního cementitu ( $\text{Fe}_3\text{C}^{\text{III}}$ ). Pro kvalitní průmyslově využívané hlubokotažné plechy je výrobcem zaručen obsah uhlíku maximálně 0,07 % C [3][4].



Obr. 2.1 Diagram Fe-C a Fe-N, pásmo hlubokotažných plechů označeno šrafováním [B]

Na obr. 2.1 je znázorněna část diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C. Šrafované pásmo má pole rozpustnosti C v železe  $\alpha$ . Maximální rozpustnost uhlíku v železe  $\alpha$  je 0,018% při 723°C. Během ochlazování je přebytečný uhlík vyloučen ve formě již zmíněného terciálního cementitu, který je segregován po hranicích feritických zrn. V diagramu je současně vyznačen dusík, který je velmi často přítomen v nízkouhlíkových ocelích a jeho vliv za pokojové teploty je až dvacetinásobně větší než vliv uhlíku (viz. kap. 1.3). Část rovnovážného diagramu Fe-Fe<sub>4</sub>N je v diagramu naznačena čárkovanou čarou. Pokud ocel obsahuje dusík v rozpuštěném stavu nebo jako segregát Fe<sub>4</sub>N, mechanické vlastnosti jsou jím ovlivněny. Proto je nutné ocel zpracovávat ve stavu, kdy je Fe<sub>4</sub>N ještě rozpuštěn.



Obr. 2.2 Struktura ocelového hlubokotažného plechu s obvyklým množstvím nečistot [5]

Typická struktura hlubokotažné oceli je zachycena na obr. 2.2. Lze na něm pozorovat strukturu běžného typu hlubokotažného plechu se středním obsahem nečistot, zvětšeno 200krát.

## 2.1 Chemické složení

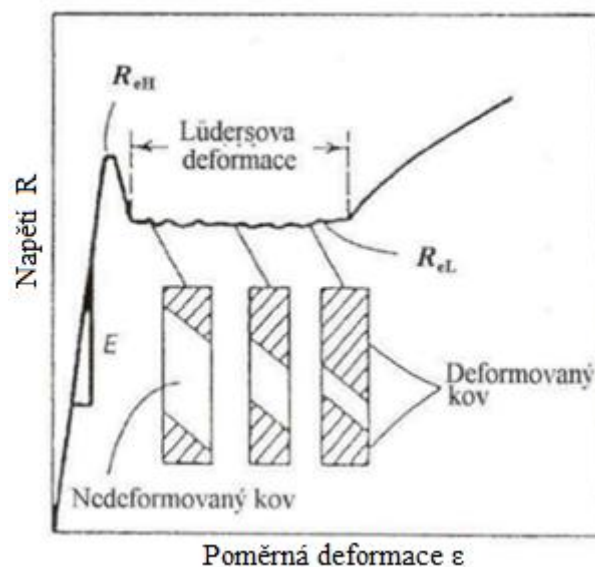
Nízkouhlíková hlubokotažná ocel je specifická velmi nízkým obsahem uhlíku. Příměsové prvky, jako mangan a křemík, jsou obsaženy rovněž v malém množství, protože zvyšují pevnost feritické matrice. Nicméně určité množství manganu je nutné k vyvážení síry, pro zachování dobré tvařitelnosti. Dále může být přítomen fosfor, který zpevňuje ferit a činí ocel křehkou a síra tvořící sulfidy, znesnadňující tvařitelnost za tepla. Oba tyto prvky se do materiálu dostávají ze surového železa a ocelového odpadu, kde jsou přítomny ve větší míře. Hlubokotažné oceli jsou vyráběny jako oceli neuklidněné i uklidněné, např. 11 301, 11 325. U neuklidněných ocelí je nutné jejich zpracování do 4 týdnů od výroby z důvodu velké náchylnosti ke stárnutí. Zlepšení mechanických vlastností a stability je dosahováno mikrolegováním přísadovými prvky a to především hliníkem, titanem, chromem, niklem, vanadem, molibdenem atd. Oceli, které jsou dezoxidovány a stabilizovány především hliníkem, jsou nazývány uklidněné [6].

## 2.2 Hlubokotažné plechy

Oceli spadající do této skupiny materiálu jsou určeny k tváření jak za studena, tak za tepla. Nízká hodnota meze kluzu usnadňuje plastickou deformaci i při nízkých napětích. Nejlepší oceli mají mez kluzu přibližně 160MPa a hodnota tažnosti dosahuje minimálně 45% [2]. Na mechanické a technologické vlastnosti hlubokotažných ocelí má podstatný vliv charakter mikrostruktury. Základem struktury jsou u nízkouhlíkových hlubokotažných plechů feritická zrna a terciální cementit. Na tvařitelnost má především vliv velikost a tvar feritického zrna, rozložení a morfologie cementitu a vměstků. Pro vhodnou tvařitelnost je nutné, aby byl cementit rovnoměrně vyloučen v základní feritické matici s globulární morfologií. Nevhodný je lamelární cementit v řádkovém uspořádání.

Ideální tvar feritických zrn je mírně zploštělý (čočkovitý) a stabilizovaný hliníkem, tj. uklidněná ocel. U hlubokotažných plechů má feritické zrno dopad na kvalitu povrchu výtažku. Dle normy ČSN 42 0463 plechy o velikosti feritického zrna 5 a 6 poskytují po tvářecí operaci povrch drsnější než velikost 7 a 8. Nebezpečí prasklin při tažení a nerovnoměrná deformace plechu je přímým důsledkem u nerovnoměrné velikosti zrn. Mikrostruktura oceli je stanovena normou ČSN 42 0462 [6].

Oceli válcované za studena z hlubokotažných ocelí k tváření za studena dle normy ČSN EN 10130 jsou dodávány ve formě pásů nebo plechů. Většinou jsou dodavatelem připraveny jako dezoxidované. Aby se předešlo vzniku deformačních čar, je nutné je po žhání lehce převálcovat za studena. Tyto deformační čáry však mohou být při pozdějším opracování opětovně obnoveny. Z tohoto důvodu je nutné oceli zpracovávat v co nejkratším čase. Výrobce plechů je garantována hodnota součinitele normálové anizotropie a exponent deformačního zpevnění. Oceli pro hluboký tah s nízkým obsahem uhlíku se také nazývají ULC (ultra low carbon) oceli a jsou dodávány ve stavu válcovaném za studena bez tepelného zpracování. Oproti normovanému složení jsou vyráběny s největším obsahem fosforu a síry 0,015 % a křemík je snížen pod 0,10 %. Konstrukční materiály pro karoserie automobilů prošly velkým vývojem. Hlavním důvodem pro nové typy ocelí pro tváření za studena je konkurence hliníkových slitin. U ocelí je zvyšována pevnost a mez kluzu při zachování technologických vlastností. Toto umožňuje snižovat hmotnost ocelové karoserie na úroveň srovnatelnou s hliníkovými konstrukcemi [3].



Obr. 2.3 Tvar tahového diagramu typický pro nízkouhlíkovou ocel [7]

Na obr 2.3 je znázorněn tahový diagram, typický pro nízkouhlíkové oceli. Elastická oblast definovaná Hookovým zákonem je ukončena horní mezí kluzu, což je okamžik první makroplastické deformace materiálu. Následuje prudký pokles způsobený utržením dislokací z Cottrelových atmosfér (viz kap. 1.3). Následná oblast diagramu je popisována jako Lüdersovy deformace, kdy dochází k plastické deformaci celého objemu materiálu [7].

### 2.3 Stárnutí a jeho vliv na vlastnosti plechu

Samotný proces stárnutí materiálu je principiálně stejný jako precipitační vytvrzování. Nicméně oproti precipitačnímu vytvrzování, které je bráno jako pozitivní proces (především u hliníkových slitin), je stárnutí nízkouhlíkových ocelí negativní děj. Lze ho charakterizovat jako pomalou, samovolnou změnu fyzikálních, mechanických a chemických vlastností. Struktura oceli během stárnutí mění svůj stav. Původní metastabilní stav, ve kterém je slitina vyrobena, nelze dlouhodobě udržet. Materiál v průběhu stárnutí snižuje svou vnitřní energii a snaží se dosáhnout rovnovážného stavu. Ke stárnutí dochází po nahromadění atomů volného dusíku a uhlíku u dislokací a jsou vytvořeny tzv. Cottrelovy atmosféry. Nahromaděné atomy brání v pohybu dislokací, jenž je základním mechanismem plastické deformace a je tudíž velmi důležitý pro tváření plechu. Stárnutí je možné nalézt u

neuklidněné oceli s  $C < 0,1 \%$ . Na stárnutí při teplotě  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  má větší vliv dusík a to 20 krát větší než uhlík [6].

Proto je důležité, aby byl uhlík a dusík vyvážen na sloučeniny, protože jen a pouze jejich přítomnost v atomární formě má zásadní dopad na deformační a mechanické vlastnosti nízkouhlíkových ocelí. Projev stárnutí se vyznačuje zvýšením tvrdosti a pevnostních charakteristik, poklesem deformačních charakteristik a zvýšením tranzitní teploty. Stárnutí oceli je pochod řízený difuzí, jenž je závislá na více parametrech, ale především na teplotě. S rostoucí teplotou roste aktivační energie nutná k přesunu jednotlivých atomů. Proto je možné dosáhnout podobného stupně zestárnutí za kratší dobu při vyšší teplotě (viz obr. 2.4) [5].

Stárnutí lze zabránit přísadami prvků tvořící v  $\alpha$  železe substituční tuhý roztok dle rozsahu snížení koncentrace uhlíku a dusíku v železe. Následující prvky jsou řazeny dle afinity k uhlíku a dusíku.

Ti – má velmi vysokou afinitu k dusíku a uhlíku, podobně jako Zr, V, Nb

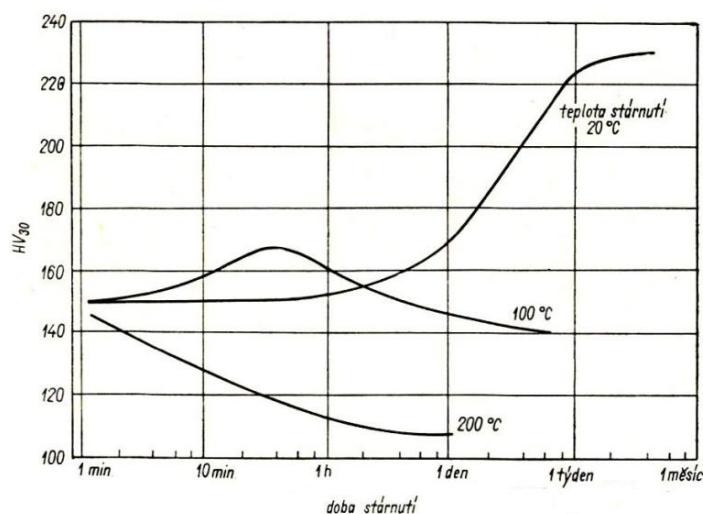
Al – má velmi vysokou afinitu k dusíku, zpomaluje difuzi uhlíku v železe  $\alpha$

Si – má značnou afinitu k dusíku, uklidňuje ocel

P, Cr, Mn – zpomalují stárnutí vyvážením kyslíku [6]

- Stárnutí oceli po rychlém ochlazení (Tepelné stárnutí)

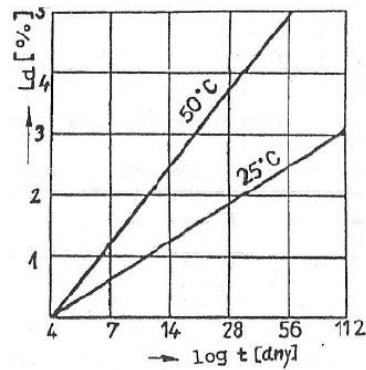
Rychlé ochlazování po zakalení uhlíkové neuklidněné oceli zapříčiní větší zůstatek rozpuštěného uhlíku a dusíku v  $\alpha$  železe. Tvrdost se mění v závislosti na teplotě a době stárnutí.



Obr. 2.4 Vliv doby a teploty stárnutí po zakalení neuklidněné oceli z oblasti  $\alpha$  na tvrdost [5]

Na obr. 2.4 je dokumentován diagram vlivu teploty a doby stárnutí pro neuklidněnou ocel ( $C=0,03\%$ ,  $Mn=0,15\%$ ,  $N=0,018\%$ ) zakalenou z teploty  $700\text{ }^\circ\text{C}$  do vody. Tvrdost zde lze pozorovat za teplot  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při vyšších teplotách dochází k nejvyššímu vytvrzení v kratším čase a dochází k rychlejšímu stárnutí způsobenému hrubnutím částic. Při pokojové teplotě, tj.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  dochází k maximálnímu vytvrzení za 10 až 20 dnů dle počáteční koncentrace dusíku a uhlíku v zakaleném feritu [5].

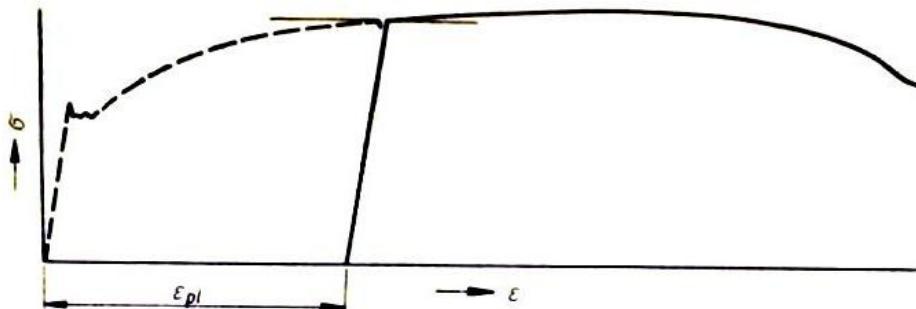
Pro kvalitní výtažky je nutné udržet velikost Lüdersovy deformace pod 1%. Lüdersova deformace způsobuje zdrsnění povrchu výlisku. Dle diagramu na obr. 2.5 lze stanovit maximální dobu po tváření za studena, při které je nutno daný materiál či polotovár zpracovat.



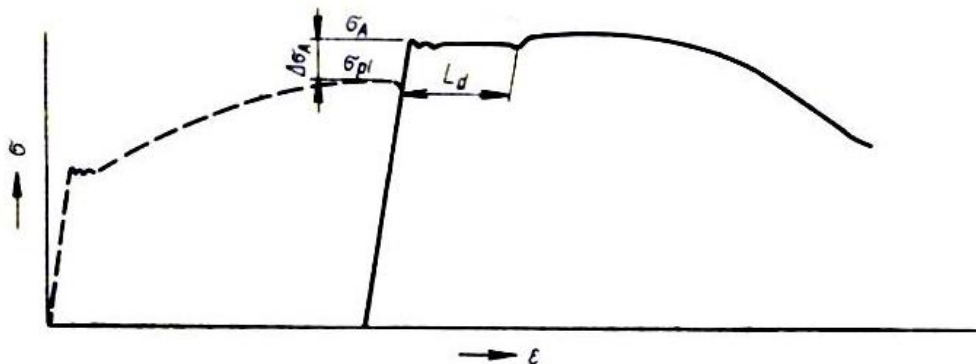
Obr. 2.5 Změna velikosti Lüdersovy deformace v závislosti na teplotě a době stárnutí u ČSN 11 321 [6]

- Deformační stárnutí (Stárnutí oceli po tváření za studena)

Následkem tváření za studena je deformace krystalové mřížky. Plastická deformace je umožňována pohybem dislokací v zrnech feritu. Pokud je pohybu dislokací zabráněno, zvýší se odpor proti plastické deformaci, tudíž se ocel zpevní a stane se křehčí. Tento projev je zapříčiněn deformačním stárnutím. Při deformačním stárnutí působí dislokace jako místa pro hromadění atomů uhlíku a dusíku, kdy je jejich vylučování řízeno difuzí indukovanou napětím. Na obr. 2.6 a 2.7 jsou uvedeny tahové diagramy znázorňující časový vliv mezi jednotlivými deformačními procesy. Zatímco u diagramu 2.6 je doba velmi krátká a nedojde k ovlivnění velikosti napětí nutného k další deformaci. Avšak u diagramu 2.7 je tomu právě naopak. Delší doba mezi deformačními cykly zapříčiní opětovné navázání intersticiálních atomů uhlíku a dusíku na jádra dislokací a tím je způsoben nárůst napětí doprovázený Lüdersovou deformací (nové utržení dislokací z Cottrelových atmosfér). Zkřehnutí ocelí deformačním stárnutím závisí na stupni předcházející deformace, na přesycení feritu intersticiálně rozpuštěnými prvky a na době a teplotě stárnutí, jak je ukázáno na obr. 2.4 [5].



Obr. 2.6 Tvar diagramu napětí – deformace po krátkém odtižení [5]



Obr. 2.7 Tvar diagramu napětí – deformace – významná časová prodleva před další deformací [5]

- Umělé a přirozené stárnutí plechů

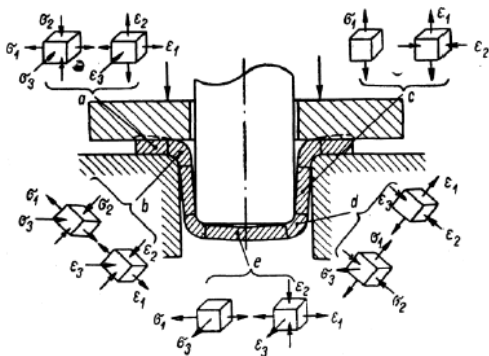
Zde se jedná o procesy při rozdílných teplotách prostředí. Přirozené stárnutí je pomalý a z vnějšku neovlivněný děj probíhající za pokojové teploty. Naopak stárnutí umělé je zapříčiněno zvýšením teploty prostředí. Tohoto se využívá především při procesu precipitačního vytvrzování hliníkových slitin (duralů). Dlouhodobé zkoušky stárnutí lze nahradit zkouškami zkrácenými, při nichž lze při využití vyšší teploty dosáhnout stejného účinku stárnutí jako za nižší teploty. Hunryho rovnice vyjadřuje tuto závislost v rozmezí teplot 20 °C až 100 °C [6].

$$\log \frac{t_0}{t} = 4400 \cdot \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) - \log \frac{T}{T_0} \quad (2.1)$$

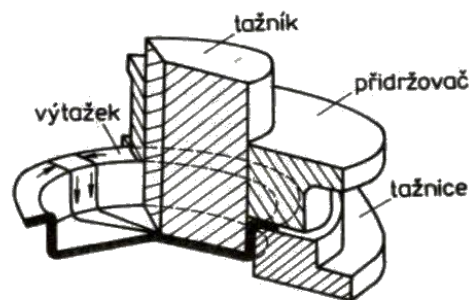
kde:  $t_0$  [h] – doba stárnutí při 20 °C = 293 K  
 $t$  [h] – doba stárnutí při zvýšené teplotě  $T$   
 $T_0$  [K] – 20 °C = 293 K  
 $T$  [K] – použitá zvýšená teplota

### 3 TECHNOLOGIE TAŽENÍ

Technologie tažení se řadí do oblasti plošného tváření. Obecně řečeno, tváření je technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru výrobku nebo jeho vlastností za působení vnějších sil. Při tváření vznikají plastické deformace doprovázené napětími, překračující mez kluzu daného materiálu. Tažením se z rovinného přístříhu plechu zhotovují v jedné nebo více operacích duté součásti rotačních, hranatých a složitě symetrických tvarů. Vyrábí se takto široká škála mělkých i hlubokých nádob, krytů, vík, součástí karoserií, apod. Tažení těchto dílců z plechu se uskutečňuje pomocí tažného nástroje, kde hlavními funkčními částmi jsou tažník a tažnice. Během tohoto procesu tváření dochází k určitým změnám tloušťky, rohy výtažku jsou zeslabovány a tloušťka okrajů je zvětšována. Tyto změny jsou zapříčiněny rozdílnou napjatostí v různých místech tvářeného polotovaru. Například pod přídržovačem v oblasti příruby vzniká prostorová napjatost a deformace. Vyskytuje se zde radiální tahové napětí a tečné tlakové napětí, kolmo na ně vzniká osové tlakové napětí, které lze pozorovat na obr. 3.1. Popis nástroje schematicky ukazuje obr. 3.2. Hlubokým tažením se získávají lehké a tuhé součásti, které by v mnoha případech bylo obtížné či nemožné vyrobit jinými technologiemi [6][8][9].



Obr. 3.1 Schéma deformace při tažení [5]

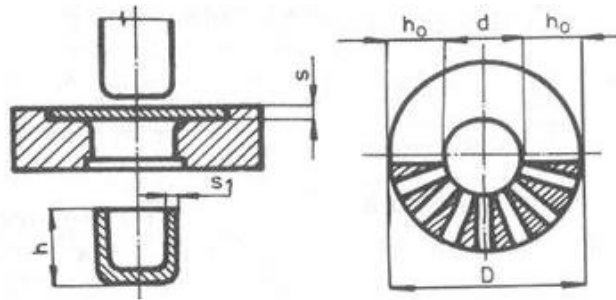


Obr. 3.2 Řez tažidlem a výtažkem [8]

#### 3.1 Tažení válcového výtažku

O tažení rotačních výtažků pojednává norma ČSN 22 7301. Počet tahů při tažení hlubokých výtažků závisí na tvárnosti tvářeného materiálu. Kritériem pro určení počtu tahů je požadovaný stupeň deformace (viz. kap. 3.3). U jednoduchých válcových tvarů je tažník zasouván do otvoru tažnice, přičemž sebou nese plechový polotovar, který se posouvá přes tzv. tažnou hranu tažnice. Toto místo je místem největšího opotřebení nástroje. Síla potřebná k tažení se kontroluje z podmínky pevnosti válcové části nádoby, která se nesmí při tažení přetrhnout. Nutností je, aby byl uvažován vliv tření a zpevnění materiálu.

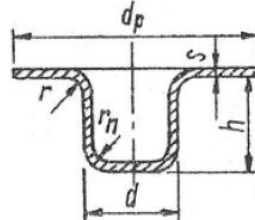
Tažením se mezikruží přístříhu změní na válec s průměrem  $d$  a výškou  $h$  z dřívějšího rozměru přístříhu  $D$ . V důsledku platnosti zákona stálosti objemu se objem kovu během procesu nemění, a proto výška  $h$  bude větší, než šířka mezikruží (obr. 3.3) [10].



Obr. 3.3 Princip tažení válcového tvaru [10]

### 3.1.1 Tažení válcového výtažku s přírubou

Pro tažení rotačních symetrických výtažků se širokou přírubou (obr. 3.4) je nutné v prvním tahu určit požadovaný průměr příruby, který již při dalších tazích zůstane nezměněn. Deformace probíhá v dalších tazích pouze v závislosti na zmenšování průměru válcové části, zvětšování šířky příruby a výšky výtažku. Součinitel tažení  $m$  pro výtažky s širokou přírubou nutno volit nižší, než pro výtažek bez příruby (viz kap. 3.3) Pro další tahy je možné využít součinitel tažení, který je určen pro válcové výtažky bez příruby.



Obr. 3.4 Výtažek s širokou přírubou [5]

Vztah pro výšku výtažku pro první operaci stanovenou z podmínky rovinnosti ploch povrchu polotovaru je:

$$h_1 = \frac{D_0^2 - D_p^2}{4 \cdot d_1} + 0,86 \cdot R_1 \quad [mm] \quad (3.1)$$

kde:  $d_1$  [mm] – průměr výtažku v 1. operaci  
 $D_p$  [mm] – průměr příruby v 1. operaci  
 $D$  [mm] – průměr přístřihu  
 $R_1$  [mm] – rádius přechodu příruby do tažené části v 1. operaci

Vztah pro výšku výtažku pro další operace tažení je:

$$h_n = (h_{n-1} - 0,86 \cdot R_{n-1}) \cdot m_n + 0,86 \cdot R_n \quad [mm] \quad (3.2)$$

kde:  $h_{n-1}$  [mm] – výška výtažku po předchozí operaci  
 $m_n$  [-] – součinitel tažení  
 $R_n, R_{n-1}$  [mm] – rádius přechodu příruby do tažené části v n-1 a n-té operaci

Obecně je dáno, že výtažky se širokou přírubou jsou taženy složitěji než výtažky s úzkou přírubou nebo výtažky bez příruby. [6]

### 3.2 Velikost přístříhu

Velikost přístříhu plechu je určována z výpočtu nebo pomocí zavedených diagramů. Při výpočtu je nutné dbát na shodu objemu kovu v přístříhu i výtažku. Při tažení je často okraj výtažku nerovný a zdeformovaný, proto se výtažek táhne hlubší, aby bylo možné tento okraj odstranit a tím i definovat konečnou - požadovanou výšku výtažku. Z toho vyplývá, že je nutné navolit polotovar větší právě o tento přídavek na odstřížení. Při početním určení velikosti přístříhu je výtažek rozdělen na dílčí části. Zpravidla to bývá dno a stěny výtažku. U přesnějších výpočtů jsou dále uvažovány poloměry u tvarových přechodů a dna výtažku. Obecně lze říci, že objem celého výtažku je roven součtu objemů kovů v těchto jednotlivých částech [8].

Níže uvedený vztah (3.3) je zjednodušením pro výpočet objemu válcového výtažku při zanedbání poloměru u dna součásti.

$$V = \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 \cdot t\right) + (\pi \cdot d_s \cdot h \cdot t) \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.3)$$

kde:  $d_s$  [mm] – střední průměr výtažku  
 $h$  [mm] – výška výtažku  
 $t$  [mm] – tloušťka stěny výtažku

Vzhledem k tomu, že pro rotační výtažky se jako polotovar používá kruhový přístřih z plechu, lze objem polotovaru vyjádřit rovnicí:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot t \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.4)$$

dle zákona zachování objemu jsou oba objemy vyjádřené vztahy (3.3) a (3.4) rovny. Na základě této rovnosti lze vyjádřit rovnici pro výpočet průměru výchozího polotovaru (3.5) [6].

- Stanovení průměru přístříhu pro válcový výtažek bez příruby:

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \text{ [mm]} \quad (3.5)$$

kde:  $d$  [mm] – vnitřní průměr výtažku  
 $h$  [mm] – minimální výška výtažku

- Stanovení průměru přístříhu pro válcový výtažek s přírubou:

$$D_0 = \sqrt{d_p^2 + 4 \cdot d \cdot h - 3,44 \cdot d \cdot r} \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

kde:  $d_p$  [mm] – průměr příruby hotového výtažku  
 $r$  [mm] – poloměr zaoblení dna výtažku

Pro nerotační výtažky, kde je tvar přístříhu obecného tvaru, se velikost a tvar polotovaru stanovuje analyticko-grafickou metodou. Musí platit, že plocha přístříhu se rovná ploše výtažku s přídavkem na odstřížení (bočnice se však tažením mírně prodlužují).

### 3.3 Počet tažných operací

Dle velikosti, složitosti a materiálu výtažku lze z plochého přístříhu zhotovit výtažek o určitém minimálním průměru jednou nebo více tažnými operacemi. Počet tahů je závislý na součiniteli tažení, čím se rozumí poměr průměru přístříhu k průměru výtažku. Součinitel tažení se vypočte pro první tah ze vztahu:

$$m = \frac{d}{D_0} = \frac{1}{K} \quad (3.7)$$

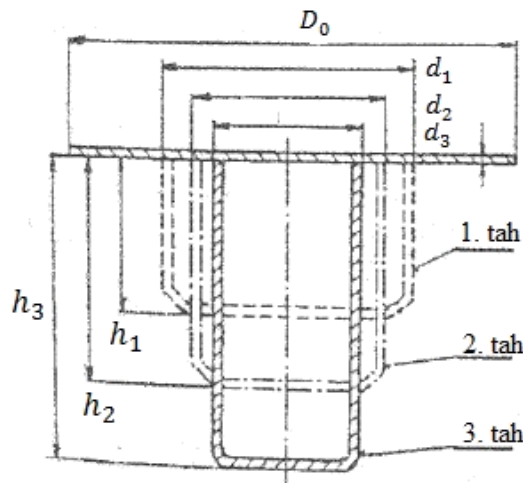
kde:  $m$  [-] – součinitel tažení  
 $d$  [mm] – průměr výtažku  
 $D_0$  [mm] – průměr přístříhu  
 $K$  [-] – stupeň tažení

Pro další tahy se součinitel tažení počítá obdobně. Celkový součinitel tažení se rovná součinu jednotlivých součinitelů. Hodnoty součinitelů tažení pro válcové nádoby jsou uváděny v tabulkách. Pro hlubokotažné plechy je stanoven minimální dosažitelný součinitel tažení v prvním tahu  $m_1 = 0,48$  až  $0,50$ , ve druhém tahu  $m_2 = 0,73$  až  $0,75$  a ve třetím tahu  $m_3 = 0,76$  až  $0,78$ . Větší zaoblení tažníku a tažnice vyžaduje menší součinitel tažení. Celkový součinitel tažení lze určit ze vztahu (3.8). Určení součinitele tažení daného tahu ( $m_1$  až  $m_n$ ) lze získat ze vztahu (3.9) a schéma tažení na tři operace ukazuje obr. 3.5.

- Určení celkového součinitele tažení dle normy ČSN 22 7301

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n \quad (3.8)$$

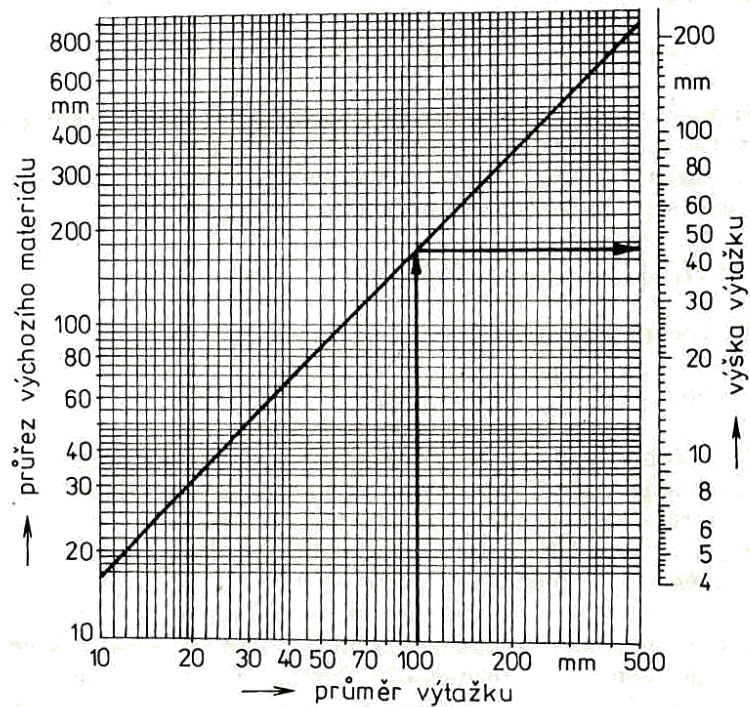
$$m_n = \frac{d_1}{D_0} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_3}{d_2} \cdot \dots \cdot \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d_n}{D_0} \quad (3.9)$$



Obr. 3.5 Schéma tažení výtažku na tři operace [6]

Pokud jde o tvary jiné, stanovuje se součinitel tažení podle místa, kde zakřivení stěny a poměrná hloubka dosahují maximálních hodnot. Obecně závisí na druhu materiálu, na předchozím zpevnění, poměrné tloušťce, tvaru výtažku, tažné rychlosti, tlaku přidržovače, mazání a hlavně na geometrii nástroje. Tvařitelnost materiálu se s rostoucím počtem operací snižuje [10].

K rychlému odhadu pro mělké výtažky, zda lze vytáhnout na jednu operaci, je možné využít nomogramu. Vyhodnocení tažných operací z nomogramu zobrazuje obr. 3.6.



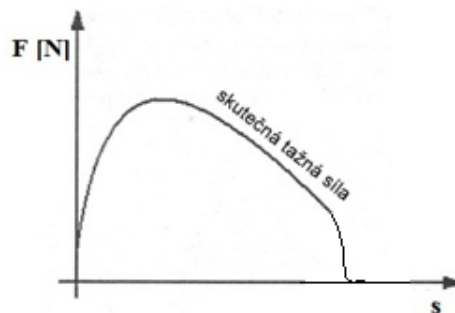
Obr. 3.6 Nomogram k určení výšky výtažku dosažitelné v prvním tahu [8]

### 3.4 Tažná síla a práce

Matematické vztahy pro výpočet tažné síly a práce jsou dosti komplikované, proto se zjednodušují. Praktické vztahy tedy vychází z toho, že tažná síla musí být o něco menší než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn.

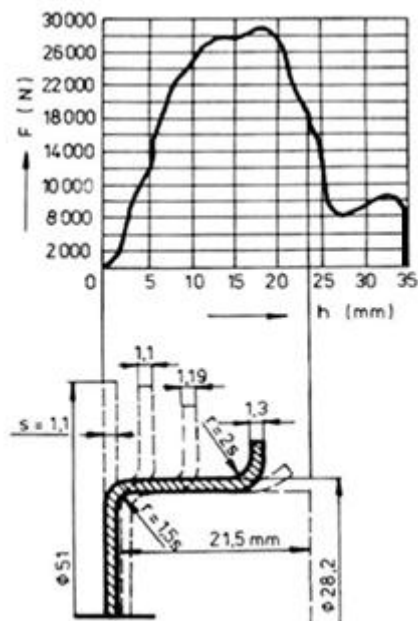
#### 3.4.1 Tažná síla

Tažnou silou jsou v oblasti pláště výtažku vyvolána tahová napětí. V praxi tedy lze uvažovat, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než napětí na mezi pevnosti [10].



Obr. 3.7 Průběh tažné síly [6]

Na obr. 3.7 je patrné, že skutečná tažná síla je proměnná v závislosti na tažné dráze tažníku. Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení ukazuje obr. 3.8.



Obr. 3.8 Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení [10]

Empirický vztah pro tažnou sílu stanovuje sílu maximální. Tažná síla se zjednodušeně vypočte dle vztahu:

$$F_t = o \cdot t \cdot R_m \cdot k_t \quad [N] \quad (3.10)$$

kde:  $o$  [mm] – obvod výtažku  
 $t$  [mm] – tloušťka materiálu  
 $R_m$  [MPa] – pevnost v tahu  
 $k_t$  [-] – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení  $m$  s přihlédnutím k poměrné tloušťce

Běžná hodnota pevností v tahu  $R_m$  pro hlubokotažné plechy je 320 MPa až 420 MPa.

Tažnou sílu pro rotační výtažky lze zjistit ze vztahu:

$$F_{tO} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \cdot k_t \quad [N] \quad (3.11)$$

kde:  $d$  [mm] – průměr výtažku

Velikost tažné síly pro nástroj s přidržovačem pro první a další tahy se zjednodušeně vypočte podle vztahu:

$$F_c = L \cdot t \cdot R_m + S_p \cdot p \quad [N] \quad (3.12)$$

kde:  $L$  [mm] – délka obvodu polovýrobku  
 $S_p$  [mm<sup>2</sup>] – plocha přidržovače  
 $p$  [MPa] – specifický tlak přidržovače (od 0,8 do 3)

Tab. 3.1 Vybrané hodnoty součinitele  $k_t$  [6]

$m = d/D_0$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
$k_t$	1,00	0,86	0,72	0,60	0,40

### 3.4.2 Tažná práce

Tažná práce je závislá na tažné síle a výšce výtažku. Výsledná tažná práce bez přidržovače se vypočte

$$A = F_t \cdot h \quad [J] \quad (3.13)$$

přesněji

$$A = C \cdot F_t \cdot h \quad [J] \quad (3.14)$$

kde:  $F_t$  [mm<sup>2</sup>] – tažná síla  
 $h$  [mm] – výška výtažku  
 $C$  [-] – koeficient zaplnění plochy

Pro výpočet výsledné tažné práce s přidržovačem je nutné přičíst k tažné síle i sílu přidržovače [6][8][10].

### 3.5 Použití přidržovače

Tažení nízkých výtažků z poměrně tlustých plechů obvykle nevyžaduje přidržovač. Přidržovač je nutno použít pokud při tažení vznikají vlny v oblasti příruby, ale je zde riziko přechování materiálu pod přidržovačem. V tomto případě je nutné znát měrný tlak přidržovače, který je závislý na tloušťce plechu. Přidržovač je také možné použít pro vystředění výtažku při druhém a dalším tahu [6][8].

Empirických vztah pro určení nutnosti použití přidržovače:

- Dle Freidlinga

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 \quad (3.15)$$

Pokud  $\Delta s < 1,5$  přidržovač je nutný, ale pokud  $\Delta s > 2$  lze táhnout bez přidržovače. Výsledkem může být i  $\Delta s = 1,5$  až 2, tehdy je způsob tažení potřeba ověřit.

- Dle Šofmana

$$D_0 - d \leq 18 \cdot s_0 \quad (3.16)$$

Pokud je podmínka splněna lze táhnout bez přidržovače.

- Dle normy ČSN 22 7301

$$\alpha = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad (3.17)$$

kde:  $z$  [-] – materiálová konstanta, pro hlubokotažný plech  $z = 1,9$

Pokud  $\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0}$  je nutné táhnout s přidržovačem. V dalších tazích je přidržovač nutný, je-li  $\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9$ .

Pokud  $\alpha < 100 \cdot \frac{d}{D_0}$ , přidržovač není nutný.

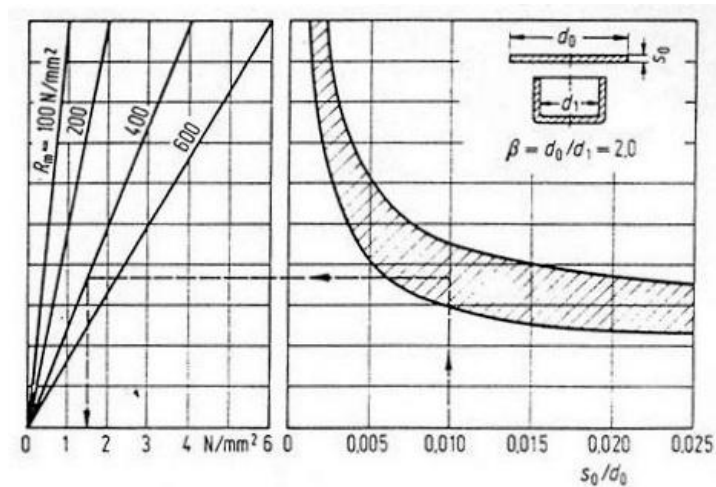
Sílu přidržovače určuje vztah:

$$F_p = S_c \cdot p \quad [N] \quad (3.18)$$

kde:  $S_c$  [mm<sup>2</sup>] – činná plocha pod přidržovačem  
 $p$  [MPa] – měrný přidržovací tlak

V praxi se měrný tlak přidržovače nastaví tak, aby nedošlo k zvlnění okraje nebo případným trhlinám na výlisku. Pro ocelové hlubokotažné plechy se doporučuje měrný tlak přidržovače v rozmezí 2,0 až 3,0 MPa [6].

Měrný tlak pro první operaci lze určit také z grafů. Příklad grafu je možné vidět na obr. 3.9 [10].



Obr. 3.9 Diagram pro zjišťování měrného tlaku přidržovače pro první tah [10]

### 3.6 Tažná vůle a rychlost

Tažnou vůli nutno definovat jako vzdálenost mezi tažníkem a tažnicí. Tloušťka plechu při tažení není konstantní. Změna tloušťky plechu je ovlivněna mnoha činiteli, např. druhem a stavem materiálu, tažným poloměrem, přidržovacím tlakem, rychlostí tažení, mazáním, atd.

#### 3.6.1 Tažná vůle

Velká tažná mezera způsobuje zvlnění příruby a menší tažná mezera zvětšuje tažnou sílu a hrozí utržení dna. Pokud je zvolena správně tažná mezera, je nutné snížit tření mezi materiálem a hranou tažnice. Tažnou vůli je možné určit podle tloušťky plechu dle tabulky 3.2 [8].

Tab. 3.2 Tažná vůle při tažení plechu [8]

Tloušťka plechu [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Tažná vůle [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

Dle normy ČSN lze hodnotu tažné mezery získat vztahem:

- V první tažné operaci

$$t_m = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 \quad (3.19)$$

kde:  $t$  [mm] – tloušťka plechu

- V dalších tažných operacích

$$t_m = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 \quad (3.20)$$

Při tažení nerotačních výtažků se tažná mezera na přímých úsecích výtažku volí přibližně stejná nebo mírně nižší než u rotačních výtažků. V rohových oblastech se volí větší až o 50 %, protože zesílení materiálu je zde intenzivnější [6][10].

### 3.6.2 Tažná rychlost

Rychlost tažné operace závisí na době trvání jednoho pracovního zdvihu lisu. Při běžném tažení nesmí tažná rychlost překročit určitou hranici, aby nedošlo k porušení výtažku. Tažná rychlost je pro každý materiál jiná. Pro vybrané oceli tažnou rychlost uvádí tabulka 3.3. [8]

Tab. 3.3 Doporučené rychlosti tažení ocelí klasickými tažidly [8]

Tažená ocel	Tažná rychlost [m . min <sup>-1</sup> ]
austenitická korozivzdorná	7
nelegovaná	17

Při tažení je největší tažná rychlost v okamžiku dosednutí tažníku na materiál, naopak nejmenší je v okamžiku skončení samotného tažení. V praxi se pro výpočet tažné rychlosti uvažuje ta nejvyšší rychlost tažení v okamžiku dosednutí tažníku na materiál.

$$v \cong 0,006 \ 3n \cdot \sqrt{z \cdot p - p^2} \quad (3.21)$$

kde:  $n$  [m . min<sup>-1</sup>] – počet otáček lisu  
 $z$  [mm] – celkový zdvih beranu lisu  
 $p$  [mm] – pracovní pohyb tažníku [8]

### 3.7 Tažný poloměr

Na kvalitu tažení má zásadní vliv poloměr zaoblení tažnice, poloměr zaoblení tažníku a velikost tažné mezery (vůle).

#### 3.7.1 Tažný poloměr – zaoblení hrany tažnice

Tažným poloměrem nazýváme velikost zaoblení hrany tažnice  $R_{tu}$ , přes kterou je kov tažen. Jeho velikost ovlivňuje tažnou operaci. Pokud je malý tažný poloměr, kov se trhá, avšak při velkém tažném poloměru se zvlní okraj přístřihu. Velikost tažného poloměru nabývá hodnoty od 4 do 10 násobku tloušťky tažného materiálu. Nižší hodnoty se volí u výtažku, které se již nebudou upravovat a u kterých je vyžadován nezvlněný okraj. Naopak vyšší hodnoty tažného poloměru se volí pro větší redukce, aby se snížilo namáhání kovu při tažení [6][8][11].

- Velikost tažného poloměru pro ocelové plechy lze určit vztahem:

$$R_{tu} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s_0} \text{ [mm]} \quad (3.22)$$

kde:  $D_0$  [mm] – průměr přístříhu  
 $d$  [mm] – průměr tažníku  
 $s_0$  [mm] – tloušťka tažného materiálu

Dle normy ČSN 22 7301 pro jednooperační tažení je  $R_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot s_0$ .

### 3.7.2 Tažný poloměr zaoblení funkční hrany tažníku

Tažný poloměr zaoblení funkční hrany tažníku  $R_{te}$  je v prvním a předposledním tahu stejný jako poloměr tažnice, z čehož vyplývá  $R_{tu} = R_{te}$ . Pro poslední tah jsou zavedeny minimální hodnoty  $R_{tu}$ , které jsou uvedeny v tab. 3.4.

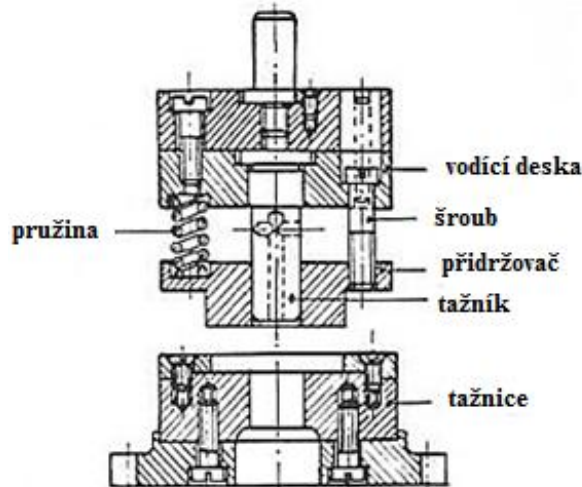
Tab. 3.4 Minimální hodnoty  $R_{tu}$  [6]

Průměr výtažku [mm]	10 až 100	100 až 200	200 a více
$R_{tu}$ [mm]	$(3 \text{ až } 4) \cdot s_0$	$(4 \text{ až } 5) \cdot s_0$	$(5 \text{ až } 7) \cdot s_0$

Pokud se vyžadují jiné minimální hodnoty  $R_{tu}$ , než je uvedeno v tab. 3.4, nutnost zavést další kalibrační operaci, při které bude zmenšována hodnota  $R_{tu}$ , avšak průměr výtažku zůstane nezměněn [6].

### 3.8 Tažný nástroj

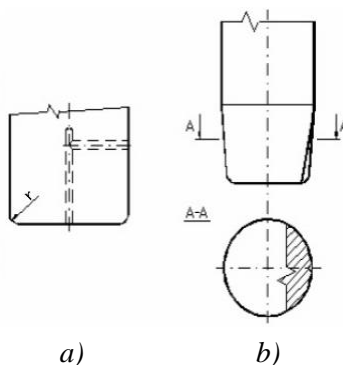
Hlavními částmi celého tažného nástroje je tažník a tažnice, pokud je tažena součást s přírubou, je nutný přídržovač. Tažné nástroje jsou rozdělovány podle charakteru vykonávané operace na tažné nástroje pro první tah a pro další tahy. V obou skupinách se vyskytují tažné nástroje jednoduché, postupové a sdružené. Podle druhu lisu se rozeznávají tažné nástroje pro jednočinné, dvojčinné a trojčinné lisy nebo postupové lisy. Podle druhu a typu přídržovače se tažné nástroje dělí na nástroje bez přídržovače a nástroje s přídržovačem, a to pružinovým, pryžovým, pneumatickým, hydraulickým [10].



Obr. 3.10 Tažný nástroj [10]

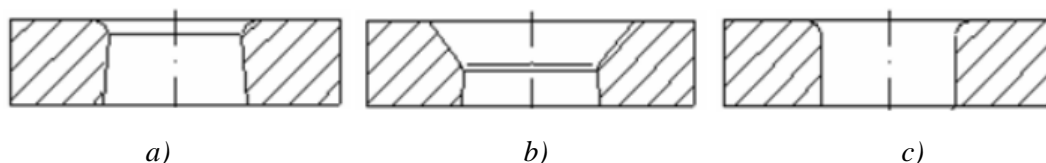
Tažný nástroj (obr. 3.10) je konstruován tak, že tažník je v jeho horní polovině a tažnice ve spodní [5].

U tažníku je velmi důležitý přívod vzduchu do prostoru mezi výtažkem a tažníkem, proto aby bylo možné výtažek lépe uvolnit, obr. 3.11 a). Avšak pokud není možné provést odvzdušnění z důvodu zeslabení stěny, na tažníku se vytvoří zavzdušňovací rýha, obr. 3.11 b) [12].



Obr. 3. 11 Způsoby odvzdušňování výtažku a) běžné provedení, b) tažník pro tažení se zeslabením stěny [12]

Funkční otvor tažnice lze provést různými způsoby a závisí na druhu výtažku a způsobu jeho odstranění z tažnice. Na obr. 3.12 jsou zobrazeny tři vybrané tažnice.



Obr. 3.12 Tvarové provedení tažnic a) výtažek se vrací nad tažnici a poté je setřen z tažníku, b) výtažek se vrací nad tažnici, c) výtažek propadá pod nástroj[9]

Pro hluboké tažení jsou nejvíce používány mechanické a hydraulické lisy. Podle konstrukce se lisy rozdělují na jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové. Na obr. 3.13 je ukázka hlubokotažných lisů od firmy Presshydraulika, s.r.o.



Obr. 3.13 Hlubokotažné lisy firmy Presshydraulika, s.r.o. [13]

### 3.9 Technologické zásady a mazání

Z hlediska technologie je nutné dodržovat určité zásady. Tyto zásady jsou následující:

- Výška výtažku by měla být co nejmenší,
- upřednostňovat výtažky rotačního tvaru s rovným dnem,
- rohy hranatých výtažků velmi zaoblit,

- příruby na výtažku použít jen v nevyhnutelných případech,
- tolerovat rozměry tak, aby se výtažky již nemusely kalibrovat,
- volit materiál s dobrými vlastnostmi [10].

Ke snížení tření, tudíž i tažné síly, a ke zlepšení kvality povrchu se používá mazání. Avšak celý přístřih se nemaže. Ze strany tažníku je výhodné mít tření co nejvyšší, ale ze strany tažnice je potřeba tření co nejvíce snížit. Mezi přidržovačem a materiálem je nutné dostatečně mazat. Prostředky, které se používají pro mazání, nesmí poškodit povrch nástroje a výrobku. Mazivo musí lehce přilnout a vytvořit rovnoměrnou vrstvu [10].

Maziva lze rozdělit na maziva tuhá, konzistenční a kapalná. Mezi tuhá maziva patří grafit a mastek, jejich vlastností je nepatrná tvrdost, malá smyková pevnost a velká afinita ke kovům. Mezi maziva konzistenční se řadí mazací tuky, které se dělí na živočišné a rostlinné, vyráběné z olejů a mýdel, na rozpustné a nerozpustné ve vodě, ve formě past. Za kapalná maziva lze považovat oleje minerální, organické a zušlechtilé, vyrobené synteticky. Minerální oleje nejsou pro tažení vhodné. Organické mají výborné mazací schopnosti, ale jsou finančně náročné. Syntetické oleje jsou nejpoužívanější. Další maziva, která patří do kapalných maziv jsou olejová emulze, mýdlová emulze a tuková emulze. Oleje jsou využívány pro méně nenáročná tažení a snadno se nanáší štětcem nebo stříkací pistolí, avšak nutnost je je odmašťovat. Olejové emulze mají chladivý účinek a odstranit je není náročné. Mýdlové emulze jsou především roztoky draselných a sodných mýdel a na polotovary se nanáší máčením. Mýdlové emulze mají snadné očištění a chladivý účinek. Tukové emulze lze rozpustit ve vodě, které obsahují malé množství minerálních olejů, větší množství emulgátorů, tuků a volných mastných kyselin. Tukové emulze jsou využívány u nenáročných tažení. Vybrané oleje a kapaliny pro tváření představuje tab. 3.5 [14].

Tab. 3.5 Vybraná maziva pro tváření [14]

Výrobek	hustota při 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	bod vzplanutí [°C]	vzhled	oblast použití
MARTOL 50	960	170	žlutá kapalina	Tažení a řezání ušlechtilých ocelí o tloušťce 1.5 mm. Vhodné pro prostřihování.
MARTOL 75	883	173	průhledná kapalina	Řezání a tažení obalů určených pro potravinářský průmysl. Neobsahuje chlor. Obsah popela 0%.
MARTOL 100	943	210	průhledná kapalina	Řezání a tažení součástí pro automobilový průmysl. Neobsahuje chlor.
MARTOL 120	1170	220	průhledná kapalina	Tažení a ohýbání ocelí a hliníkových slitin. Ražení spojovacího materiálu za studena.
MARTOL 215	978	220	průhledná kapalina	Hluboké tažení legovaných a nerezavějících ocelí o tloušťce do 5 mm, řezání ocelových plechů o tloušťce 8 mm.
MARTOL 400	954	220	tmavě kaštanová kapalina	Velmi obtížné tváření a tažení plechů ze železných kovů a hliníkových slitin. Tloušťka výstřiku 7 mm. Neobsahuje chlor.
MARTOL 1000	1430	200	žlutá kapalina	Tváření a velmi intenzivní tažení ocelí a nerezavějících kovů o tloušťce 7 mm.
MARTOL EV	775	62	průhledná kapalina	Suchý extrakt 0,5 %. Tvarování a řezání všech kovů. Pro díly pěkného vzhledu, nebo tepelně zpracované. Neobsahují chlor.

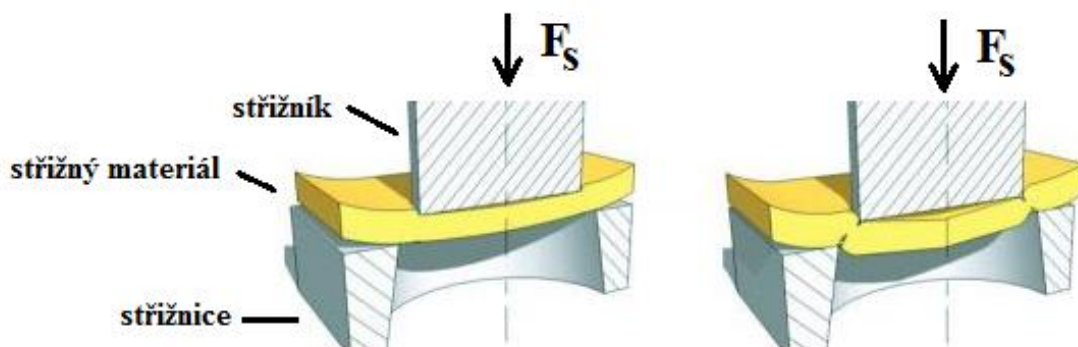
## 4 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

Stříhání je proces, při němž dochází k oddělování částic materiálu nástroji podél křivky stříhu, kterou tvoří obvod výstřížku, střížníku nebo střížnice. Stříháním se nezhotovují z plechu jen hotové výrobky, ale i různé polotovary pro další zpracování. Zejména se jedná o přístříhy plechu určené k tažení. Podstatou stříhání je oddělování materiálu protilehlými noži. Dle procesu lze technologii členit na stříhání za tepla a za studena. Podle použité konstrukce střížníku a střížnice lze proces stříhání kategorizovat na stříhání rovnoběžnými, skloněnými, kotoučovými noži a dalšími.

Přehled názvosloví a základních střížných operací je uveden např. v normě ČSN 22 6001. Tato norma klasifikuje střížné operace na prosté stříhání, vystříhování, děrování, prostříhování, prosekávání, ostříhování, přístříhování, vysekávání nebo přesné stříhání [15].

### 4.1 Proces stříhání

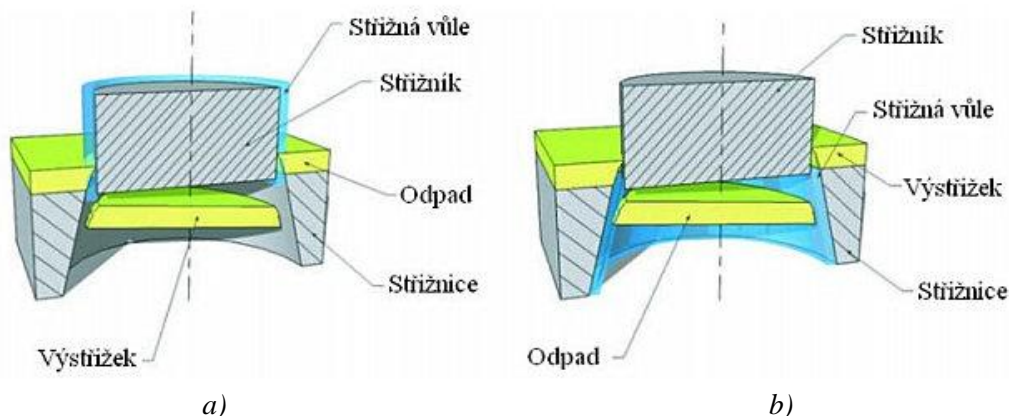
Stříhání materiálu za pomoci střížného nástroje lze rozdělit do tří základních fází. Celý proces stříhání začíná dosednutím střížného nástroje na stříhaný materiál. V první fázi dochází k pružné deformaci, materiál se stlačuje. Hloubka vniku střížníku závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá 5 až 8 % jeho tloušťky. V rovinách, kolmých ke střížným plochám, dochází ke vzniku silových dvojic a stříhaný materiál deformují ohybem. Druhá fáze je oblast plastických deformací, napětí větší než mez kluzu stříhaného materiálu, kdy se střížník vtlačuje do plechu a plech do otvoru střížnice. Hloubka vniku střížníku bývá 10 až 25 % tloušťky materiálu. První dvě fáze jsou zobrazeny na obr. 4.1. Ve třetí fázi je materiál namáhán na mez pevnosti ve stříhu a dochází ke vzniku mikrotrhlin a následně makroskopických trhlin. Vzniklé trhliny se rychle prodlužují, až dojde k oddělení materiálu. Průběh stříhu je závislý na velikosti střížné vůle, která má výrazný vliv na kvalitu stříhu. Stříhání křehkých a tvrdých materiálů je téměř okamžitý, avšak u měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku nástřihu a iniciaci trhlin pomaleji [15].



Obr. 4.1 Fáze průběhu stříhání [15]

### 4.2 Střížná vůle

Velikost střížné vůle má rozhodující vliv na kvalitu a jakost střížné plochy, životnost nástroje a spotřebu energie. Střížná vůle je rozdíl rozměrů částí střížníku a střížnice. Jednostranný rozdíl ( $v/2$ ) vytváří střížnou mezeru ( $z$ ). Velikost střížné vůle se určuje na úkor střížníku nebo střížnice vzhledem k požadovanému rozměru finálního výstřížku. V případě děrování přesného otvoru se volí střížná mezera zvětšením rozměrů střížnice na úkor střížnice. Avšak při stříhání přesného vnějšího obvodu se volí střížná vůle na úkor střížníku. Volbu střížné mezery zobrazuje obr. 4.2 [9][15].



Obr. 4.2 Znáornění střížné vůle pro a) vystřihování, b) děrování [15]

Střížná vůle lze určit vztahem:

$$v = 2 \cdot z \text{ [mm]} \quad (4.1)$$

kde:  $z$  [mm] – střížná mezera  
 $v$  [mm] – střížná vůle  
 $t$  [mm] – tloušťka plechu

V případě tenkých plechů do tloušťky 3 mm je střížná mezera vypočtena dle vztahu:

$$z = c_p \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

kde:  $c_p$  [-] – koeficient pro přesné stříhání ( $c_p = 0,0007$ )  
 $t$  [mm] – tloušťka plechu  
 $\tau_{ps}$  [MPa] – pevnost ve stříhu

V případě plechů nad tloušťku 3 mm určuje střížnou mezeru vztah (4.3).

$$z = (1,5 \cdot c_{ps} \cdot t - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \text{ [mm]} \quad (4.3)$$

V praxi se střížná vůle určuje jako 0,5 % z tloušťky materiálu. Na velikost střížné vůle v závislosti na tloušťce plechu poukazuje tab. 4.1.

Tab. 4.1 Velikost střížné vůle v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu [15]

Materiál	Střížná vůle [%] $s_0$	
	do tloušťky plechu 2,5 mm	tloušťka plechu 2,5 – 6 mm
ocel měkká	5	7 - 8
ocel středně tvrdá	6	6 - 8
ocel tvrdá	7 - 9	7 - 10

### 4.3 Střížná síla a práce

Stříhající síla vzniká působením střížných dvojic. Střížná síla ovlivňuje návrh nástrojů a volbu stroje. Při reálných střížných podmínkách nedochází k čistému smyku, ale namáhání jsou kombinovaná. Z tohoto důvodu se síla uvažuje o 20 až 50 % větší [15].

#### 4.3.1 Střížná síla

Střížná síla je síla, která je nutná k oddělení materiálu stříháním. Je přímo úměrná střížnému obvodu a pevnosti ve stříhu, udává ji vztah (4.4).

$$F_s = \tau_{ps} \cdot l \cdot t \text{ [N]} \quad (4.4)$$

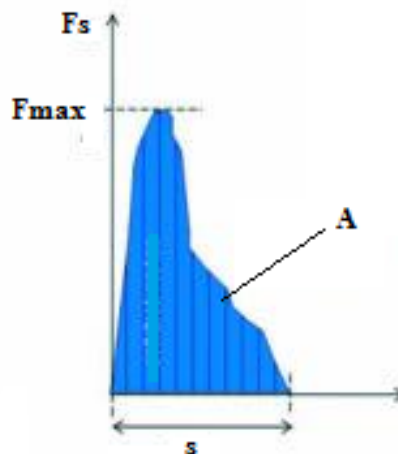
kde:  $l$  [mm] – délka křivky stříhu  
 $t$  [mm] – tloušťka plechu  
 $\tau_{ps}$  [MPa] – pevnost ve stříhu

#### 4.3.2 Střížná práce

Práce při stříhu je součin síly a dráhy. Stříh je ukončen při vniknutí střížníku do hloubky 10 až 60 % tloušťky materiálu. Pro zjednodušení se udává maximální hodnota pomocí vztahu (4.5).

$$A = F_s \cdot \frac{t}{1000} \cdot 0,6 \text{ [J]} \quad (4.5)$$

Velikost střížné práce udává plocha vytčená pod silovou křivkou (obr. 4.3) [15].



Obr. 4.3 Střížná práce [15]

### 4.4 Jakost povrchu při stříhání

Přesnost součástí vyrobených stříháním závisí na mnoha faktorech, např. přesnost zhotovení střížníku a střížnice, druh a stav nástroje, vlastnosti materiálu, takt stroje a další. Doporučená kvalita povrchu pro tloušťky do 1 mm se pohybuje v rozmezí Ra 0,8 až 0,4. Pro materiály o větších tloušťkách se kvalita pohybuje v rozmezí Ra 3,2 až 1,6. Výrobní tolerance IT jsou uvedeny v tab. 4.2 [9][15].

Tab. 4.2 Závislost přesnosti vystřihovaného povrchu na přesnosti nástroje [15]

<b>Výrobní tolerance IT vystřihovaného výrobku</b>	8 - 9	10	11	12	13	14	15
<b>Výrobní tolerance IT střížníku a střížnice</b>	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	10	11	12

#### 4.5 Technologičnost konstrukce

Předpoklad pro dokonalý technologický postup a maximální hospodárnost je správná volba technologické konstrukce výstřížku:

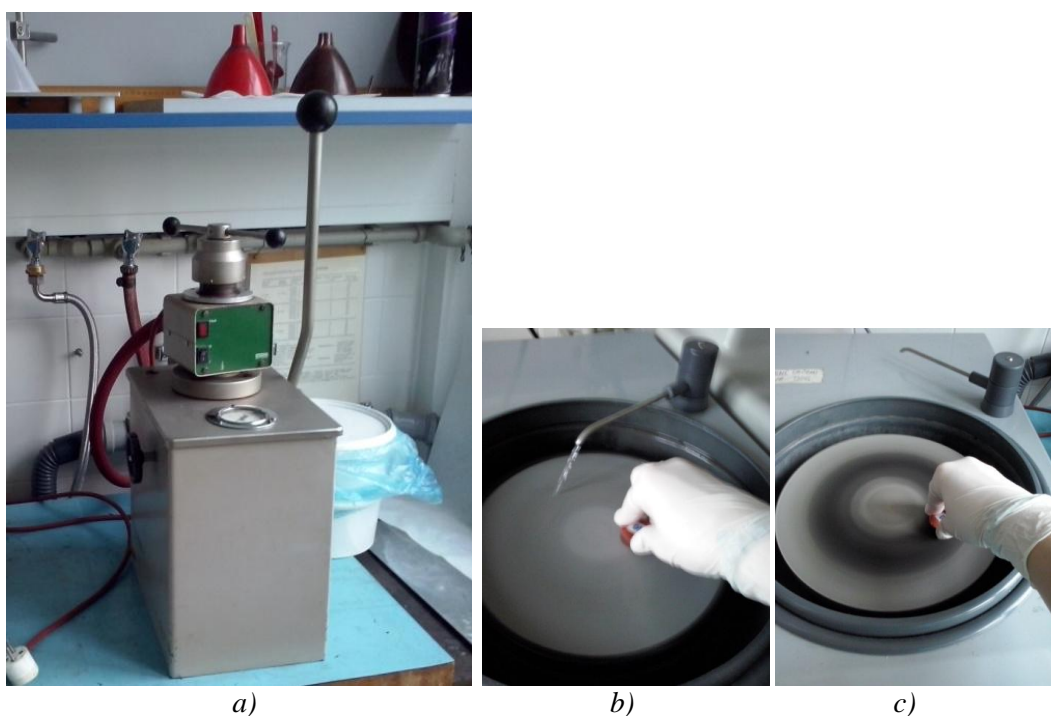
- Navrhovat optimální nástřihové plány
- vhodně volit rozměrové tolerance
- nepředepisovat rovinnost výstřížku
- nepředepisovat kolmost střížné plochy
- dávat přednost kruhovým otvorům
- vhodně volit vzdálenost mezi otvory a dbát na možnost stříhu min. otvorů [15].

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ METODIKA A ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola popisuje konkrétní postupy experimentální části, mechanické a technologické zkoušky spolu s použitými zařízeními.

### 5.1 Zhotovení metalografického výbrusu

Aby bylo možné pozorovat materiál pod světelným nebo rastrovacím elektronovým mikroskopem, je nutné jej upravit do podoby metalografických preparátů. Prvním krokem výroby metalografického výbrusu je pečlivé odebrání vzorku, které je důležité pro objektivní posouzení struktury výrobku. Vzorky byly odebrány z dodaných pásů plechů pomocí dílenských nůžek. Velikost vzorků je dána způsobem přípravy výbrusu a také použitím mikroskopu. Vzorky byly zalisovány do lisovacího měděného prášku od firmy Leco Corporation, na poloautomatickém zalisovacím přístroji s řízenou teplotou ohřevu a ručně korigovanou přitlačnou silou 25 kN (obr. 5.1 a). Zalisování probíhalo po dobu 6 minut na teplotě 180 °C s následným vodním chlazením po dobu 3 minut. Jedním z nejdůležitějších kroků je vhodné označení vzorků. Zalisované vzorky se brousily a leštily na manuálním přístroji Saphir 330 s intenzivním odvodem tepla pomocí chladicí kapaliny na brusných papírech s odstupňovanou zrnitostí 600, 1200, 2500 v intervalu 3 minut a rychlostí 300 ot/min (obr. 5.1 b). Po každém intervalu broušení bylo provedeno opláchnutí vzorku vodou a vysušení stlačeným vzduchem. Po broušení byl vzorek leštěn pomocí 3 $\mu$ m a 1 $\mu$ m diamantové pasty s použitím lihového smáčedla po dobu 3 minut (obr. 5.1 c). Finální úpravou vzorků bylo mechanicko-chemické leštění pomocí chemikálií OP-S na přístroji Vibromet po dobu 12 hodin.



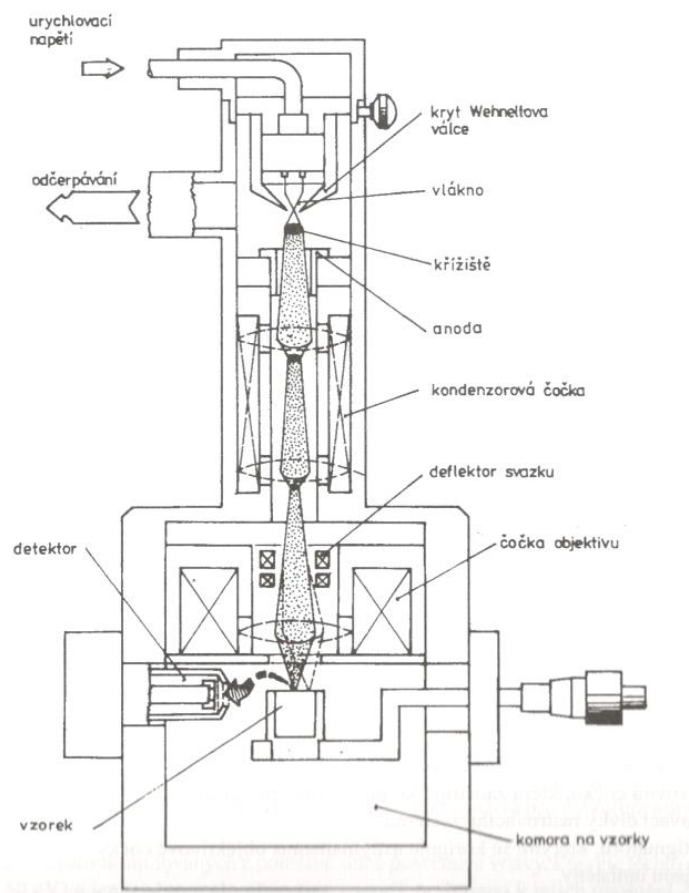
Obr. 5.1 a) poloautomatický zalisovací přístroj, b) průběh broušení, c) průběh leštění

### 5.2 Pozorování na rastrovacím elektronovém mikroskopu

Samotná světelná mikroskopie (SM) je v dnešní době nedostačující nástroj, proto je s výhodou využívání rastrovací (řádkovací) elektronové mikroskopie (REM, SEM), která je používána přibližně od roku 1965. Tato metoda byla vyvinuta jako doplněk světelné

mikroskopie pro pozorování masivních, neprozařitelných vzorků. Metoda dosahuje vysoké rozlišovací schopnosti, velkého zvětšení a velké hloubky ostrosti. Není nutné speciálně připravovat preparát a jeho rozměr může být relativně velký. K pozorování na REM postačí vzorky pro SM, příprava těchto vzorků je totožná. Pouze u nevodivých materiálů je nutné vzorky nauhličit nebo napařit kov, v opačném případě by došlo k hromadění náboje na povrchu vzorku a nebylo by možné pořídit obraz. Vytvoření obrazu je založeno na interakci primárního svazku elektronů, generovaného z Wöhneltova válce s povrchem materiálu. Během tohoto procesu dochází k vytvoření kvant sekundárních (SE) nebo zpětně odražených elektronů (BSE), které jsou zachycovány vhodným detektorem v těsné blízkosti vzorků. Kondenzovaný tenký svazek elektronů je ostře fokusovaný na povrch vzorku. Aby svazek „řádkoval“ a bod po bodu registroval údaje z povrchu preparátu, jsou zde vychylovací cívkky. Schematicky je REM zobrazen na obr. 5.2.

K pozorování zhotovených výbrusů s povrchového reliéfu dodaných plechů byl použit rastrovací elektronový mikroskop TESCAN LYRA 3 XMU na UFM AV ČR [7].



Obr. 5.2 Řez rastrovacím elektronovým mikroskopem JSM – 25 S [7]

### 5.3 Tahová zkouška

Tahová zkouška je zkouška statická a lze ji popsat jakou zkoušku pevnosti. Zkoušku tahem pro kovové materiály za okolní teploty určuje norma ČSN EN 10002-1. Zkouškou tahem hladkých zkušebních těles se experimentálně určuje závislost napětí-deformace. Zkušební těleso je nutné uchytit do čelistí zkušebního stroje a na těleso nasadit průtahoměr. Celý průběh se zaznamenává a do počítače ukládá závislost působící síly  $F$  (zatížení snímané dynamometrem) na prodloužení zkušební tyče (snímané průtahoměrem, případně určené z pohybu příčnicku zkušebního stroje) [7][6].

- Smluvní diagram napětí – deformace

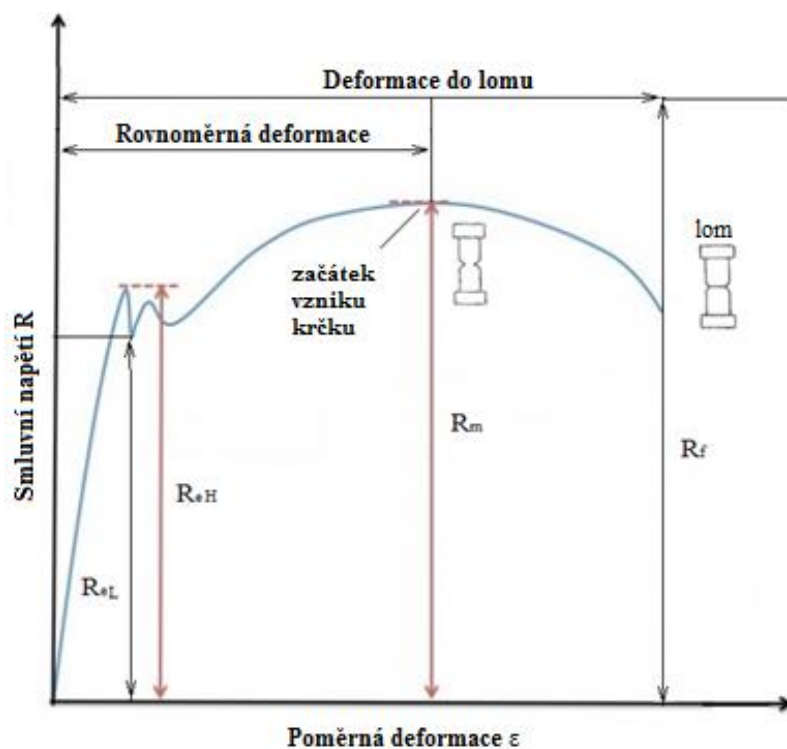
Závislosti síla – prodloužení, získané na zkušebních tělesech, zhotovených z jednoho materiálu, lze přepočítat na jedinou závislost smluvní napětí – poměrná deformace dle vztahů

Smluvní napětí 
$$R = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (5.1)$$

Poměrná deformace 
$$\varepsilon = \frac{(L-L_0)}{L_0} \text{ [-]}, \varepsilon = 100 \cdot \frac{(L-L_0)}{L_0} \text{ [%]} \quad (5.2)$$

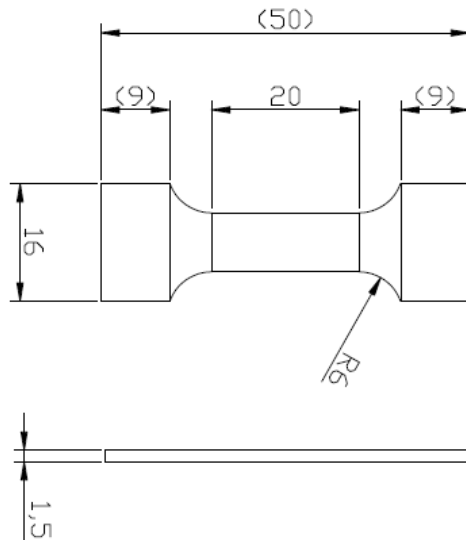
kde:  $S_0$  [mm] – výchozí průřez zkušebního tělesa  
 $L_0$  [mm] – výchozí měrná délka zkušebního tělesa  
 $(L - L_0)$  – přírůstek délky  $L_0$ , označován  $\Delta L$

Smluvní diagram s výraznou mezí kluzu je uveden na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Smluvní diagram (napětí-deformace) [7]

Počátek diagramu je přímkový, znázorňuje elastickou deformaci. V případě snímání snímačem umístěným na zkušebním tělese, lze přímku popsat jako Hookův zákon  $\sigma = E\varepsilon$ , kde  $\sigma$  je normálové napětí a  $E$  je modul pružnosti v tahu materiálu zkušební tyče. V diagramu je patrná výrazná mez kluzu, horní a dolní. V praxi se určuje dvě napětíové materiálové charakteristiky, smluvní mez pevnosti a mez kluzu, na základě průběhu závislosti smluvní napětí – poměrná deformace. Výkres zkoušené tyče při tahové zkoušce je uveden na obr. 5.4.



Obr. 5.4 Zkušební vzorek pro tahovou zkoušku

- Určení smluvní meze pevnosti

Mez pevnosti  $R_m$  je maximální napětí dosažené ve smluvním diagramu napětí – deformace, což je poměr hodnot maximální síly dosažené při zkoušce a výchozím průřezu zkušební tělesa dle vztahu 5.3.

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (5.3)$$

kde:  $S_0$  [mm] – výchozí průřez zkušební tělesa  
 $F_{max}$  [N] – maximální zatěžovací síla

U tvárných materiálů je mez pevnosti dána hodnotou smluvního napětí, při němž se začíná vytvářet na zkušebním tělese krček. Na obr. 5.3 k lomu tělesa dojde při smluvním napětí  $R_f$  (lomové napětí až po vzniku krčku). Pokud k porušení dojde po malé nebo plastické deformaci, pak hodnota  $R_m$  odpovídá napětí v okamžiku lomu  $R_f$ , což je lomové napětí.

- Určení meze kluzu

Mez kluzu je napětí, při kterém vzniká první plastická deformace. Na obr. 5.3 lze za mez kluzu považovat odklon diagramu od přímky. Takto zjištěná hodnota meze kluzu by však byla závislá na citlivosti snímače prodloužení. Proto je zavedena smluvní mez kluzu  $R_{p0,2}$ . Toto napětí vyvolává plastickou (trvalou) deformaci o velikosti  $\epsilon_p = 0,002$  (0,2 %).

Uvolnění a vznik nových dislokací se v diagramu napětí – deformace projeví výraznou nespojitostí v oblasti přechodu z elastické do elasticko – plastické deformace, která se v diagramu označuje pojmem výrazná mez kluzu  $R_e$ . U nízkouhlíkových vyžíhaných ocelí je uchycení dislokací velice silné a proces vzniku je výrazně různorodý. Plastická deformace se projevuje charakteristickým tvarem tahového diagramu v oblasti meze kluzu. Výrazným poklesem napětí v diagramu na konci přímkové části, který je spojen s rozšířením plastické deformace v úzkém pásu přes celý nosný průřez zkušební tyče

a je označován jako horní mez kluzu  $R_{eH}$ . Z hodnoty  $R_{eH}$  dochází k poklesu na dolní mez kluzu  $R_{eL}$ . U napětí dolní meze kluzu se skluzové pásy postupně rozšiřují po celé délce zkušební tělesa.

- Určování deformačních charakteristik

Na základě rozměrů zkušební tyče před a po zkoušce se určují další dvě charakteristiky A a Z. Jedná se o deformační charakteristiky tažnost A [%] a zúžení Z [%]. Před zkouškou se označí vzdálenost  $L_0$  na rovnoměrné části zkušební tyče. Po přetržení je nutné zkušební tyče přiložit těsně k sobě lomovými plochami a změřit vzdálenost délky tyče po přetržení  $L_u$  a výchozí průřez tyče  $S_0$  v místě lomu. Potom lze deformační charakteristiky vypočítat ze vztahů 5.4 a 5.5.

$$A = 100 \cdot \frac{(L_u - L_0)}{L_0} [\%] \quad (5.4)$$

$$Z = 100 \cdot \frac{(S_0 - S_u)}{S_0} [\%] \quad (5.5)$$

Dopočítané hodnoty A a Z se zjišťují z přetržených těles, proto materiálové charakteristiky souvisí pouze s plastickou deformací zkoušeného materiálu. K největším prodloužením dochází v oblasti krčku, který závisí na průřezu zkušební tyče [7].

Tahová zkouška probíhala na trhacím stroji firmy MTS na ústavu fyziky materiálu AV ČR, v. v. i (obr. 5.5).



a)

b)

Obr. 5.5 a) Zkušební zařízení, b) upnutí zkušebního vzorku

## 5.4 Měření mikrotvrdomosti dle Vickerse

Zkouška tvrdosti je rychlá, levná a snadno reprodukovatelná zkouška, pomocí které lze odhadnout mechanické vlastnosti materiálu. Principem zkoušky je vtlačování indentoru

(vnikajícího tělíska) danou silou do vzorku materiálu. Tvrдость lze určit dvěma způsoby. První je využíván především na kovové a keramické materiály, kdy je indentor vtlačěn do materiálu a způsobí plastickou deformaci. Druhý způsob je dán elastickou interakcí povrchu materiálu a zkušebního tělíska, který je v dnešní době používán pro hodnocení pryží a plastů.

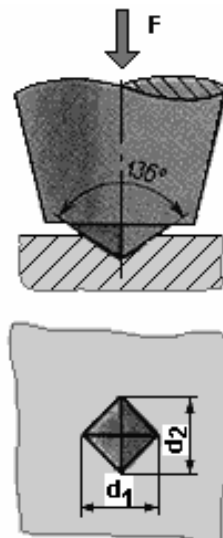
Zkouška tvrdosti dle Vickerse je dána normou ČSN 42 0374 nebo normou ČSN EN ISO 6507-1 [16]. Vnikající tělíska (indentor) je tvaru jehlanu o čtvercové základně a vrcholovém úhlu  $136^\circ$  tak, jak je možné vidět na obr. 5.6. Číslo tvrdosti dle Vickerse je označováno zkratkou HV a je definováno jako poměr zátěžné síly, v jednotkách používaných před zavedením soustavy SI ( $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$ ), a plochy vtisku. Po zavedení SI bylo rozhodnuto, že tvrdost bude uváděna i nadále jako bezrozměrné číslo. Hodnota tvrdosti podle Vickerse se určí ze vztahu (5.6).

$$HV = 1,854 \cdot \left(\frac{F}{d^2}\right) [\text{kp/mm}^2] \quad (5.6)$$

kde:  $F$  [N] – vlačovací síla  
 $d$  [mm] – úhlopříčka vtisku

V praxi je možné použít tabulek, kde podle délky úhlopříčky  $d$  a použité síly  $F$  je uvedena odpovídající tvrdost.

Tato metoda je velmi přesná a lze použít pro všechny tvrdosti. Výhodou je, že tuto metodu lze použít již při malých zatíženích ( $1 \text{ až } 10^{-3}$  N [16]). Tyto zkoušky se označují termínem mikrotvrдость, protože je měření možné provádět i při velice malých zatíženích ( $1 \text{ až } 10^{-3}$  N). Nízké síly mají za následek velmi malé vtisky, které se obtížněji měří. Zkoušený povrch musí být velmi dobře upraven (jako metalografický výbrus). Lze jej použít pro homogenní (válcované, tvářené) materiály a materiály s vyšší tvrdostí [7] [17].



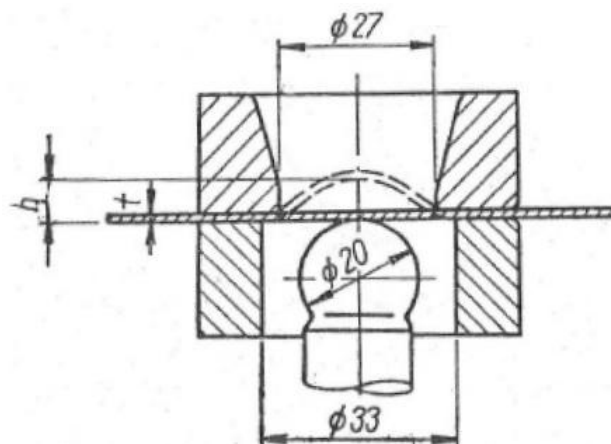
Obr. 5.6 Zkouška tvrdosti podle Vickerse [17]

## 5.5 Zkouška hlubokotažnosti dle Erichsena

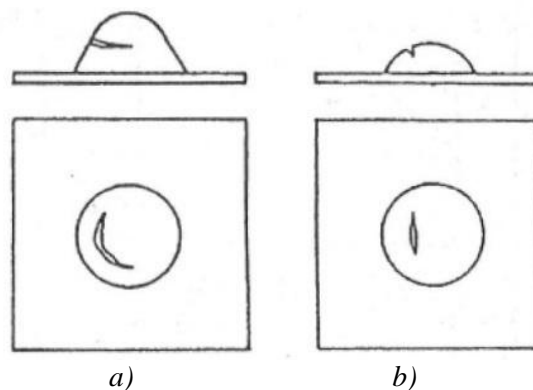
K technologickému posouzení vhodnosti tenkých plechů pro hluboký tah slouží zkouška hlubokotažnosti dle Erichsena, jejíž provedení a vyhodnocení se řídí normou ČSN 42 0406. Princip spočívá v upnutí zkušebního vzorku plechu mezi přidržovač

a tažnici. Tažník má tvar koule o průměru 20 mm a je rovnoměrně posouván hydraulicky nebo ručně do středu plechu, kde vytváří prohloubení. Mírou hlubokotažnosti je velikost prohloubení, při kterém dojde k narušení plechu, tj. první trhlin napříč celou tloušťkou zkušebního plechu. Tento rozměr protažení je závislý nejen na materiálu, ale i na tloušťce daného vzorku. Hodnotí se také směr trhlin a drsnost důlku, která je ukazatelem velikosti zrna plechu. Dle směru trhlin je možné posoudit anizotropii mechanických vlastností. Výhodou zkoušky je její jednoduchost, rychlost a nenáročnost přípravy zkušebního vzorku plechu, který má rozměry 90 x 90 mm. Nevýhodou je zase značný rozptyl výsledků v rámci zkoušky jedné jakosti plechu. Při ručním zatěžování jsou výsledky mírně ovlivněny obsluhou zařízení, protože hloubka protažení je závislá na rychlosti a plynulosti posuvu tažníku, což nemusí být při ruční obsluze vždy dodrženo [5][6].

Dle normy ČSN EN ISO 20482 z ledna 2004, aktualizované 1. 6. 2014 je prohloubení plechu označováno parametrem IE [mm] v okamžiku vzniku trhliny, což je index hloubení dle Erichsena [14].



Obr. 5.7 Schéma zkoušky hloubením dle Erichsena (ČSN 42 0406) [5]



Obr. 5.8 Tvar trhliny při Erichsenově zkoušce hloubením

a) typický tvar pro hlubokotažný plech, b) nevhodný tvar k hlubokému tažení [6]

Princip zkoušky hlubokotažnosti zobrazuje obr. 5.7. Správně zvoleným nástrojem pro daný materiál lze dosáhnout prohloubení s trhlinou. Prohloubení, které vznikne Erichsenovou zkouškou, je možné vidět na obr. 5.8. Zobrazuje dva způsoby porušení plechu, kterého lze u zkoušky dosáhnout, tj. trhlin, která se šíří ve tvaru soustředné kružnice, je možné materiál posoudit jako vhodný k hlubokotažení, avšak pokud se trhlin šíří paprskovitě od středu prohloubení, je materiál nevhodný pro hluboký tah.

Erichsenova zkouška byla provedena na zkušebním zařízení Erichsen F-4 na Ústavu strojírenské technologie, Fakulty strojního inženýrství v Brně (obr. 5.9). Poté bylo nutné změřit a stanovit prohloubení IE.



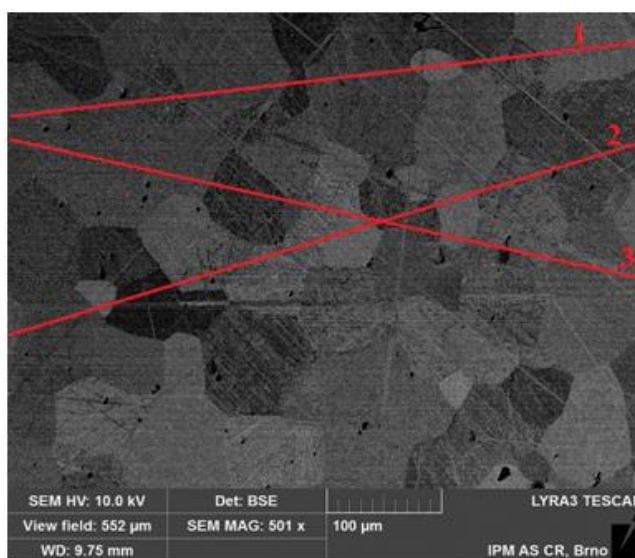
*Obr. 5.9 Zkušební zařízení Erichsen F-4*

## 6 VÝSLEDKY EXPERIMENTU

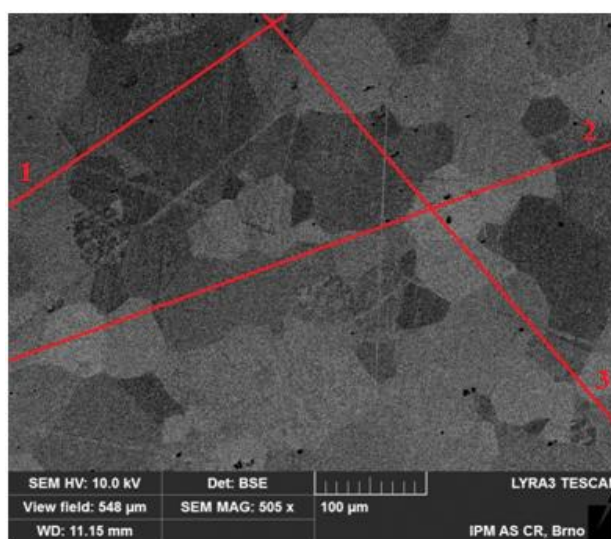
V této kapitole jsou uvedeny vybrané výsledky pozorování, mechanických a technologických zkoušek, které byly provedeny na vzorcích daných šarží (viz. kap. 1.3). Každá zkouška je ohodnocena a výsledky okomentovány.

### 6.1 Vyhodnocení mikrostruktury

Jedním ze zásadních parametrů, určujících vlastnosti daného materiálu, je velikost a morfologie zrna. Ke zjištění velikosti zrna dodaného zkušebního materiálu byla použita lineární průsečíková metoda. Tato metoda je založena na sečtení všech zrn, které protíná úsečka. Úseček je zapotřebí více, aby bylo možné statisticky vyhodnotit velikost zrna. Velikosti úseček se poté sečtou a upraví dle velikosti měřítka daného snímku. Lineární metoda byla aplikována u všech vzorků a výsledky uvádí tab. 6.1. Postup je předveden na obr. 6.1 (vzorek bez vad) a obr. 6.2 (vzorek s největším výskytem vad). Postup výpočtu je ukázán na vztazích (5.7 a 5.8).



Obr. 6.1 Metalografický snímek vzorku 01 vzorek materiálu bez vad



Obr. 6.2 Metalografický snímek vzorku 04 vzorek materiálu s největším výskytem vad

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5.7)$$

kde: L [cm] – součet délek úseček  
 $L_i$  [cm] – délka úsečky zrna

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \quad (5.8)$$

kde: N [cm] – součet protnutých zrn v přímkách  
 $N_i$  [cm] – počet protnutých zrn v jedné přímce

Stanovení počtu zrn metodou lineární – vzorek č. 01 materiál bez vad:

Měřítka 100  $\mu\text{m}$  odpovídá 2,4 cm. Tudíž 1 cm odpovídá 41,7  $\mu\text{m}$ .

$$L = 13,5 \text{ cm} + 14 \text{ cm} + 13,5 \text{ cm} = 41 \text{ cm} = 1\,709,7 \mu\text{m}$$

$$N = 9 + 11 + 10 = 30 \text{ zrn}$$

Velikost 1 zrna je (1 709,7  $\mu\text{m}$  /30 zrn) 56,99  $\mu\text{m}$ .

Stanovení počtu zrn metodou lineární – vzorek č. 04 materiál s největším výskytem vad:

Měřítka 100  $\mu\text{m}$  odpovídá 2,3 cm. Tudíž 1 cm odpovídá 43,5  $\mu\text{m}$ .

$$L = 7 \text{ cm} + 13,5 \text{ cm} + 11,5 \text{ cm} = 32 \text{ cm} = 1392 \mu\text{m}$$

$$N = 5 + 10 + 9 = 24 \text{ zrn}$$

Velikost 1 zrna je (1392  $\mu\text{m}$  /24 zrn) 58,00  $\mu\text{m}$ .

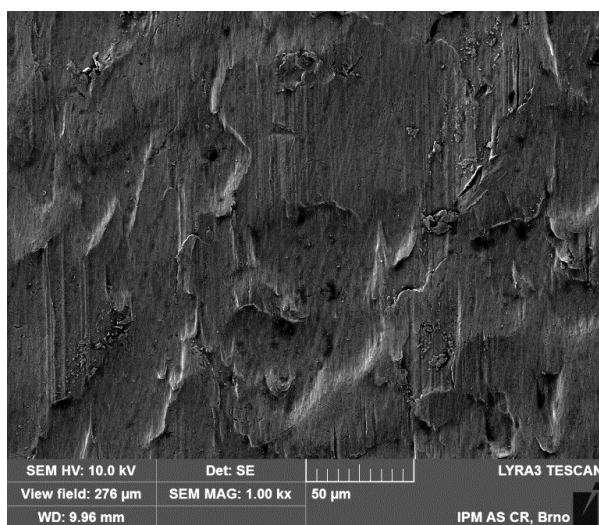
Tab. 6.1 Velikosti zrn

č. vzorku	délka přímek [ $\mu\text{m}$ ]	počet zrn	velikost zrna [ $\mu\text{m}$ ]
00	852,8	14	60,90
01	1709,7	30	56,99
02	1600,0	23	69,60
03	1560,0	28	55,70
04	1392,0	24	58,00
05	1542,9	23	67,10
06	1650,0	25	66,00
07	2640,0	38	69,50
08	1626,3	29	56,10
09	1417,8	25	56,70
10	1683,5	27	62,40
11	1638,0	29	56,50
<b>průměr velikosti zrna</b>			61,29
<b>směrodatná odchylka velikosti zrna</b>			5,21

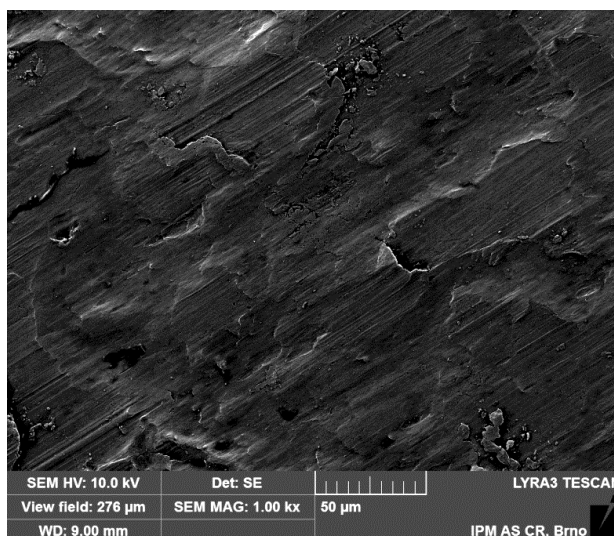
Na základě zkoumání materiálu pomocí REM a výsledných hodnot (tab. 6.1) bylo zjištěno, že struktura zkoumaného materiálu HT179 je tvořena feritickými zrny. Tato zrna mají pravidelný polyedrický tvar se střední velikostí zrna 61,29  $\mu\text{m} \pm 5,21 \mu\text{m}$ . (minimální 55,70  $\mu\text{m}$  a maximální 69,60  $\mu\text{m}$ ). Po hranicích zrn nebylo pozorováno pravidelné uspořádání

částic terciálního cementitu, či jiných fází, které by mohli vést k oslabení hranic a zkřehnutí materiálu. Pouze zřídka byl pozorován výskyt terciálního cementitu.

Na mikroskopu byl také pozorován vzhled povrchu dodaných plechů po broušení, které je konečnou úpravou před samotným tažením airbagových patron. Povrchový reliéf má usměrněný vzhled ve směru broušení s členitostí typickou pro tento typ povrchové úpravy. Drsnost pozorovaných vzorků byla téměř shodná a nebyly pozorovány výrazné odchylky. Na výsledných snímcích lze pozorovat výskyt apriorních trhlin (obr. 6.3 a obr. 6.4), které vznikají v důsledku broušení a mají pouze povrchový charakter. Tyto trhliny nelze brát jako ukazatel zmetkovitosti, protože se vyskytují i na vzorcích bez vad. Lze tedy říci, že apriorní trhliny, které se tvoří během broušení plechu a jejich rozměry jsou v řádech mikrometrů, při monotónním (tvářecím) zatížení nemají výrazný vliv na vznik větších defektů.



Obr. 6.3 Vzhled povrchu vzorku č. 01 po broušení (materiál bez vad)



Obr. 6.4 Vzhled povrchu vzorku č. 02 po broušení (začátek výskytu vad)

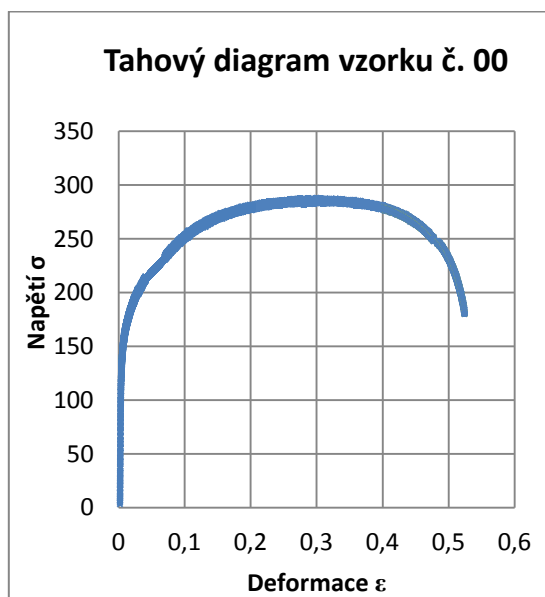
## 6.2 Vyhodnocení mechanických vlastností

Tahová zkouška byla provedena na zkušebních tělesech dle obr. 5.4. Na vybraných vzorcích č. 00 materiál bez vad, č. 05 materiál s největším výskytem vad, č. 06 materiál s menším výskytem vad a č. 09 materiál, u kterého vady při výrobě zcela vymizely. Teplota v

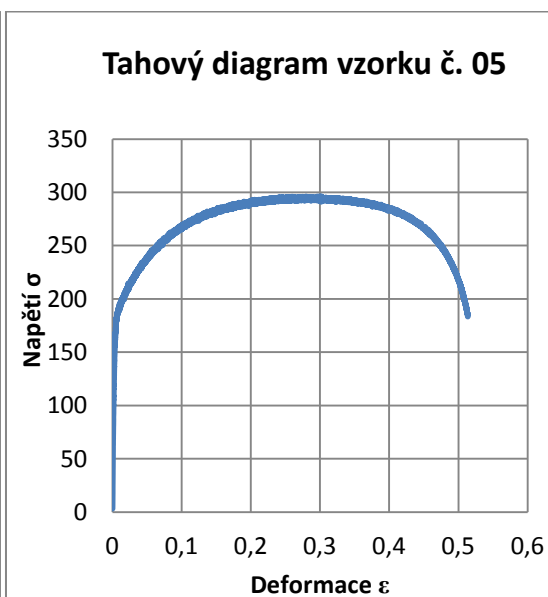
průběhu tahových zkoušek byla  $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Rychlost zatěžování byla zvolena  $0,008\text{mm/s}$ . Průběh měření a naměřené hodnoty jsou dokumentovány v grafech č. 6.1 až č. 6.4. Výsledné hodnoty získané z tahové zkoušky v závislosti síla-prodloužení byly přepočteny na hodnoty napětí versus deformace a jsou zaznamenány v tabulce 6.2.

Tab. 6.2 Výsledné hodnoty mechanických vlastností z tahových zkoušek vzorků

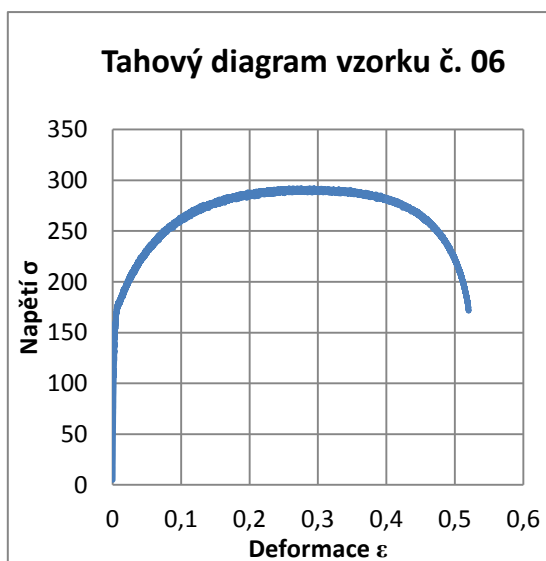
č. vzorku	00	05	06	09
$R_m$ [MPa]	285,644	280,313	292,038	301,902
$R_{p0,2}$ [MPa]	168,467	172,999	175,874	192,241
tažnost A [%]	52,419	51,369	51,884	48,863



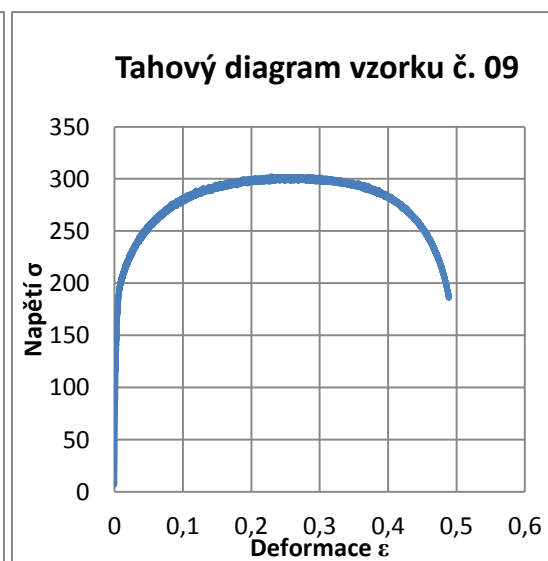
Obr. 6.5 Tahový diagram vzorku č. 00



Obr. 6.6 Tahový diagram vzorku č. 05



Obr. 6.7 Tahový diagram vzorku č. 06



Obr. 6.8 Tahový diagram vzorku č. 09

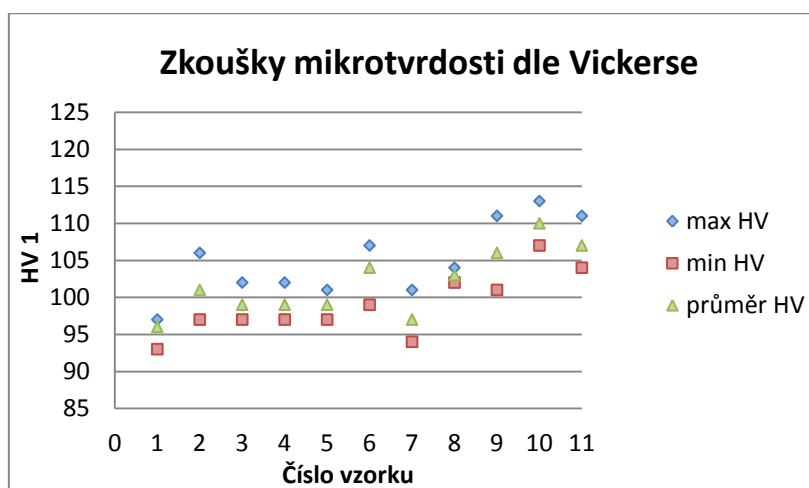
Tahová zkouška prokázala mechanické vlastnosti, které udává dodavatel. To znamená, že hodnoty  $R_m$  i  $R_{p0,2}$  odpovídají tabulkovým hodnotám. Hodnoty  $R_m$  jsou ve všech případech vyšší než 262 MPa udávané výrobcem a hodnoty  $R_{p0,2}$  se pohybují v rozmezí od 125 MPa do 200 MPa.

### 6.3 Vyhodnocení mikrotvrlosti

Zkouška byla provedena na přístroji pro měření mikrotvrlosti podle Vickerse. Stupeň zatížení měření HV 1. Indentor pro měření o rozměru 0,0005 max. Nominální hodnota zkušebního zatížení 9.807 N (dle normy). Doba zatěžování byla 10s. U každého vzorku probíhala série 5 měření, ze kterých byly vyhodnoceny výsledky. Tyto výsledky jsou uvedeny v tab. 6.3.

Tab. 6.3 Naměřená tvrdost při zatížení HV 1

č. vzorku	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
max HV 1	97	106	102	102	101	107	101	104	111	113	111	116
min HV 1	93	97	97	97	97	99	94	102	101	107	104	105
průměr HV 1	95	101	99	99	99	104	97	103	106	110	107	109
směrodatná odchylka	2	4	3	3	2	4	4	1	5	3	3	6

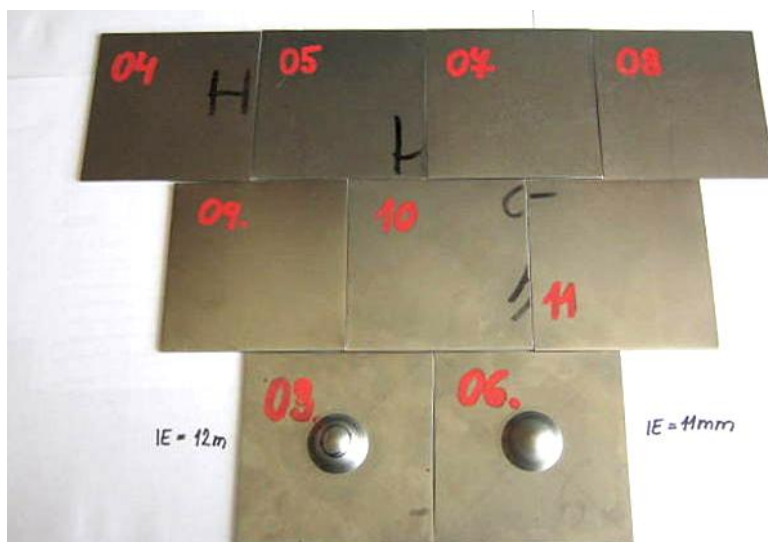


Obr. 6.9 Graf ze zkoušky mikrotvrlosti dle Vickerse

Měřením mikrotvrlosti byla zjištěna střední tvrdost materiálu u HV 1 = 105.

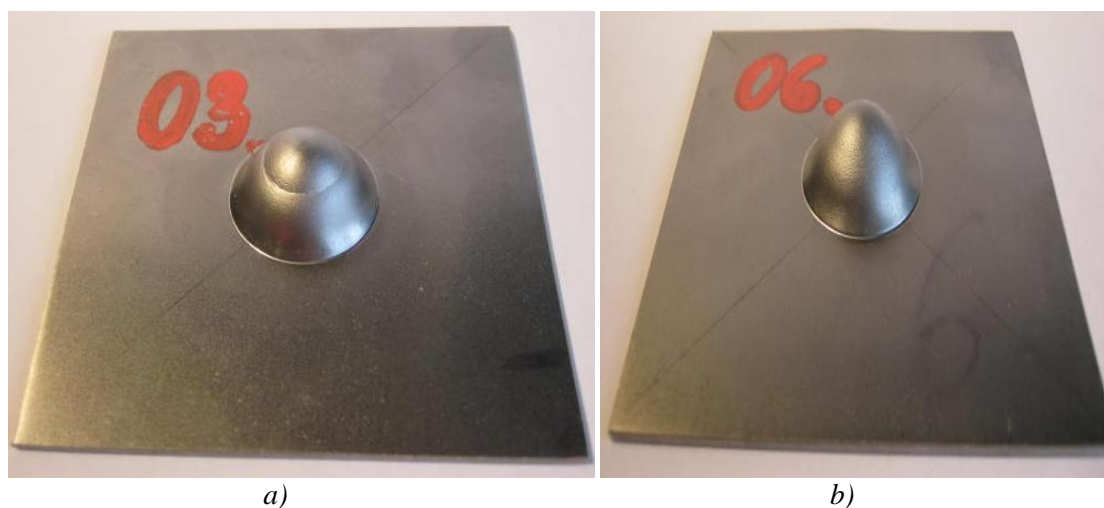
### 6.4 Vyhodnocení hlubokotažnosti

Zařízení Erichsen F-4 pro zkoušku hlubokotažnosti je vyrobený pouze pro analýzu plechu do tloušťky 2 mm. Ke zkoušce hlubokotažnosti byly plechy nastříhány a přizpůsobeny nástroji na rozměr 90x90x2 mm (obr. 6.10).



Obr. 6.10 Vzorky určené pro Erichsenovu zkoušku

Zkouška byla provedena na dvou vzorcích, na vzorku č. 03 materiál s největším výskytem vad a vzorku č. 06 materiál s menším výskytem vad. Avšak i to bylo postačující k vyhodnocení hlubokotažnosti.



Obr. 6.11 a) vzorek 03 s největším výskytem vad, b) vzorek 06 s menším výskytem vad

Jak zobrazuje obr. 6.11 a), zkouška hlubokotažnosti prokázala vhodnost zkoušeného materiálu pro tváření. Trhlina se šíří ve tvaru soustředné kružnice. Velikost dosaženého prohloubení  $IE = 12 \text{ mm}$ .

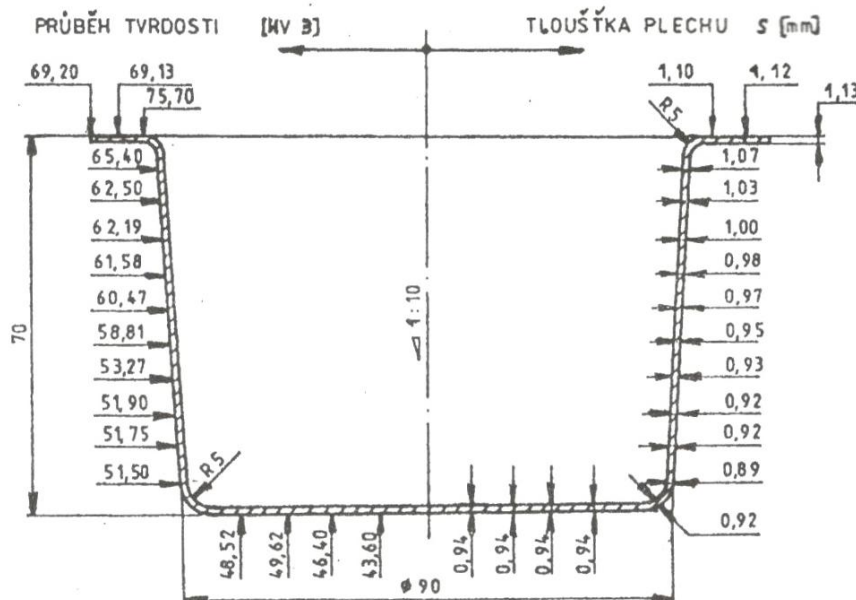
Hlubokotažnost byla také prokázána u vzorku č. 06, jak zobrazuje obr. 6.6 b). Zkouška hlubokotažnosti prokázala vhodnost zkoušeného materiálu pro tváření. Trhlina se šíří ve tvaru soustředné kružnice. Velikost dosaženého prohloubení  $IE = 11 \text{ mm}$ .

## 7 NÁVRH ŘEŠENÍ PROBLÉMU

V experimentální části bylo zjištěno, že materiál dle mechanických a technologických zkoušek odpovídá specifikacím materiálu daných výrobcem. Lze konstatovat, že všechny šarže dodaného materiálu jsou v rámci provedených zkoušek vhodné pro hluboké tažení. Tudiž tvořené ořepky nejsou způsobeny vadou dodávaného materiálu. Mikrostruktura u všech šarží byla shodná, mechanické vlastnosti odpovídají tabulkovým hodnotám dodavatele, tvrdost byla v rámci statistického rozptylu totožná a zkouška hlubokotažnosti potvrdila vhodnost materiálu pro tváření.

Ořepky tvořené v kapkovitých otvorech by tak mohly být připisovány problematice technologie stříhání. Dle mého názoru zde existuje mnoho faktorů, které by bylo nutné blíže prozkoumat a experimentálně prověřit jako např. velikost střížné vůle, velikost střížné síly, vliv ostrosti břitů funkčních částí nástroje a rychlost stříhání.

Společnost ITW Pronovia, s.r.o. pro vystřížení děr na hlubokém výtažku používá stejnou střížnou sílu pro všechny délky výtažků. Avšak tvrdost a tomu odpovídající pevnost materiálu se s délkou a tloušťkou tažení mění. Průběh tloušťky plechu a tvrdosti u kuželového výtažku ukazuje obr. 7.1.



Obr. 7.1 Průběh tloušťky plechu a tvrdosti u kuželového výtažku [6]

Na základě výše uvedených úvah bylo provedeno měření tvrdosti a výpočet střížných sil. Ovšem sama firma, před výsledkem z experimentální části, přišla s návrhem otupění břitu střížníku. Tato úprava vedla ke snížení počtu neshodných kusů ve výrobě. Nelze ale říci, že je toto řešení optimální.

### 7.1 Tvrdost výtažku před prostřížením děr

Pro zjištění střížné síly jednotlivých délek patrony bylo nutné změřit tvrdost hlubokého výtažku v místě, kde se stříhají díry. Z tvrdosti lze poté zjistit pevnost v tahu a určit jednotlivé síly pro danou délku výtažku. Tvrdost získaná měřením a k ní přiřazená pevnost v tahu dle normy EN-ISO 18265-2003 je uvedena v tab. 7.1 a dle normy DIN 50150 v tab. 7.2. Výtažky určené k měření ukazuje obr. 7.2.



Obr. 7.2 Výtažky pro měření tvrdosti – zleva: HT179-13, HT179-02, HT179-01, HT179-00

Tab. 7.1 Tvrdost a pevnost v tahu jednotlivých výtažků dle normy EN-ISO 18265-2003

	HT179-13	HT179-02	HT179-01	HT179-00
<b>Tvrdost HV10</b>	136,7	139,1	140,5	142,3
<b>Pevnost v tahu <math>R_m</math> [MPa]</b>	456,9	451,5	447,3	435,1

Tab. 7.2 Tvrdost a pevnost v tahu jednotlivých výtažků dle normy DIN 50150

	HT179-13	HT179-02	HT179-01	HT179-00
<b>Tvrdost HV10</b>	136,7	139,1	140,5	142,3
<b>Pevnost v tahu <math>R_m</math> [MPa]</b>	490±4	480±4	475±3	470±3

Nejprve byla změřena tvrdost při zatížení HV1, avšak v takovém případě nelze převést tvrdost na pevnost v tahu z důvodu rozdílných poměrů plastické a elastické oblasti vpichu. Pro správnost převodu z HV na  $R_m$  bylo zapotřebí změřit tvrdost při zatížení alespoň HV5. Proto byla provedena zkouška při zatížení HV10, což odpovídá zkušebnímu zatížení 98,07 N a výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 7.1 a 7.2.

## 7.2 Výpočet střížných sil

Na základě stanovených hodnot pevností v tahu byly vypočteny velikosti střížných sil pro jednotlivé typy výtažků dle vztahu:

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m \quad [N] \quad (7.1)$$

kde  $S$  [mm<sup>2</sup>] – plocha stříhu  
 $l$  [mm] – délka stříhu (obvod všech stříhaných částí)  
 $s$  [mm] – tloušťka stříhaného materiálu  
 $\tau_s$  [MPa] – střížný odpor  
 $n$  [-] – koeficient zahrnující opotřebení nástroje ( $n = 1,1$  až  $1,5$ )

- Výpočet střížných sil s využitím hodnot  $R_m$  získané dle normy EN-ISO 18265-2003

Pro výtažek HT179-13:

$$F_{s13} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s13} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 546,9$$

$$F_{s13} = 53\,563,227 \text{ N}$$

Pro výtažek HT179-02:

$$F_{s02} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s02} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 451,5$$

$$F_{s02} = 52\,930,176\,N$$

Pro výtažek HT179-01:

$$F_{s01} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s01} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 447,3$$

$$F_{s01} = 52\,437,801\,N$$

Pro výtažek HT179-00:

$$F_{s00} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s00} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 435,1$$

$$F_{s00} = 51\,007,575\,N$$

- Výpočet střížných sil s využitím hodnot  $R_m$  získané dle normy DIN 50150

Pro výtažek HT179-13:

$$F_{s13} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s13} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 490$$

$$F_{s13} = 57\,443,601\,N$$

Pro výtažek HT179-02:

$$F_{s02} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s02} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 480$$

$$F_{s02} = 56\,271,282\,N$$

Pro výtažek HT179-01:

$$F_{s01} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s01} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 475$$

$$F_{s01} = 55\,685,124\,N$$

Pro výtažek HT179-00:

$$F_{s00} = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s00} = 1,2 \cdot 3 \cdot 24,67 \cdot 1,65 \cdot 0,8 \cdot 470$$

$$F_{s00} = 55\,098,966\,N$$

Stanovené síly nelze porovnat se střížnou silou firmy, neboť její hodnotu firma nesdělila. Jako řešení firma požaduje stanovení převodního koeficientu. Tento koeficient pro střížnou sílu jsem stanovila tak, že nejmenší střížné síle byla přiřazena 1 a další střížné síly jsou její násobky. Střížná síla bude zapotřebí upravit pro jednotlivé výšky výtažků, dle koeficientu, který udává v tab. 7.3.

Tab. 7.3 Koeficient střížných sil pro jednotlivé verze patrony (dle EN-ISO 18265-2003)

<b>verze patrony</b>	HT179-13	HT179-02	HT179-01	HT179-00
<b>převodní koeficient</b>	1,050	1,038	1,028	1

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést mechanické a technologické zkoušky na dodávaném materiálu HT179 pro firmu ITW Pronovia, s.r.o a posoudit vliv vstupního materiálu na konečný produkt. Tohoto bylo dosaženo a z provedených testů lze ustanovit následující závěry.

Pozorování mikrostruktury metalografických výbrusů oceli HT179, dodané firmou ITW Pronovia, s.r.o, neprokázalo výrazné odchylky ve velikosti zrna jednotlivých materiálových šarží. Struktura materiálu HT179 je tvořena feritickými zrny. Tato zrna mají pravidelný polyedrický tvar se střední velikostí zrna  $61,29 \pm 5,21 \mu\text{m}$ .

Pozorování vzhledu povrchu opět neprokázalo kvantitativní ani kvalitativní odchylky, které by mohly vést odůvodnění vyšší zmetkovitosti některých šarží materiálu.

Měření napětově-deformačních charakteristiky materiálu byly ověřeny hodnoty meze pevnosti  $R_m$  a smluvní meze kluzu  $R_{p0,2}$ , které předkládá dodavatel. Hodnoty  $R_m$  jsou mírně vyšší, než je udáváno dodavatelem (262 MPa) a hodnoty  $R_{p0,2}$  jsou v daném rozmezí od 125 MPa do 200 MPa.

Měření mikrotvrdosti dle Vickerse byla zjištěna střední tvrdost materiálu  $HV 1 = 105$ .

Další zkouškou, která potvrdila, že materiál používaný pro výrobu patrony je v pořádku, byla zkouška hlubokotažnosti. Zkouška prokázala vhodnost materiálu, že z tohoto materiálu je možné táhnout velmi hluboké výtažky.

Snahou této bakalářské práce bylo navrhnout řešení problému ořepů, se kterými se firma potýká. Jelikož nebyly objeveny důkazy o vadě materiálu, může být jedním z možných řešení změna jednotné síly stříhu, kterou jsou stříhány všechny výšky výtažku na střížné síly reflektující změnu vlastností materiálu po tažení u každého tvaru výtažku. Pro toto stanovení byly provedeny další měření tvrdosti dle Vickerse HV 10 (zatížení 98,07 N) na jednotlivých výtažcích v celé oblasti stříhu a ustanovena průměrná tvrdost. Na základě norem EN-ISO 18265-2003 a DIN 50150 byly hodnoty tvrdosti převedeny na meze pevnosti  $R_m$ , které byly použity pro následné stanovení jednotlivých střížných sil. Na žádost firmy byl stanoven i přepočtový koeficient, dle kterého firma zkusí poupravit stávající jednotnou hodnotu střížné síly, a to pro každý typ patrony.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ITW Pronovia s.r.o.: *O divizi Powertrain Metals*. [online]. [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.itwpronovia.cz/cs-cz/našedivize/divizepowertrainmetals/odivizipowertrainmetals.aspx>
2. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996, 261 s. ISBN 80-85867-95-8.
3. PTÁČEK, Luděk a kol. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
4. R. S. KHURMI, R. S.R. *Material science*. 4th ed. New Delhi: S. Chand, 2005. ISBN 9788121901468.
5. BAREŠ, K.; kolektiv autorů. *Lisování*, Praha: SNTL, 1971, 544s, ISBN 04-234- 71.
6. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
7. PTÁČEK, Luděk a kol. *Nauka o materiálu I*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002, 505 s. ISBN 80-7204-283-1.
8. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 196 s. Knižnice techn. aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
9. HANSEN, Petra. *Technologie výroby víka tvářením*. Brno 2014. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.
10. KATEDRA TVÁŘENÍ KOVŮ A PLASTŮ. *Technologie II: technologie plošného tváření - tažení*. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)
11. FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
12. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
13. PRESSHYDRAULIKA. *Hlubokotažné lisy* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.presshydraulika.cz/>
14. LITOCHEBOVÁ, S., *Technologie výroby součástí tvářením*, Technická 2896/2, Brno 616 69, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 74 stran, 6 příloh. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Milan Dvořák CSc.

15. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. *Akademie tváření: Stříhání. MM průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
16. DOLEŽAL, Pavel a Bohumil PACAL. *Hodnocení mikrotvrdosti struktur materiálů.* [online].[cit.2015-05-7]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/hmsm/index.htm>
17. Tvrdost: Tvrdost podle Vickerse. PROINEX INSTRUMENTS, s.r.o. *Měření tvrdosti* [online]. 2005-2011. [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.merentvrdosti.cz/tvrdost.html>
18. Citace.com. KRČÁL, Martin. *Citace.com* [online]. 2004 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>

# SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
A	práce	[J]
c	součinitel v závislosti na odstupňování tahů	[-]
C	koeficient zaplnění plochy	[-]
C <sub>1</sub>	konstanta pro výpočet tažné síly	[-]
C <sub>2</sub>	konstanta pro výpočet tažné síly	[-]
c <sub>p</sub>	koeficient pro přesné stříhání	[-]
D	průměr výtažku v prvním tahu	[mm]
D <sub>0</sub>	průměr přístříhu	[mm]
d	průměr výtažku	[mm]
d <sub>n</sub>	průměr výtažku pro n-tém tahu	[mm]
d <sub>s</sub>	střední průměr výtažku	[mm]
D <sub>p</sub>	průměr příruby v prvním tahu	[mm]
d <sub>p</sub>	průměr příruby hotového výtažku	[mm]
F <sub>C</sub>	celková síla	[N]
F <sub>krit</sub>	kritická síla pro porušení stěny výtažku	[N]
F <sub>max</sub>	maximální zatěžovací síla	[N]
F <sub>p</sub>	přidržovací síla	[N]
F <sub>s</sub>	střížná síla	[N]
F <sub>t</sub>	tažná síla	[N]
h	výška výtažku	[mm]
H	přídavek na výšku přístříhu	[mm]
h <sub>0</sub>	výška konečného výtažku	[mm]
h <sub>max</sub>	maximální výška výtažku v 1. tahu	[mm]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
k	krok	[mm]
K	stupeň tažení	[-]
k <sub>p</sub>	součinitel použití přidržovače	[-]
k <sub>t</sub>	součinitel vyjadřující vliv součinitele m	[-]
l	délka stříhu	[mm]
L	délka úsečky	[μm]
L <sub>1</sub>	výška výstřížku	[mm]
L <sub>2</sub>	šířka výstřížku	[mm]
m	koeficient tažení	[-]
m <sub>n</sub>	součinitel tažení	[-]
m <sub>c</sub>	celkový součinitel tažení	[-]
n	koeficient zahrnující opotřebení nástroje	[-]
N	počet zrn	[-]
o	obvod výtažku	[mm]
p	měrný tlak přidržovače	[MPa]
p <sub>p</sub>	tlak přidržovače	[MPa]
r	poloměr zaoblení dna výtažku	[mm]
r <sub>0</sub>	poloměr zaoblení	[mm]
r <sub>p</sub>	poloměr tažnice	[mm]
R	smluvní napětí	[MPa]
R <sub>n</sub>	rádus přechodu příruby do tažené části v n-té operaci	[mm]
R <sub>e</sub>	mez kluzu	[MPa]

$R_k$	poloměr tažníku	[mm]
$R_m$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{max}$	maximální redukce při tažení	[%]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
$R_{tu}$	poloměr zaoblení hrany tažnice	[mm]
$R_{te}$	poloměr zaoblení hrany tažníku	[mm]
$S_0$	tloušťka tažného materiálu	[mm]
$S$	plocha přístřihu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_c$	činná plocha pod přidržovačem	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	plocha přidržovače	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{výť}$	plocha výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	tloušťka plechu	[mm]
$t_m$	tažná mezera	[mm]
$t_0$	doba stárnutí při 20 °C	[h]
$V$	objem válcového výtažku	[mm <sup>3</sup> ]
$v$	střížná vůle	[mm]
$z$	střížná mezera	[mm]
$\tau_{ps}$	pevnost ve stříhu	[MPa]
$\varepsilon$	poměrná deformace	[-]
$\sigma$	napětí	[MPa]
$\varphi$	logaritmická deformace	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Produkty společnosti ITW Pronovia, s.r.o. ....	11
Obr. 1.1 Verze výtažků po vytažení.....	14
Obr. 1.2 Patrona HT179-13.....	14
Obr. 1.3 Otřepy na patroně.....	14
Obr. 2.1 Diagram Fe-C a Fe-N, pásmo hlubokotažných plechů označeno šrafováním.....	16
Obr. 2.2 Struktura ocelového hlubokotažného plechu s obvyklým množstvím nečistot...	17
Obr. 2.3 Tvar tahového diagramu typický pro nízkouhlíkovou ocel.....	18
Obr. 2.4 Vliv doby a teploty stárnutí po zakalení neuklid. oceli z oblasti $\alpha$ na tvrdost.....	19
Obr. 2.5 Změna velikosti Lüdersovy deformace v závislosti na teplotě a době stárnutí u ČSN 11 321.....	20
Obr. 2.6 Tvar diagramu napětí – deformace po krátkém odtížení.....	20
Obr. 2.7 Tvar diagramu napětí – deformace – významná časová prodleva před další deformací.....	20
Obr. 3.1 Schéma deformace při tažení.....	22
Obr. 3.2 Řez tažidlem a výtažkem.....	22
Obr. 3.3 Princip tažení válcového tvaru.....	23
Obr. 3.4 Výtažek s širokou přírubou.....	23
Obr. 3.5 Schéma tažení výtažku na tři operace.....	25
Obr. 3.6 Nomogram k určení výšky výtažku dosažitelné v prvním tahu.....	26
Obr. 3.7 Průběh tažné síly.....	26
Obr. 3.8 Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení.....	27
Obr. 3.9 Diagram pro zjišťování měrného tlaku přidržovače pro první tah.....	29
Obr. 3.10 Tažný nástroj.....	31
Obr. 3. 11 Způsoby odvzdušňování výtažku.....	32
Obr. 3.12 Tvarové provedení tažnic.....	32
Obr. 3.13Hlubokotažné lisy firmy Presshydraulika, s.r.o. ....	32
Obr. 4.1 Fáze průběhu stříhání.....	34
Obr. 4.2 Znázornění střížné vůle.....	35
Obr. 4.3 Střížná práce.....	36
Obr. 5.1 a) poloautomatický zalisovací přístroj, b) průběh broušení, c) průběh leštění....	38
Obr. 5.2 Řez rastrovacím elektronovým mikroskopem JSM – 25 S.....	39
Obr. 5.3 Smluvní diagram (napětí-deformace).....	40
Obr. 5.4 Zkušební vzorek pro tahovou zkoušku.....	41
Obr. 5.5 a) Zkušební zařízení, b) upnutí zkušebního vzorku.....	42
Obr. 5.6 Zkouška tvrdosti podle Vickerse.....	43
Obr. 5.7 Schéma zkoušky hloubením dle Erichsena (ČSN 42 0406).....	44
Obr. 5.8 Tvar trhliny při Erichsenově zkoušce hloubením.....	44
Obr. 5.9 Zkušební zařízení Erichsen.....	45
Obr. 6.1 Metalografický snímek vzorku 01 vzorek materiálu bez vad.....	46
Obr. 6.2 Metalografický snímek vzorku 04 vzorek materiálu s největším výskytem vad.....	46
Obr. 6.3 Vzhled povrchu vzorku č. 01 po broušení (materiál bez vad).....	48
Obr. 6.4 Vzhled povrchu vzorku č. 02 po broušení (začátek výskytu vad).....	48
Obr. 6.5 Tahový diagram vzorku č. 00.....	49
Obr. 6.6 Tahový diagram vzorku č. 05.....	49
Obr. 6.7 Tahový diagram vzorku č. 06.....	49
Obr. 6.8 Tahový diagram vzorku č. 09.....	49
Obr. 6.9 Graf ze zkoušky mikrotvrdosti dle Vickerse.....	50

Obr. 6.10 Vzorky určené pro Erichsenovu zkoušku.....	51
Obr. 6.11 a) vzorek 03 s největším výskytem vad, b) vzorek 06 s menším výskytem vad.....	51
Obr. 7.1 Průběh tloušťky plechu a tvrdosti u kuželového výtažku.....	52
Obr. 7.2 Výtažky pro měření tvrdosti.....	53

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Specifikace materiálu HT 179.....	12
Tab. 1.2 Mechanické a chemické vlastnosti materiálu HT 179.....	13
Tab. 1.3 Šarže HT179 v průběhu výroby v roce 2014.....	13
Tab. 1.4 Výrobní postup patrony.....	15
Tab. 3.1 Vybrané hodnoty součinitele kt.....	27
Tab. 3.2 Tažná vůle při tažení plechu.....	29
Tab. 3.3 Doporučené rychlosti tažení ocelí klasickými tažidly.....	30
Tab. 3.4 Minimální hodnoty $R_w$ .....	31
Tab. 3.5 Vybraná maziva pro tváření.....	33
Tab. 4.1 Velikost střížné vůle v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu.....	35
Tab. 4.2 Závislost přesnosti vystřihovaného povrchu na přesnosti nástroje.....	37
Tab. 6.1 Velikosti zm.....	47
Tab. 6.2 Výsledné hodnoty mechanických vlastností z tahových zkoušek vzorků.....	49
Tab. 6.3 Naměřená tvrdost při zatížení HV 1.....	50
Tab. 7.1 Tvrdost a pevnost v tahu jednotlivých výtažků dle normy EN-ISO 18265-2003.....	53
Tab. 7.2 Tvrdost a pevnost v tahu jednotlivých výtažků dle normy DIN 50150.....	53
Tab. 7.3 Koeficient střížných sil pro jednotlivé verze patrony (dle EN-ISO 18265-2003).....	54

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Protokoly měření tvrdosti HV1 pro HT179-00
Příloha 2	Protokoly měření tvrdosti HV1 pro HT179-01
Příloha 3	Protokoly měření tvrdosti HV1 pro HT179-02
Příloha 4	Protokoly měření tvrdosti HV1 pro HT179-13
Příloha 5	Schéma střížného nástroje

# **SEZNAM VÝKRESŮ**

Výkres 1      Výkres patrony HT179-13

**Zk. parametry:**

Vzorek: 00

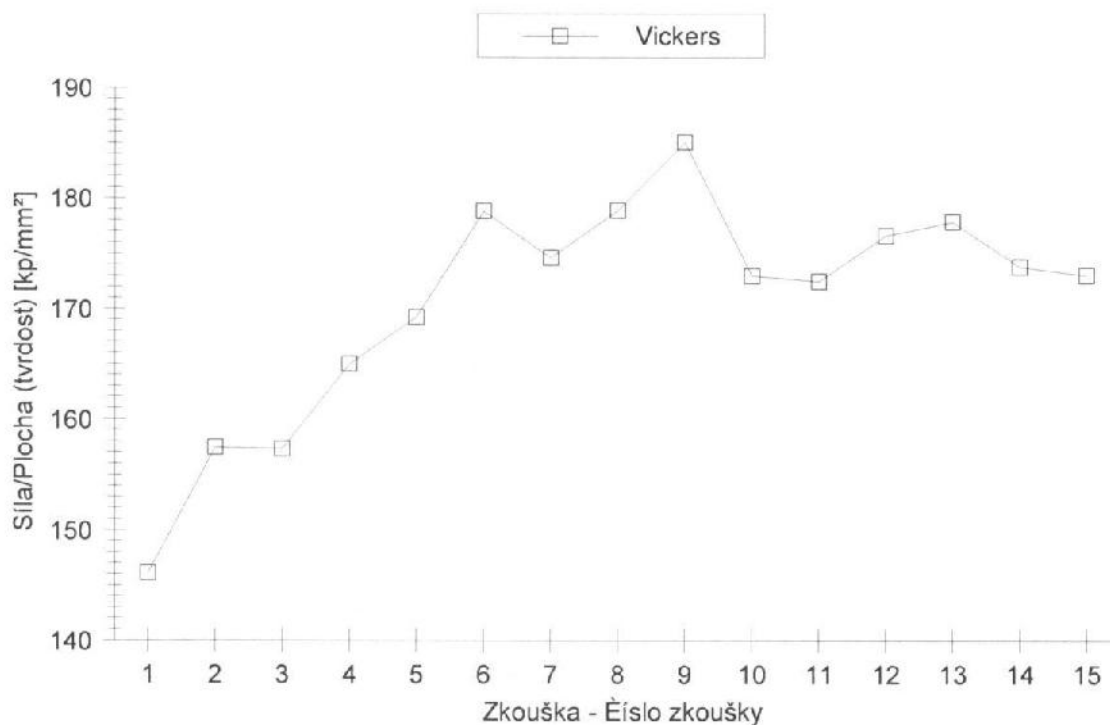
**Zkušební metoda:**

Metoda měření tvrdosti : Vickers  
 Stupeň zatížení (HV) : HV 1  
 Zatížení (dle normy) : 9.807 N

Objektiv : 20 : 1  
 Metoda pro hloubku vrstvy: CHD

**Výsledky:**

Nr	d <sub>h</sub> μm	d <sub>v</sub> μm	d μm	HV 1
1	113.2	112.1	112.7	146
2	113.3	103.8	108.5	157
3	113.2	103.9	108.6	157
4	109.5	102.5	106.0	165
5	105.4	103.9	104.7	169
6	107.8	95.8	101.8	179
7	105.7	100.4	103.0	175
8	105.2	98.4	101.8	179
9	103.2	96.9	100.1	185
10	104.6	102.5	103.5	173
11	105.7	101.6	103.7	172
12	104.1	100.8	102.5	177
13	104.5	99.7	102.1	178
14	108.3	98.3	103.3	174
15	107.8	99.2	103.5	173

**Grafické záznamy zkoušek:**

**Statistika:**

Série n = 15	$d_h$ $\mu\text{m}$	$d_v$ $\mu\text{m}$	$d$ $\mu\text{m}$	HV 1
$\bar{x}$	107.4	101.3	104.4	171
s	3.5	3.9	3.3	10
v	3.21	3.85	3.15	5.99

**Zk. parametry:**

Vzorek: 01

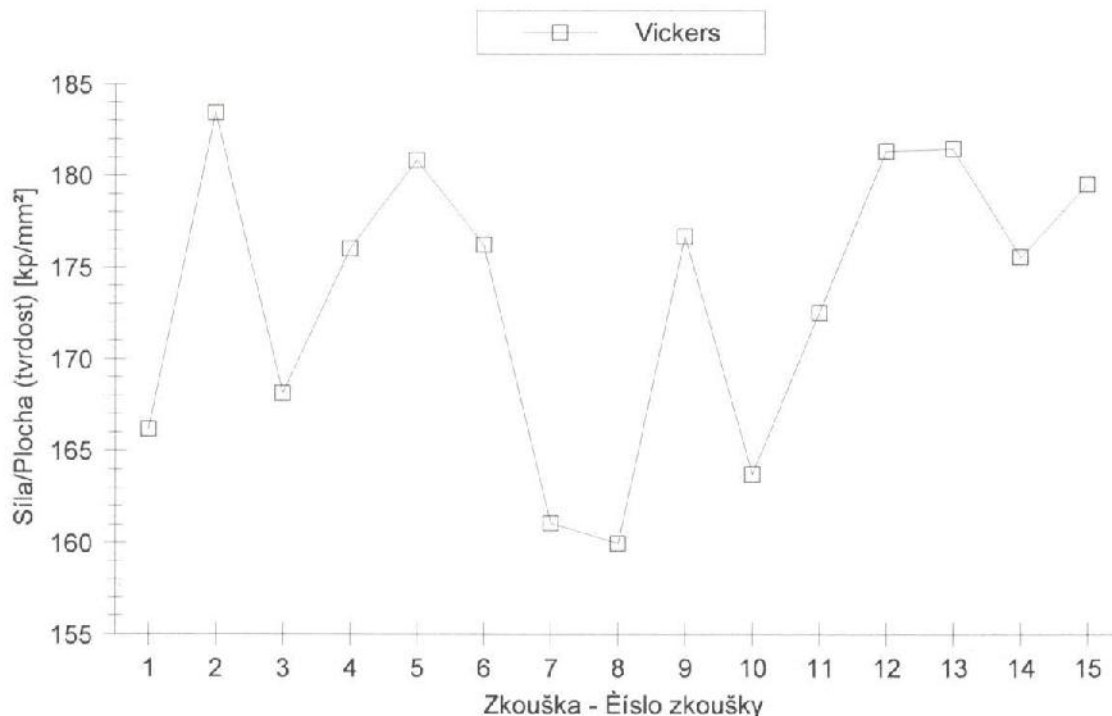
**Zkušební metoda:**

Metoda měření tvrdosti : Vickers  
 Stupeň zatížení (HV) : HV 1  
 Zatížení (dle normy) : 9.807 N

Objektiv : 20 : 1  
 Metoda pro hloubku vrstvy: CHD

**Výsledky:**

Nr	d <sub>h</sub> μm	d <sub>v</sub> μm	d μm	HV 1
1	103.1	108.2	105.6	166
2	99.7	101.4	100.5	183
3	106.8	103.2	105.0	168
4	102.0	103.2	102.6	176
5	101.1	101.4	101.3	181
6	103.1	102.0	102.6	176
7	107.3	107.3	107.3	161
8	107.4	107.9	107.7	160
9	103.2	101.6	102.4	177
10	105.3	107.5	106.4	164
11	102.3	105.0	103.7	173
12	104.1	98.2	101.1	181
13	108.4	93.8	101.1	181
14	103.2	102.4	102.8	176
15	107.0	96.3	101.6	180

**Grafické záznamy zkoušek:**

**Statistika:**

Série n = 15	d <sub>h</sub> μm	d <sub>v</sub> μm	d μm	HV 1
$\bar{x}$	104.3	102.6	103.4	174
s	2.6	4.3	2.4	8
v	2.51	4.14	2.30	4.51

**Zk. parametry:**

Vzorek: 02

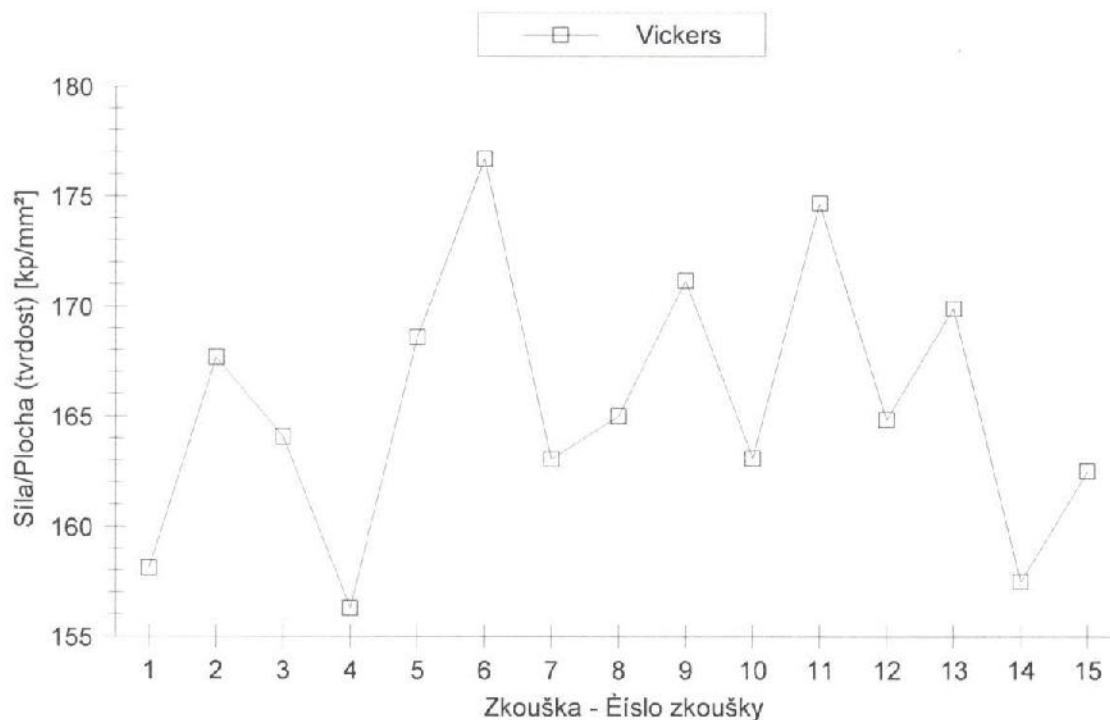
**Zkušební metoda:**

Metoda měření tvrdosti : Vickers  
 Stupeň zatížení (HV) : HV 1  
 Zatížení (dle normy) : 9.807 N

Objektiv : 20 : 1  
 Metoda pro hloubku vrstvy: CHD

**Výsledky:**

Nr	d <sub>h</sub> μm	d <sub>v</sub> μm	d μm	HV 1
1	107.0	109.6	108.3	158
2	101.1	109.2	105.2	168
3	106.8	105.8	106.3	164
4	104.9	112.9	108.9	156
5	106.4	103.3	104.9	169
6	105.0	99.9	102.4	177
7	108.7	104.6	106.6	163
8	103.2	108.8	106.0	165
9	104.0	104.2	104.1	171
10	104.1	109.2	106.6	163
11	105.8	100.2	103.0	175
12	104.2	107.9	106.0	165
13	103.8	105.1	104.5	170
14	107.5	109.5	108.5	157
15	103.8	109.8	106.8	163

**Grafické záznamy zkoušek:**

**Statistika:**

Série n = 15	d <sub>h</sub> μm	d <sub>v</sub> μm	d μm	HV 1
$\bar{x}$	105.1	106.7	105.9	166
s	2.0	3.7	1.9	6
v	1.86	3.51	1.80	3.62

**Zk. parametry:**

Vzorek: 13

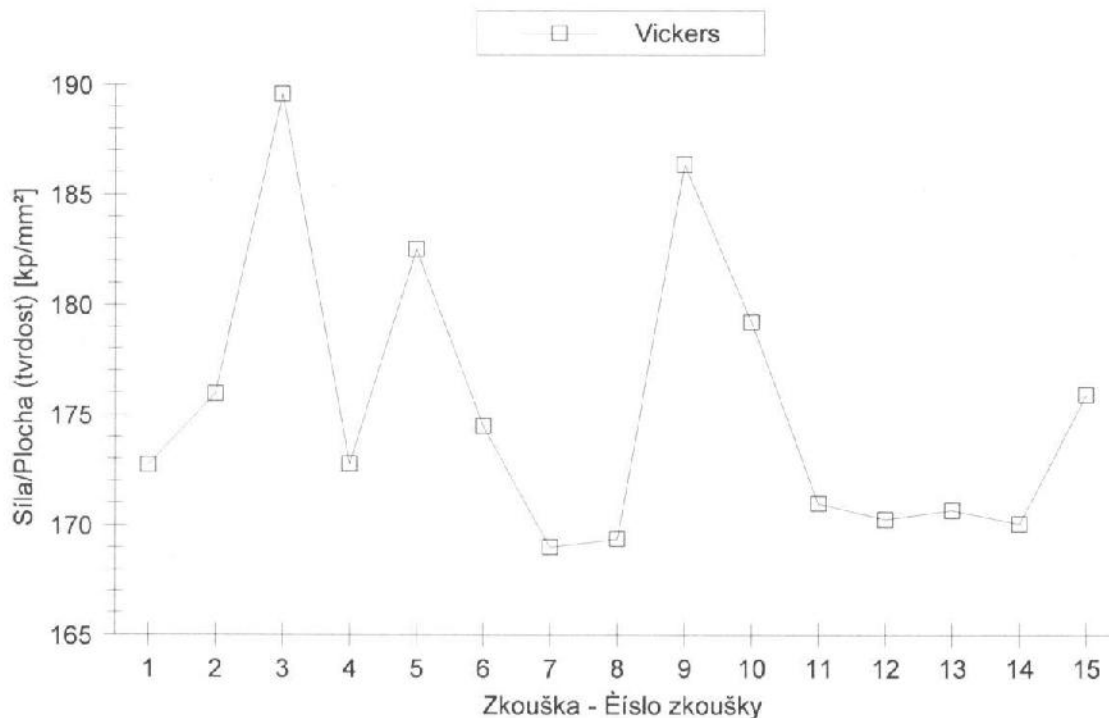
**Zkušební metoda:**

Metoda měření tvrdosti : Vickers  
 Stupeň zatížení (HV) : HV 1  
 Zatížení (dle normy) : 9.807 N

Objektiv : 20 : 1  
 Metoda pro hloubku vrstvy: CHD

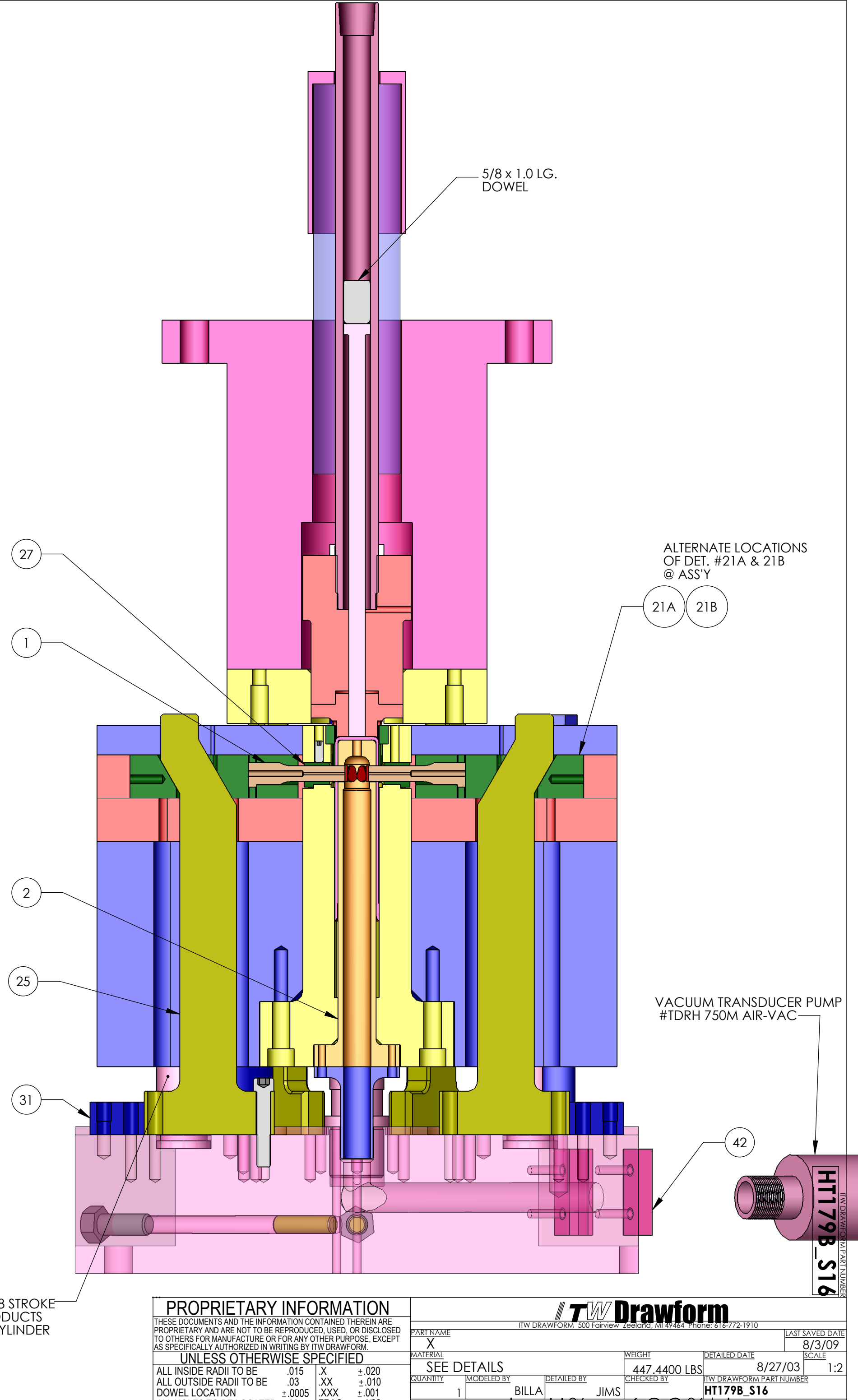
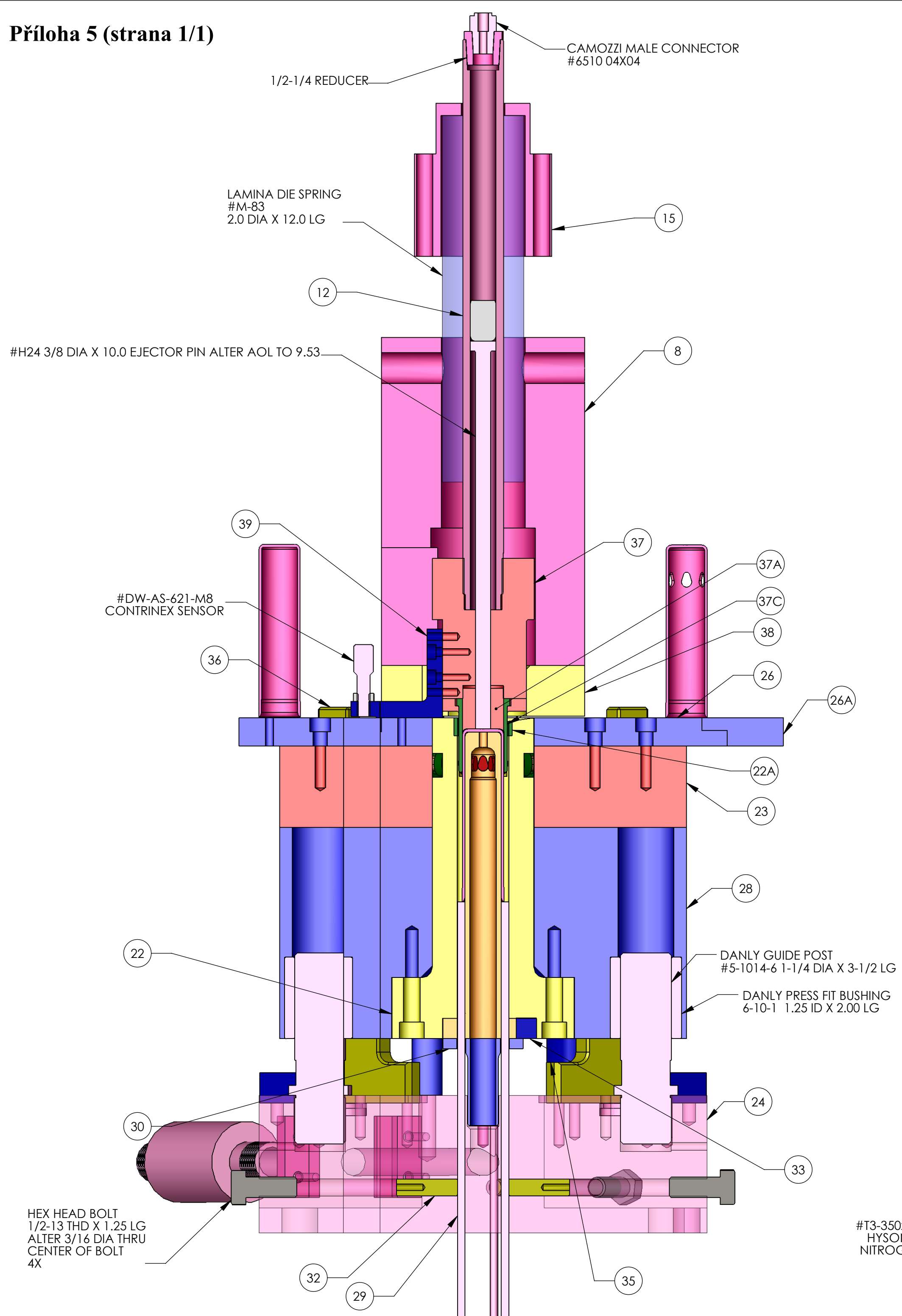
**Výsledky:**

Nr	d <sub>n</sub> μm	d <sub>v</sub> μm	d μm	HV 1
1	106.6	100.6	103.6	173
2	108.2	97.1	102.6	176
3	95.7	102.1	98.9	190
4	108.1	99.1	103.6	173
5	103.7	97.9	100.8	183
6	106.2	100.0	103.1	174
7	103.7	105.8	104.7	169
8	108.8	100.4	104.6	169
9	104.1	95.4	99.7	186
10	104.9	98.5	101.7	179
11	104.1	104.2	104.1	171
12	105.7	103.0	104.4	170
13	103.9	104.5	104.2	171
14	107.8	101.0	104.4	170
15	106.2	99.2	102.7	176

**Grafické záznamy zkoušek:**

**Statistika:**

Série n = 15	d <sub>h</sub> μm	d <sub>v</sub> μm	d μm	HV 1
$\bar{x}$	105.2	100.6	102.9	175
s	3.2	2.9	1.8	6
v	3.02	2.90	1.78	3.66



HEX HEAD BOLT  
1/2-13 THD X 1.25 LG  
ALTER 3/16 DIA THRU  
CENTER OF BOLT  
4X

#T3-350x25 .98 STROKE  
HYSON PRODUCTS  
NITROGEN CYLINDER

**PROPRIETARY INFORMATION**  
THESE DOCUMENTS AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN ARE PROPRIETARY AND ARE NOT TO BE REPRODUCED, USED, OR DISCLOSED TO OTHERS FOR MANUFACTURE OR FOR ANY OTHER PURPOSE, EXCEPT AS SPECIFICALLY AUTHORIZED IN WRITING BY ITW DRAWFORM.

**UNLESS OTHERWISE SPECIFIED**

ALL INSIDE RADII TO BE	.015	X	±.020
ALL OUTSIDE RADII TO BE	.03	.XX	±.010
DOWEL LOCATION	±.0005	.XXX	±.001
ALL HOLES TO BE LOCATED	±.005	FRAC.	±1/32
STD. U/CUT	.010	ANGLES	±1°
			© .001 T.I.R.

<b>ITW Drawform</b>		ITW DRAWFORM 500 Fairview Z6@itw.com MI 49464 Phone: 616-772-1910	
PART NAME	X	LAST SAVED DATE	8/3/09
MATERIAL	SEE DETAILS	WEIGHT	447.4400 LBS
QUANTITY	1	DETAILED DATE	8/27/03
MODELED BY	BILLA	CHECKED BY	JIMS
DETAILED BY	JIMS	ITW DRAWFORM PART NUMBER	HT179B_S16
SCALE		1:2	

† <H%+ - 6SG%\* †

HT179B\_S16  
ITW DRAWFORM PART NUMBER