

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



Bakalářská práce

**Mezní přetvoření v okrajových částech výlisků z pevnostních
plechů**

2006

David Mrnka

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

**MEZNÍ STAV V OKRAJOVÝCH ČÁSTECH VÝLISKŮ Z PEVNOSTNÍCH
PLECHŮ**

**LIMITING CONDITION IN PERIPHERAL MOULDED PIECES PARTS OF
STRENGTH METAL SHEETS**

Číslo bakalářské práce: KSP – TP – B14

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Mirko Král, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 45
Počet tabulek: 6
Počet grafů: 4
Počet obrázků: 25
Počet příloh: 1

David Mrnka

Datum: 26. 5. 2006

ANOTACE

Pevnostní plechy nabývají na významu a stávají se již nedílnou součástí automobilového průmyslu. Cílem bakalářské práce je porovnat vybrané pevnostní materiály z hlediska následných operacích tváření. Modelovým příkladem tvářecí operace je zde použita zkouška rozšiřováním otvoru dle Siebela a Pompa. Konkrétně je hodnocen vliv velikosti střížné mezery na velikost mezní deformace v okrajové části výlisku u materiálu RA-K 40/70 a CPW 800.

SUMMARY

Strength metal sheets are intensifying and come to be an indivisible part of automobile industry. The focus of my bachelor writing is to compare selected strength materials in aspects of subsequent forming operations. Enlarging loophole test according to Mr. Siebel and Mr. Pomp is used as an example in this writing. In the concrete there is an assessment of influence of shearing clear space size with limiting deformation size in peripheral moulded piece part in RA-K 40/70 and CPW 800 material.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Mírko Královi, CSc. z katedry strojírenské technologie za odborné vedení při tvorbě bakalářské práce.

Zvláštní poděkování patří panu Ing. Pavlu Doubkovi, konzultantovi mé bakalářské práce, za mnoho podnětných informací a poskytnutých studijních materiálů týkajících se problematiky pevnostních plechů. V neposlední řadě děkuji i ostatním členům katedry strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů za pomoc při vypracování této bakalářské práce.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 26. května 2006

.....
David Mrnka
Zahradní ul. 475/II
471 54 Cvikov

Obsah

1. ÚVOD	10
2. OCELI	11
2.1. HLUBOKOTAŽNÉ OCELI	11
2.2. PEVNOSTNÍ OCELI	12
2.2.1. IF oceli	12
2.2.2. BH oceli	12
2.2.3. Mikrolegované oceli	12
2.2.4. Fosforem legované oceli	13
2.3. VYSOKOPEVNOSTNÍ OCELI	13
2.3.1. Použití vysokopevnostních materiálů v automobilovém průmyslu	13
2.3.2. Vícefázové oceli	13
2.3.2.1. <i>Komplexně fázové oceli</i>	14
2.3.2.2. <i>Dvoufázové oceli</i>	14
2.3.2.3. <i>Martenzitické oceli</i>	15
2.3.2.4. <i>TRIP oceli</i>	15
2.3.3. Oceli kalené	16
2.3.3.1. <i>Legované oceli</i>	16
2.3.4. TWIP oceli	16
3. TVÁŘITELNOST PEVNOSTNÍCH MATERIÁLŮ	17
3.1. TEPELNĚ MECHANICKÉ ZPRACOVÁNÍ	17
3.2. TVÁŘENÍ PLECHŮ	17
3.2.1. Roll forming	18
3.2.2. Hydroforming	18
3.2.3. Tváření za tepla s následným kalením	19
4. ZKOUŠKY	20
4.1. ZKOUŠKA OHYBEM	20
4.2. ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE BRINELLA	21
4.3. ZKOUŠKA TAHEM	22
5. TECHNOLOGIE STRÍHÁNÍ	25

5.1. KVALITA STŘIŽNÉ PLOCHY	25
5.1.1. Vliv střížné mezery na kvalitu střížné plochy	26
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
6.1. CÍLE EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	27
6.2. POUŽITÉ MATERIÁLY	27
6.3. STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM	27
6.3.1. Příprava vzorků pro zkoušku tahem	28
6.3.2. Dílčí závěr	28
6.4. ZKOUŠKA ROZŠÍŘOVÁNÍM OTVORU	30
6.4.1. Testovací zařízení	30
6.4.2. Příprava vzorků pro zjišťování vlivu střížné mezery na mezní deformaci	31
6.4.3. Vlastní měření a vyhodnocení zkoušky	33
6.4.4. Dílčí vyhodnocení	38
7. ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
PŘÍLOHY	42

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Rozměr	Význam
A ₃	°C	teplota přeměny austenitu
A ₅₀	%	tažnost
b	m	šířka
m _s	mm	střížná mezera
s		směrodatná odchylka výběru
x _s		střední hodnota
R	MPa	smluvní napětí
R _{p0,2}	MPa	smluvní mez kluzu při 0,2 % měřené délky
R _m	MPa	pevnost v tahu
R _e	MPa	mez kluzu
atd.		a tak dále
tzn.		to znamená

1. ÚVOD

Tváření plechů patří mezi významné technologie v současném průmyslovém spektru. Nejvýznamnějším spotřebitelem tenkých ocelových plechů je automobilový průmysl. Z plechů se vyrábějí jednotlivé karosářské díly, které představují z hlediska výroby, jedny z nejsložitějších výrobků. Tyto výlisky jsou pak pomocí moderních technologií spojovány (svařování, lepení apod.) kompletovány v nedílný celek - karoserii. V posledních letech značně vzrůstají požadavky spotřebitelů na bezpečnost, proto při stavbě automobilu nacházejí stále větší uplatnění pevnostní ocelové plechy. Snahou výrobců těchto plechů je vyrobit materiál, který podle požadavku zpracovatele splňuje zcela protikladná kritéria. Dobrou lisovatelnost, maximální pevnost, korozní odolnost, cenu a další vlastnosti nutné k dosažení vysoké kvality. Především za účelem zvýšení bezpečnosti a tuhosti karoserie nacházejí stále více uplatnění pevnostní a vysokopevnostní plechy.

Ocel je zpravidla dobře tvařitelným a svařitelným materiálem. Mezi její další výhody nesporně patří také recyklovatelnost, dostupnost na trhu, a oproti jiným vhodným materiálům, nejčastěji plastům a neželezným kovům, nižší cena, ikdyž tento trend se začíná pomalu měnit. Mezi její nevýhody patří poměrně vysoká hmotnost a nutnost ochrany proti korozi.

Pro vlastní výrobu je tedy velmi důležité znát mezní stavy deformace a chování materiálu s ohledem na jeho tvar, rozměry, podmínky výroby a použitou technologii. Způsoby tváření se dle teploty dělí na tváření za studena, za poloohřevu a za tepla. Zde se bude hovořit pouze o tváření za studena, tedy pod teplotou rekrystalizace ($T \leq 0,3 T_T$), kdy dochází ke zpevnění materiálu.

Cílem předkládané bakalářské práce je zjistit, vliv velikosti střížné mezery na velikost mezní deformace v okrajových částech výlisku u dvou pevnostních materiálů a to materiálu RAK 40/70 a CPW 800.

2. OCELI

V době vzniku této práce nebyla k dispozici žádná norma, která by od sebe navzájem rozlišovala pojmy jako pevnostní či vysokopevnostní materiál. K dispozici byl pouze návrh od výrobců jak rozlišovat tyto materiály z hlediska jejich struktury či zpevňovacích mechanismů. Určité rozdělení plechů, z hlediska mechanických vlastností, které výrobci a zpracovatelé často používají je: pevné, ultra pevné a extra pevné.

Vysokopevnostní oceli jsou zpracovány vždy termomechanicky. Díky tomu mají obecně velmi jemnozrnnou strukturu a několik fází v tuhém roztoku, a oproti konvenčním ocelím pak samozřejmě vyšší pevnost. Pokud dochází k prudkému ochlazení, vznikají jemnozrnné oceli s vysokým podílem martenzitu a bainitu. [1]

Tab.1: Rozdělení ocelových plechů pro automobilový průmysl [2]

Typ oceli	$R_{p0.2}$ [MPa]	Druh oceli dle zpevňovacích mechanismů	
Hlubokotažné	< 180 MPa	Ocelové plechy válcované za studena	
Pevnostní	cca nad 180 - 500 MPa	IF oceli BH oceli Fosforem legované oceli Mikrolegované oceli	
Vysokopevnostní	cca nad 500 MPa až do hodnot 1200 MPa (vyjimku tvoří TRIP oceli)	Vícefázové oceli	Komplexně fázové oceli Dvoufázové oceli TRIP oceli Martenzitické oceli
		Oceli kalené	Legované oceli (Borové oceli)
		Twip oceli	

2.1. HLUBOKOTAŽNÉ OCELI

Jedná se o nízkouhlíkové oceli určené pro hluboké tažení s minimálním obsahem doprovodných prvků. Zlepšení mechanických vlastností a jejich stability se dosahuje mikrolegováním Al, Ti, V, B, Zr a Nb. Hlubokotažné oceli patří k nejvíce rozšířeným ocelovým materiálům, používaných pro stavbu karosérie osobních automobilů. Díky úzké oblasti garantovaných mechanických vlastností se při hlubokotažném lisování zaručuje optimální produktivita. [1]

2.2. PEVNOSTNÍ OCELI

Jedná se o oceli s pevnostmi přibližně od 180 – 500 MPa. Do skupiny pevnostních ocelí lze zařadit: IF oceli, BH oceli, mikrolegované oceli či fosforem legované oceli. Tyto oceli se často označují jako ultra pevné. [2]

2.2.1. IF oceli

Tento název ocelí pochází z anglického názvu Interstitial-Free. V IF ocelích vytvářejí uhlík a dusík precipitáty s mikrolegujícími prvky Ti, Nb, namísto toho, aby byly intersticiálně rozpuštěny ve feritu. Mikrostruktura je pak tvořena vysoce tvárnou feritickou maticí s takovými precipitáty, jako jsou TiC, TiS, TiN, NbC a NbN, které jsou v ní rozloženy. Mechanické vlastnosti ocelí jsou poměrně nízké, s mezí kluzu okolo 150 MPa, mezí pevnosti v tahu okolo 300 MPa a tažností A_{80} okolo 40 %. [3]

2.2.2. BH oceli

Jedná se o oceli, které získávají v první fázi vyšší pevnost válcováním a později pak ve druhé fázi při vypalování laku v lakovnách. Při druhé fázi dochází k tzv. BH efektu (Bake hardening). BH efekt je jev, který vystihuje děj, kdy lze po tváření plechu dosáhnout dalšího zpevnění pomocí tepelného „zpracování“ v průběhu lakovacího procesu karosérie. Vychází se z mobility uvolněných atomů uhlíku za teploty okolo 170°C. Tyto atomy jsou schopné zablokovat volné dislokace a tím zpevnit předem vytvářenou strukturu. Velkou výhodou těchto ocelí je výborná tažnost při vlastním lisování a jsou typické nízkou mezí kluzu před zpracováním. Po vypalování laku však dochází k nárůstu pevnosti o 30 až 80 MPa. [2]

2.2.3. Mikrolegované oceli

Tyto oceli mají obsah uhlíku v rozmezí od 0,05 % do 0,1 %. Mikrolegujícími prvky jsou Al, Mo, Ti, V, Nb a B v procentuálním zastoupení 0,01 až 0,1 %. Své mechanické vlastnosti získávají kombinací různých legujících prvků a vhodným poměrem jejich množství. Většinou vykazují odolnost proti atmosferické korozi. [2]

2.2.4. Fosforem legované oceli

Jde o zvláštní typy mikrolegovaných oceli, které kromě ostatních legujících prvků obsahují vyšší procento P. Fosfor v tomto množství způsobuje deformaci základní feritické mřížky. Důsledkem pak je nárůst meze kluzu a meze pevnosti. Fosforem legované oceli mají výbornou tažnost, vyšší mez kluzu a mez pevnosti. [2]

2.3. VYSOKOPEVNOSTNÍ OCELI

Jedná se o oceli s vysokou pevností dosahující hodnot až 1000 MPa a mezi kluzu až 700 MPa. Do této skupiny lze zařadit TRIP ocele, ocele dvou a více fázové, martenzitické a TWIP ocele. Charakteristika jednotlivých skupin je uvedena níže v textu.

2.3.1. Použití vysokopevnostních materiálů v automobilovém průmyslu

Automobilový průmysl dnes z velké části využívá hlubokotažných ocelí s mezi kluzu okolo 200 MPa. V posledních letech se pro stavbu karoserií používají i ocelové plechy s mezi kluzu nad 1000 MPa, označované jako materiály vysokopevnostní (extra pevné). Vysokopevnostní materiály se nejčastěji používají na výlisky, které mají při srážce vozidel s překážkou chránit cestující ve vozidle a to buď pohlcením energie nebo přenesením a rozložením této energie na ostatní části karosérie. Díky vyšším pevnostním hodnotám, (viz kap. 2.3.) lze používat materiály s nižší tloušťkou a snížit tak celkovou hmotnost karoserie. Zmenšením tloušťky používaných plechů se docílí až 40% snížení hmotnosti karoserie automobilu, čímž dojde k úspoře pohonných hmot a tím i menší zátěži na životní prostředí.

Vysokopevnostní materiály kombinují dvě důležité vlastnosti - pevnost a tažnost. Jak je v tab.1 názorně uvedeno, tyto materiály je možno rozdělit na vícefázové oceli (dvoufázové, TRIP či martenzitické) a oceli vhodné ke kalení (legované). [2]

2.3.2. Vícefázové oceli

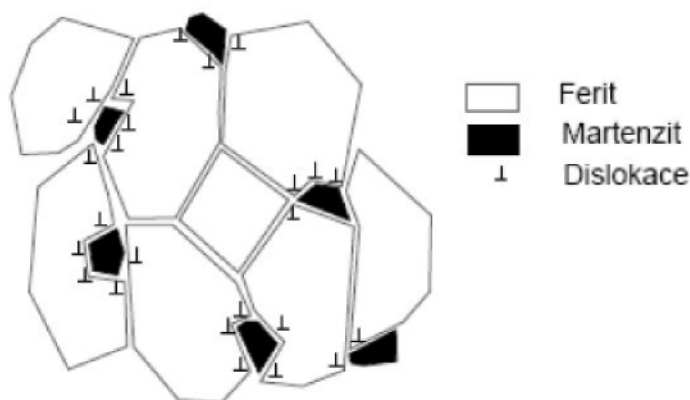
Jedná se o oceli o pevnostech nad 600 MPa. Ve struktuře se vyskytují vždy alespoň dvě fáze, a to základní měkká - feritická a tvrdá - martenzitická či bainitická. Do této skupiny lze zařadit: komplexně fázové oceli, dvoufázové oceli, martenzitické oceli a TRIP oceli. [1]

2.3.2.1. Komplexně fázové oceli

Celá tato skupina patří mezi oceli vícefázové, které vykazují minimální pevnost nad 800 MPa. [4] CP-oceli jsou tvořeny velmi jemnou feritickou mikrostrukturou s vysokým obsahem tvrdých fází. Jsou zde obsaženy stejné legující prvky jako u ocelí TRIP či u dvoufázových ocelí, navíc však tyto oceli obsahují ještě malé množství Nb a Ti.[3] Ve struktuře se vyskytují fáze jako ferit, bainit a martenzit. CP-oceli jsou vhodné k tváření za studena. [4]

2.3.2.2. Dvoufázové oceli

Jedná se o nízkouhlíkové ocele se strukturou tvořenou feritickou maticí, ve které je rozložena bainitická či martenzitická fáze ve formě ostrůvků. Množství bainitu (martenzitu) a jeho rozložení v měkké feritické matici je rozhodující pro pevnost materiálu. Množství feritu může dosahovat až 90%, naproti tomu množství martenzitu může být i 25% z celku. Mez kluzu se zvyšuje s podílem martenzitu ve struktuře. Materiály se vyznačují izotropními vlastnostmi a nabízí ve spojení s BH-efektem (Bake hardening) vysoké hodnoty zpevnění. [4]



Obr. 1: Schématicky znázorněná struktura dvoufázové oceli [5]

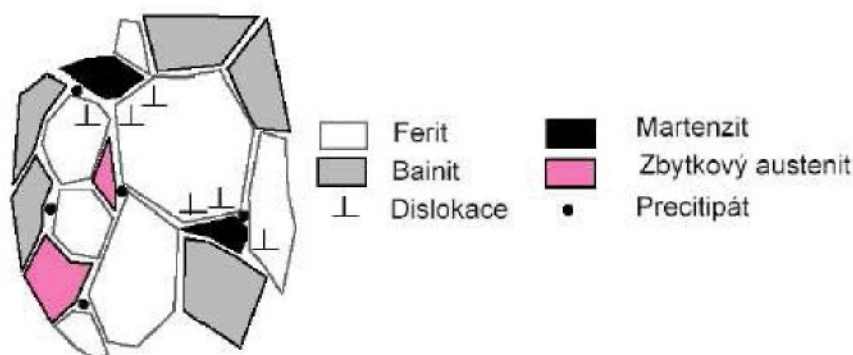
2.3.2.3. Martenzitické oceli

Martenzitické oceli se řadí do skupiny dvoufázových ocelí, které svou martenzitickou strukturu získaly termomechanickým zpracováním. Lze je přímo zařadit k dvoufázovým ocelím. Mají velice jemnozrnnou strukturu s podílem martenzitu až 100%. Chemické složení těchto ocelí se příliš neliší od dvoufázových ocelí. [4]

2.3.2.4. TRIP oceli

Snaha snížit celkovou hmotnost karosérie a splnit náročné předpisy pro zajištění pasivní bezpečnosti dnes vyžadují nasazení ocelí, které se vyznačují dobrou pevností a vysokou tažností. Z těchto důvodů se začaly vyvíjet TRIP oceli. Název TRIP je zkratkou pro **T**Ransformation **I**nduced **P**lasticity (tvárnost vyvolaná transformací). Struktura tohoto materiálu ještě před konečným tvářením při pokojové teplotě je jemná a skládá se z tvárné feritické matrice, ve které se nachází tvrdý horní bainit spolu se zbytkovým metastabilním austenitem ve formě ostrůvků. Tato struktura umožňuje velké prodloužení, a to díky tomu, že se zbytkový austenit přemění během tváření na martenzit.

Vhodnou volbou složení a termomechanického zpracování je možné vyladit stabilitu zbytkového austenitu tak, aby se během procesu konečného tváření postupně přeměnil na martenzit. Tato vlastnost nezaručuje jen dobré rozložení deformace, ale také vyšší hodnoty meze pevnosti hotového dílu. Díky velkému deformačnímu zpevnění při tváření výlisku do konečné podoby se dosahuje vysoké pevnosti finálního dílu. Vedle tohoto značného zpevnění vykazují TRIP oceli i BH efekt. [6]



Obr. 2: Schématicky znázorněná struktura TRIP oceli [5]

2.3.3. Oceli kalené

Během fáze válcování za tepla nebo žíhání je v ocelích vhodných ke kalení přítomen austenit, který je během prudkého ochlazení transformován téměř úplně na martenzit. Tato struktura se může vytvořit také následnou tepelnou úpravou po tváření. Před tvářením mohou nabídnout dobrou tažnost (před tepelným zpracováním). Tyto oceli, často také označované jako termomechanicky zpracované oceli či martenzitické oceli, se po kalení často používají pro zlepšení houževnatosti. [3]

2.3.3.1. Legované oceli

Jedná se o oceli, které jsou obohaceny o některý z legujících prvků zvyšující jeho pevnost (B, Mn atd). Od toho se pak odvíjejí oceli borové či mangan-borové, které se vyznačují svou měkkostí a tažností před tepelným zpracováním, které probíhá za teploty nad A_3 . Po tepelném zpracování pak mají vysokou pevnost a hotové produkty zcela martenzitickou strukturu. [7]

2.3.4. TWIP oceli

Jedná se o austenitické oceli obsahující 15-25% Mn, Al a Si, které dosahují pevnosti až 1200 MPa a tažnosti přes 50%. Díky vysoké tažnosti těchto ocelí mají konečné produkty možnost se deformovat bez porušení materiálu. V konstrukci automobilu to má za následek to, že nedochází k porušení vnitřní konstrukce skeletu. Posádka je tak chráněna deformačními zónami absorbujícími energii na vlastní přetvoření. Tento materiál je v současné době stále ve vývoji. [2]

3. TVÁŘITELNOST PEVNOSTNÍCH MATERIÁLŮ

V této kapitole se věnuje pozornost pouze zpracování vysokopevnostních ocelí. Vysoké pevnosti ocelí je dosahováno díky tepelně mechanickému zpracování.

3.1. TEPELNĚ MECHANICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Proces tepelně mechanického zpracování je přesně řízen a využívá kombinaci tváření a tepelného zpracování. Společným účinkem plastické deformace a zpevnění lze získat oceli o extrémně vysoké pevnosti, konvenčními způsoby tepelného zpracování nedosažitelné. [9]

Tvářením austenitu může dojít k zjemnění jeho zrna, a proto tedy i produkty rozpadu austenitu (martenzit, ferit, perlit) budou jemnější. Dalším důsledkem tváření je zvýšená hustota dislokací, které přecházejí do martenzitu a podílejí se na zvýšení pevnosti. [10]

Mezi nejpoužívanější tepelně mechanické zpracování plechů s vysokou pevností patří řízené válcování a dochlazování.

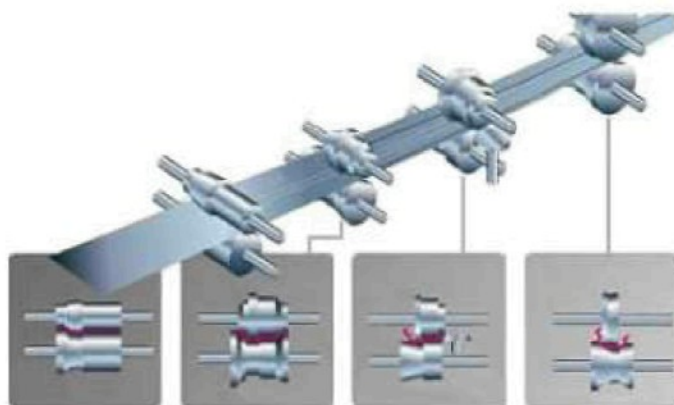
Válcovací teplotou, doválcovací teplotou a velikostí úběru lze řídit procesy dynamické a statické rekystalizace austenitu. Vhodně zvolenou rychlostí ochlazování austenitu z doválcovací teploty lze ovlivnit transformaci jemnozrnného austenitu na jehlicovitý ferit anebo na ferit a perlit s výhodnou kombinací pevnosti a ostatních mechanických vlastností. [10]

3.2. TVÁŘENÍ PLECHŮ

K dosažení požadovaných vlastností výlisku je zapotřebí zvolit i vhodný druh tváření. Konvenční metody tváření se používají především u plechů s nižšími pevnostmi, případně pro tvarově jednoduché díly. Právě tyto materiály s nižším deformačním odporem, které jsou tvárnější, nepotřebují tak velké tvářecí síly pro přeměnu na potřebný tvar výrobku jako vysokopevnostní oceli. [5] Jako nejvýhodnější metody tváření se pro vysokopevnostní oceli používají: roll forming, hydroforming či tváření za tepla s následným ochlazením.

3.2.1. Roll forming

Jde o tváření za studena, kdy je díl postupně vytvarován do konečného stavu postupnými operacemi válcování. Těchto operací může být několik a záleží pouze na tom, jak je daný výrobek tvarově složitý (viz obr. 3). Tímto způsobem je vyráběna velká většina pevnostních dílů z vícefázových ocelí. [5]

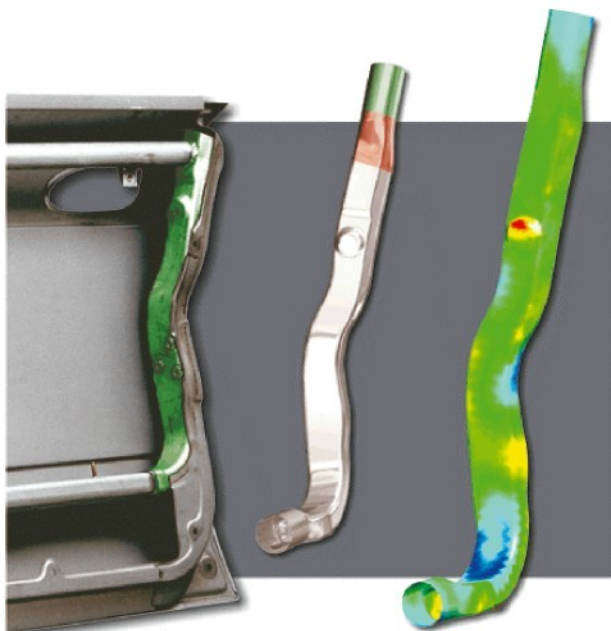


Obr. 3: Výroba dílů z vysoce pevnostních ocelí „roll forming“ [5]

3.2.2. Hydroforming

Při zvyšování pasivní bezpečnosti není kladen důraz pouze na mechanické vlastnosti vysokopevnostních materiálů, ale i na přesné tvarování dílů do požadovaného profilu. V dnešní době se jedná o velice složité výlisky či různé profilované trubky. Takto složitých tvarů finálního výlisku lze dosáhnout pomocí technologie hydroformingu.

Hydroforming je tváření, kdy je k vyvolání potřebného tlaku využito kapaliny, která tlak rovnoměrně rozdělí a tvářenému dílu udělí potřebný odpovídající tvar. Výhodou je možnost výroby velmi tvarově složitých a uzavřených dílů. Dosahované tlaky při tváření vnitřním přetlakem jsou v rozmezí od 35 do 100 MPa a teploty kapaliny od teploty okolního prostředí do 200°C. Nejčastějšími výrobky jsou profilované trubky (viz obr. 4). [11]



Obr. 4: Profilované trubky z vysoce pevnostních ocelí „hydroforming“ [12]

3.2.3. Tváření za tepla s následným kalením

Existují tři možné volby výroby tvářením za tepla [6]:

1. klasická forma tepelného zpracování, díl je po konečném tváření za studena zušlechtěn,
2. díl je v prvním stupni tvářen za studena a pak dotvarován za tepla do konečné podoby se závěrečným ochlazením ve stroji,
3. díl je za tepla tvářen do konečné podoby a poté je ochlazen přímo ve stroji.

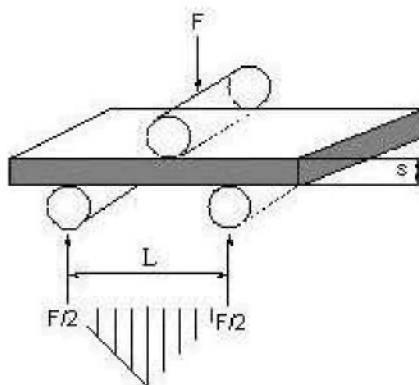
4. ZKOUŠKY

V následující kapitole je věnována pozornost některým často prováděným zkouškám, mezi které patří např. zkouška ohybem, zkouška tvrdosti, zkouška tahem apod.

4.1. ZKOUŠKA OHYBEM (ČSN EN ISO 7438)

Zkouška ohybem dává důležité konstrukční podklady pro ty materiály, které jsou při aplikaci namáhány na ohyb, což je velmi častý případ. Ohybová zkouška také umožňuje stanovit modul pružnosti E u materiálů, u kterých to nelze dostatečně přesně určit z tahových nebo tlakových zkoušek.

Při ohybu je napětí v principu rozloženo tak, že v horních vrstvách je tahové a směrem k neutrální ose se zmenšuje a přes nulové napětí se mění v dolní polovině průřezu na tlakové. [13]



Obr. 5: Schéma zatěžování se znázorněním rozložení ohybového momentu [13]

$$\text{Pevnost v ohybu} \dots \dots \dots R_{mo} = \frac{M_{o \max}}{W_o} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

$$\text{Ohybový moment} \dots \dots \dots M_{o \max} = \frac{F_{\max} \cdot L}{4} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad (2)$$

$$\text{Modul průřezu pro obdélníkový průřez} \dots W_o = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad [\text{mm}^3] \quad (3)$$

F – zatěžující síla [N]

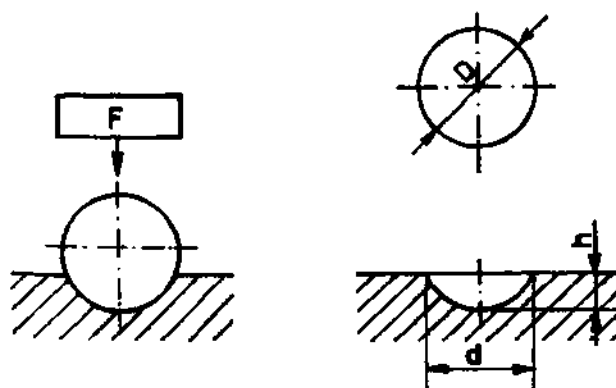
s – tloušťka materiálu [mm]

L – vzdálenost podpor [mm]

4.2. ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE BRINELLA (ČSN EN ISO 6506-1)

Do zkoušeného materiálu se zatlačuje určitou silou F ocelová kalená kulička o průměru $D = 10; 5; 2,5; 2$ a 1 mm. Do tvrdosti 400 HB – ocelové kalené kuličky, nad tvrdost 400 BH – kuličky ze slinutých karbidů. Doba zatěžování u ocelí za normálních podmínek je $10 \div 15$ s. [13]

Zkouška tvrdosti dle Brinella se používá u pevnostních plechů z důvodů objektivity, kdy je kalená kulička schopna správně naměřit hodnoty tvrdosti materiálu. Jiné zkoušky tvrdosti jsou u takovýchto pevnostních materiálů vyloučeny.



Obr. 6: Schéma zkoušky tvrdosti dle Brinella [13]

$$\text{Tvrdost} \dots\dots\dots HB = \frac{0,102F}{A} \quad [-] \quad (4)$$

$$\text{Plocha vtisku} \dots\dots A = \frac{\pi \cdot D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \quad [\text{mm}^2] \quad (5)$$

$$\text{Pevnost v tahu} \dots\dots R_m = k \cdot HB \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

kde F - zátěžná síla [N]

h - hloubka vtisku [mm]

D - průměr kuličky [mm]

d - průměr vtisku [mm]

A - plocha vtisku [mm²]

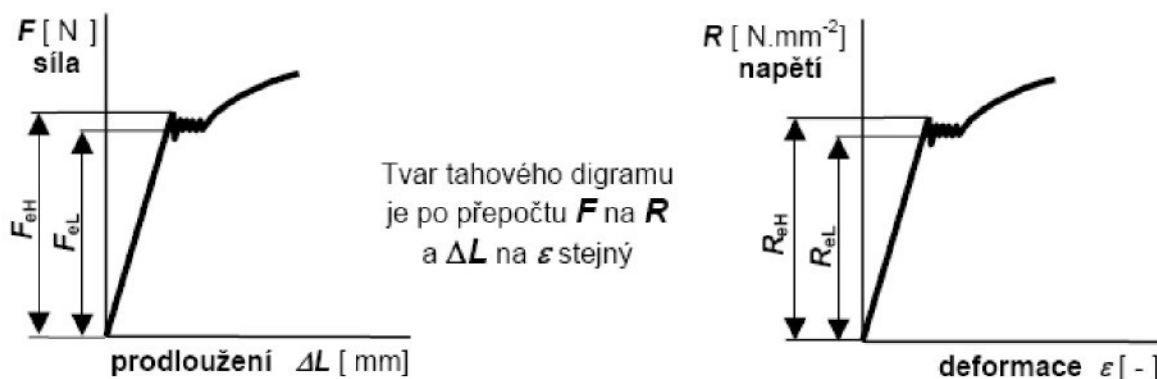
4.3. ZKOUŠKA TAHEM (ČSN EN 10002-1)

Jedním ze základních podkladů pro pevnostní výpočet je soubor napěťových a deformačních materiálových charakteristik, které označujeme jako mechanické hodnoty. Umožňují kvantitativně hodnotit chování materiálů za působení vnějších sil a volit vhodný materiál s optimálními parametry. Zkouška tahem patří mezi statické zkoušky, kdy je zkušební těleso zatěžováno axiální silou při konstantní rychlosti a to až do porušení lomem.

Obvykle se zkouší při okolní teplotě v rozmezí od 10°C do 35°C, pokud není stanoveno jinak a rychlosti zatěžování 10 mm/min. Zkušební tyče musí být do zkušebního stroje upnuty vhodným způsobem (pomocí klínů, závitových, osazených nebo hydraulických čelistí) tak, aby zatížení působilo pokud možno v ose zkušební tyče.

Trhací zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení (kontrakci) zkoušeného materiálu. Trhací stroje kreslí v průběhu trhací zkoušky pracovní diagram, udávající závislost poměrného prodloužení ϵ na napětí R (nebo změny délky L na zatěžující síle F).

Prodlužování tyče je pomocí indukčního nebo tenzometrického snímače převedeno na elektrický signál, který je možno dále elektronicky zpracovávat. Současně je pomocí tenzometrické hlavy upevněné v horním příčniku zaznamenávána i velikost působící zátěžné síly.



Obr. 7: Pracovní diagramy zkoušky tahem [14]

kde F_{eH} – síla na horní mezi kluzu [N]

F_{eL} – síla na dolní mezi kluzu [N]

R_{eH} – napětí na horní mezi kluzu [MPa]

R_{eL} – napětí na dolní mezi kluzu [MPa]

$$\text{Smluvní napětí} \dots\dots\dots R = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (7)$$

$$\text{Smluvní max. napětí} \dots\dots R_m = \frac{F_m}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (8)$$

$$\text{Tažnost} \dots\dots\dots A_x = \frac{L_m - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (9)$$

$$\text{Kontrakce} \dots\dots\dots Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (10)$$

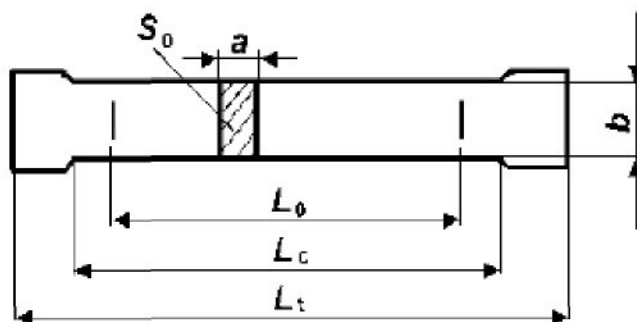
$$\text{Poměrné prodloužení} \dots\dots \varepsilon = \frac{L - L_0}{L} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (11)$$

$$\text{Skutečné přetvoření} \dots\dots \varphi = \ln \frac{L}{L_0} \text{ [-]} \quad (12)$$

Zkoušené tyče jsou dvojího druhu: a, poměrné – pro jejichž počáteční měřenou délku L_0 a počáteční průřez S_0 platí vztah

$L_0 = k \sqrt{S_0}$, kde k je 5,65 a délka $L_0 > 20$ mm

b, nepoměrné – u nichž je délka L_0 nezávislá na počátečním příčném průřezu



Obr. 8: Poměrná zkušební tyč pro zkoušku tahem [14]



kde S_0 – počáteční plocha příčného průřezu zkušební tyče [mm^2]
 a – tloušťka ploché zkušební tyče [mm]
 b – šířka zkoušené délky ploché zkušební tyče [mm]
 L_0 – počáteční měřená délka [mm]
 L_C – zkoušená délka [mm]
 L_C – vzdálenost mezi upínacími čelistmi zkušebního stroje [mm]

5. TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

Při operaci stříháním dochází k postupnému nebo současnému oddělování částic materiálu v celém průřezu podél křivky stříhu. Křivku stříhu tvoří obvod, střížníku a střížnice. Stříhání materiálu lze rozdělit do tří základních částí.

Do první fáze patří dosednutí střížníku na stříhaný materiál, kdy dochází k pružné deformaci. Napětí v tvářeném materiálu je menší než mez pružnosti R_U a hloubka vniknutí do materiálu je tedy závislá na jeho mechanických vlastnostech. Materiál je ohýbán a dochází k zaoblení na straně střížníku a vytlačení na straně střížnice.

Při druhé následující fázi roste napětí a to až za mez kluzu R_e , kdy dochází k trvalé deformaci materiálu. Velikost vniknutí do stříhaného materiálu je opět závislá na mechanických vlastnostech.

Ve třetí fázi stříhu dosáhne napětí meze pevnosti materiálu a vzniká trhlina. Trhlina vzniká ve směru největšího smykového napětí.

5.1. KVALITA STŘIŽNÉ PLOCHY

Střížná plocha je obecně tvořena čtyřmi oblastmi [15]:

1. Zaoblení vstupní hrany stříhaného materiálu.
 2. Pásmo vniknutí střížníku do materiálu až do vzniku trhliny
 3. Vlastní střížná plocha (utržená část)
 4. Pásmo vniknutí střížnice do materiálu až do vzniku trhliny.
3. část tvoří u běžných způsobů stříhání 50 – 80 % velikosti střížné plochy. Pro posuzování kvality střížné plochy je tato oblast rozhodující.

Při stříhání tenkých plechů je hloubka vniknutí střížníku větší a vlastní utržená plocha se zmenšuje. U těchto materiálů však dochází ke vzniku otřepu na straně střížnice. Tento otřep má zásadní význam pro následné operace tváření, neboť obsahuje mikrotrhliny, které se při následných operacích tváření šíří do vlastního materiálu a zabraňují tak vzniku plastických deformací. Kritická velikost otřepů při stříhání tenkých plechů vzniká při velikosti střížné mezery 30 % tloušťky stříhaného materiálu. Zajistit potřebnou kvalitu střížné plochy ve vztahu k následným operacím tváření je možno provést vhodnou volbou střížné mezery a rychlosti stříhání. [15]

5.1.1. Vliv střížné mezery na kvalitu střížné plochy

Volba správné velikosti střížné mezery m_s do značné míry ovlivňuje kvalitu přístříhu z hlediska následných operací tváření. Pro plechy tloušťky $s \leq 3$ mm je možné použít výpočet velikosti střížné mezery vztah [15]:

$$m_s = s \cdot C \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad (13)$$

kde s [mm]..... tloušťka plechu,

τ_{ps} [MPa]..... pevnost materiálu ve stříhu,

C [-]..... součinitel, který se volí v rozmezí 0,005 – 0,035 (nižší hodnoty – lepší střížná plocha, vyšší hodnoty – minimální střížná síla)

Při volbě minimální střížné mezery získáme kvalitní střížnou plochu. Oblast plastického stříhu tvoří až 80 % tloušťky materiálu. Negativním jevem je nepatrné zvětšení střížné síly, střížné práce (až o 40 %) a zvětšuje se také opotřebení nástroje. V oblasti střížné plochy dochází k většímu zpevnění materiálu a tím klesá jeho plastičnost. Důsledkem poklesu plastičnosti jsou menší mezní přetvoření při následných operacích tváření.

Při volbě větší střížné mezery je střížná plocha méně kvalitní důsledkem podstatného zvětšení oblasti utržení materiálu. Intenzita zpevnění v oblasti střížné plochy se zmenší. Jelikož se nástříhy od střížníků a střížnice nesetkají, vzniká na spodní straně stříhaného materiálu otřep, jehož velikost je dána velikostí střížné mezery. [15]

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6.1. CÍLE EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Cílem experimentální části je zjistit vliv střížné mezery ve vztahu k mezní deformaci v okrajových částech výlisku vysokopevnostních plechů. Posoudit jejich rozdílnost a zhodnotit vhodnost k použití v automobilovém průmyslu.

Z dnes již velké nabídky pevnostních a vysokopevnostních ocelových plechů byly vybrány dva materiály CPW 800 a RA-K 40/70, které byly podrobeny zkoušce tahem, metalografickému rozboru a operaci tváření rozšiřováním.

6.2. POUŽITÉ MATERIÁLY

RA-K 40/70

Jedná se TRIP ocel (viz kap. 2.3.2.4.) za studena válcovanou, která své konečné mechanické hodnoty získává přeměnou zbytkového austenitu na martenzit až během tváření. Ocelový plech z tohoto materiálu dosahuje minimální pevnosti dle výrobce ThyssenKrupp Stahl ($R_m = 700$ MPa, při tažnosti $A_{80} = 24 \%$ a $R_{p0,2} = 400$ MPa). Materiál je vhodný použit na crash díly, které jsou určeny k pohlcení většího množství energie při srážce. Tento materiál je dnes již používán ve vozidle Škoda Octavia II. generace.

CPW 800

Materiál z vysokopevnostní oceli CPW 800 patří do kategorie jemnozrnných CP ocelí (viz kap. 2.3.2.1.) s tvrdými a jemnými fázemi ve struktuře s jemnými homogenními precipitáty. Tento materiál se užívá přednostně pro nárazově relevantní díly. Hotový za studena tvářený výlisek z tohoto materiálu dosahuje minimální pevnosti dle výrobce ThyssenKrupp Stahl ($R_m = 800$ až 980 MPa, při tažnosti $A_{80} = 10 \%$ a $R_{p0,2} = 680$ MPa).

6.3. STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

Statická zkouška tahem byla provedena z důvodů zjištění mechanických hodnot materiálů dle normy ČSN EN 10002-1. K měření bylo použito zkušební zařízení TIRATEST 2300 (obr. 9) s mechanickými upínacími hlavami. Trhací zařízení je řízeno pomocí software LabTest v.3.1.16. Rychlost zatěžování byla 10 mm/min.



Obr. 9: Zkušební zařízení TIRATEST 2300

6.3.1. Příprava vzorků pro zkoušku tahem

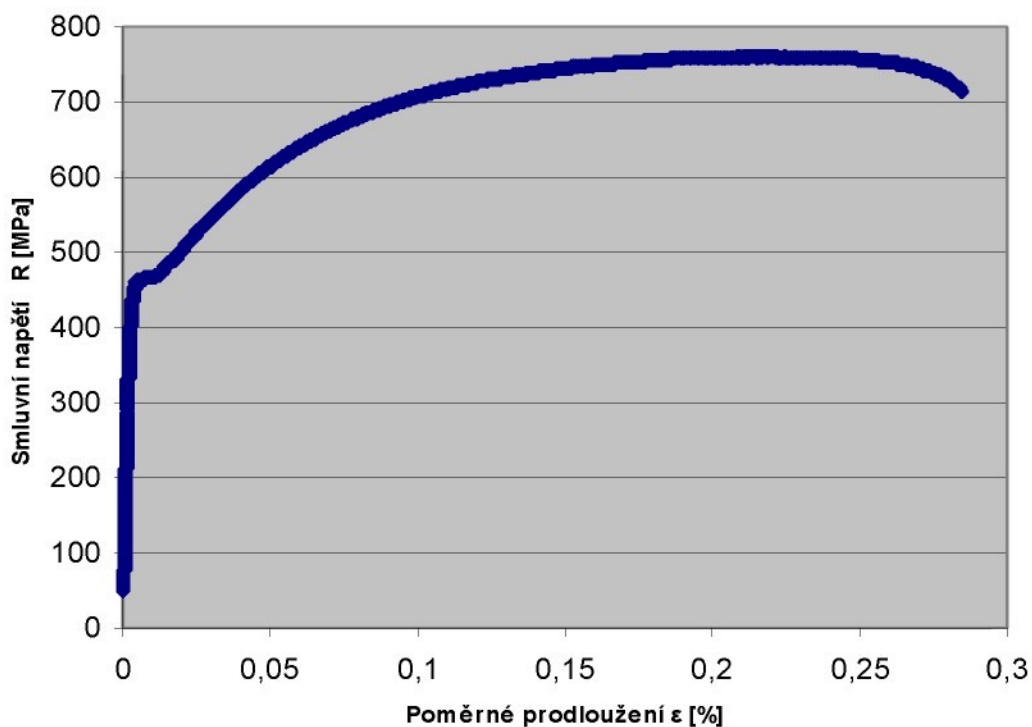
Pro vlastní zkoušku bylo použito 8 zkušebních těles odpovídajících normě ČSN EN 10002-1. Vzorky byly odebrány ve směru 0° . Několikrát se ovšem stalo, že lom vznikl mimo činnou délku průtahoměru ($L_0 = 50$ mm), či přímo na hranici rozsahu měřené délky, což samozřejmě znehodnocovalo získané výsledky a proto tyto výsledky nebyly do souboru zkoušek zahrnuty.

6.3.2. Dílčí závěr

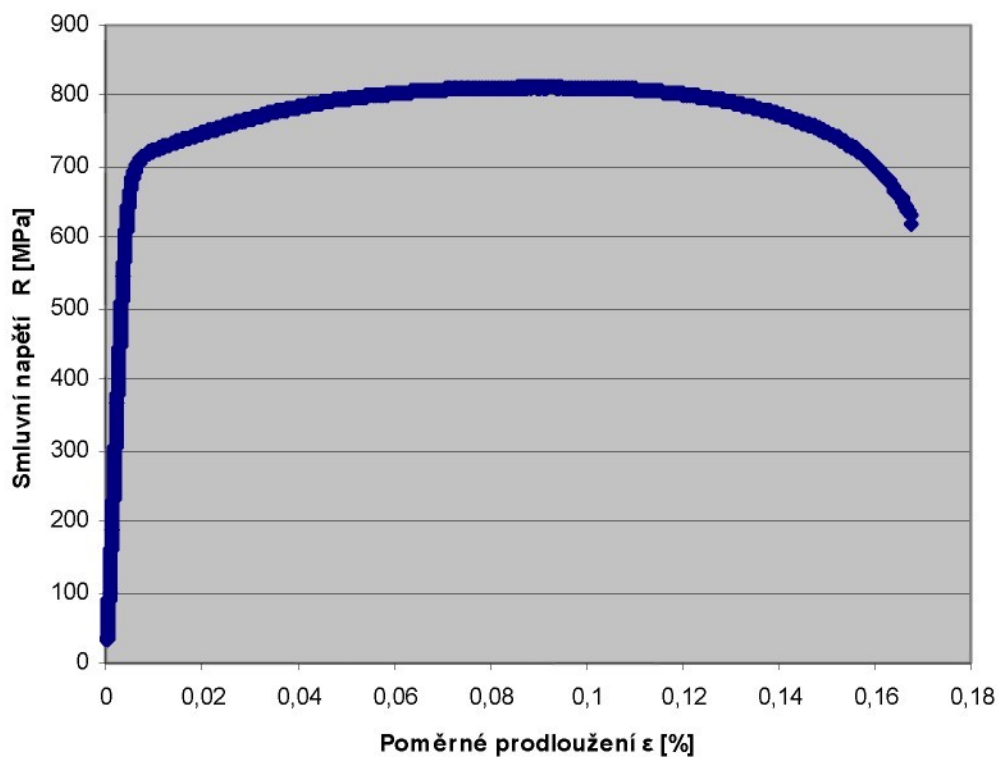
Při zkoušce tahem byly naměřeny pro materiál RA-K 40/70 tyto hodnoty. $R_m = 760,40$ MPa, při tažnosti $A_{50} = 27,83$ % a $R_{p0,2} = 458,93$ MPa. Z výsledků tedy vyplívá, že minimální hodnoty udávané výrobcem, tedy firmou ThyssenKrupp Stahl jsou nižší, než námi naměřené. U materiálu CPW 800 pak byly naměřeny hodnoty tyto, $R_m = 871,91$ MPa, při tažnosti $A_{50} = 16,36$ % a $R_{p0,2} = 729,19$ MPa. Opět se tedy ukázalo, že zjištěné výsledky jsou vyšší, než minimální hodnoty udávané na materiálových listech od výrobce.



Graf 1. Pracovní diagram zkoušky tahem materiálu RA-K 40/70



Graf 2. Pracovní diagram zkoušky tahem materiálu CPW 800



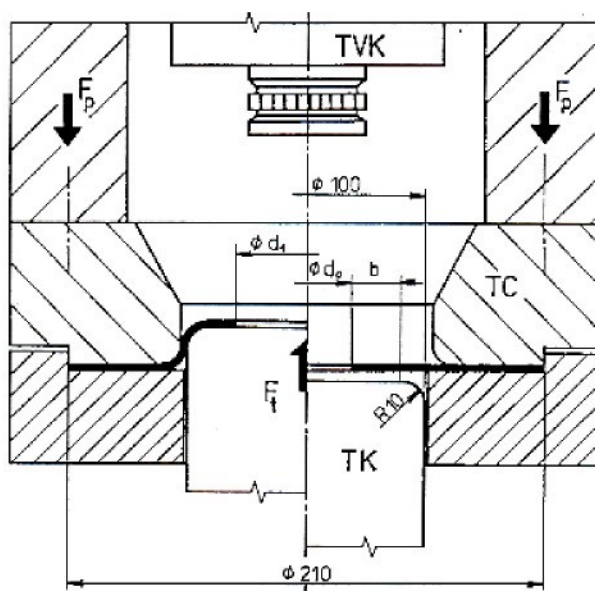
Tab.2: Tabulka mechanických hodnot materiálů RA-K 40/70 a CPW 800

	RA-K 40/70	CPW 800
R_m [MPa]	760,40 ± 2,99	871,91 ± 7,47
R_{p0,2}[MPa]	458,93 ± 2,70	729,19 ± 6,32
A₅₀ [%]	27,83 ± 0,73	16,36 ± 0,60

6.4. ZKOUŠKA ROZŠIŘOVÁNÍM OTVORU

6.4.1. Testovací zařízení

Pro vyhodnocování vlivu střížné mezery na mezní přetvoření je použita upravená zkouška rozšiřováním otvoru dle Siebela a Pompa. Vzorky jsou rozšiřovány na zařízení, jehož schéma je zobrazeno na obr. 10.



Obr. 10: Schéma zařízení pro zkoušku rozšiřováním

K tomuto účelu je u zkušebního zařízení instalován televizní okruh s průmyslovou televizní kamerou a obrazovkou, na které lze celý proces rozšiřování sledovat. Jelikož průmyslová kamera nemá dostatečné rozlišení, je v některých případech vhodnější proces

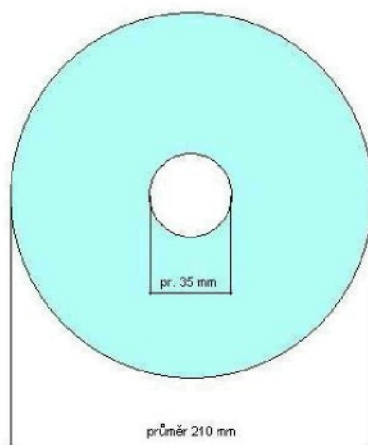
rozšiřování sledovat přímo. Zařízení pro zkoušku rozšiřování bylo upnuto na hydraulický lis CBA 300. Celé zkušební zařízení je na obr. 11.



Obr. 11: Hydraulický lis CBA 300 pro zkoušku rozšiřováním

6.4.2. Příprava vzorků pro zjišťování vlivu střížné mezery na mezní deformaci

Při stříhání rozměrných a tvarově členitých výrobků je obtížné dodržet rovnoměrnou a optimální střížnou mezeru. Aby byly modelovány skutečné podmínky stříhání, byly vystřiženy do přístřihů průměru 210 mm otvory průměru 35 mm, viz obr. 12.

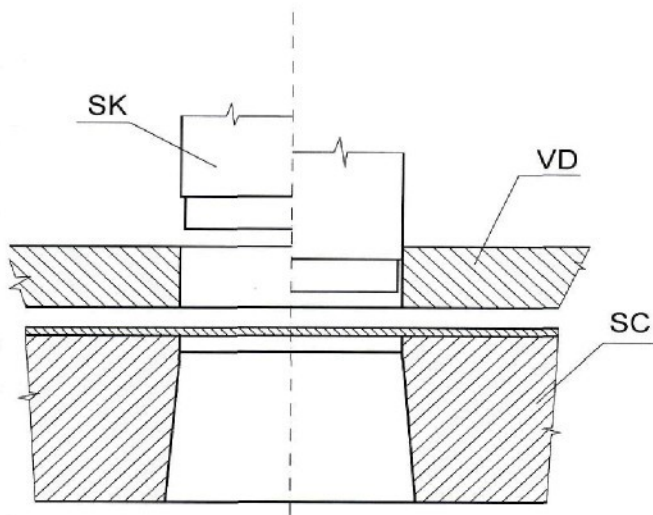


Obr.12: Znázornění přístřihu

Otvory byly stříhány pomocí 6ti výměnných střížníků, což umožnilo měnit střížnou mezeru m_s . Získané rozměry a hodnoty m_s jsou uvedeny v tabulkách č. 3 a 4. Široké rozmezí střížných mezer m_s by mělo pokrýt všechny stavy, které mohou nastat při stříhání.

Pro každou střížnou mezeru byly od každého typu plechu zhotoveny 3 vzorky. Na jednotlivých přístřizích obou materiálů byly pak vystříženy otvory s jednotlivými střížnými mezerami, ze kterých se později provedly metalografické výbrusy tvaru střížné plochy (viz obr. 14 až 25).

Při stříhání otvorů průměru 35 mm se používaly střížné nástroje vyrobené z nástrojové oceli 19 312, kalené a popuštěné na 58 HRC. Schéma střížného nástroje je na obr. 13. Změny velikosti střížné mezery m_s se dosahovalo výměnou střížníku. Rovnoměrná velikost střížné mezery po obvodě stříhu byla zajištěna přesným vedením střížníku vůči střížnici pomocí vodící desky.



Obr.13: Schéma střížného nástroje

kde VD.....vodící deska
 SK.....střížník
 SC.....střížnice

Hodnoty střížníků, střížnic a střížných mezer jsou uvedeny v tabulkách 3. a 4. Velikost střížné mezery je určena vztahem:

$$m_s = \frac{d_{SC} - d_{SK}}{2} \quad (14)$$

kde d_{SC} [mm].....průměr střížnice

d_{SK} [mm].....průměr střížníku

Tab.3: Velikosti střížných mezer materiálu RA-K 40/70

RAK 40/70, s = 1,51 mm							
d_{SC} [mm]	-	35,20					
d_{SK} [mm]	-	35,18	34,88	34,56	34,24	33,92	33,60
m_s [mm]	soustr.	0,01	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80
m_s [%s]	0,002	0,66	10,59	21,19	31,78	42,38	52,98

Tab.4: Velikosti střížných mezer materiálu CPW 800

CPW 800 s = 2,00 mm							
d_{SC} [mm]	-	35,20					
d_{SK} [mm]	-	35,18	34,88	34,56	34,24	33,92	33,60
m_s [mm]	soustr.	0,01	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80
m_s [%s]	0,006	0,5	8	16	24	32	40

6.4.3. Vlastní měření a vyhodnocení zkoušky

Jak již bylo v kapitole 6.4.2. uvedeno, zkouška rozšiřováním se provádí do okamžiku, kdy začíná vznikat první trhlinka na vnitřním okraji přístřihu. Jakmile tento stav nastane, zkouška je okamžitě ukončena.

Výsledkem měření po zkoušce rozšiřování je velikost lomové tangenciální deformace φ_{tl} , která je vyjádřena vztahem:

$$\varphi_{tl} = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (15)$$

kde d_0 [mm].....počáteční průměr rozšiřovaného otvoru

d_l [mm].....konečný průměr rozšiřovaného otvoru

V důsledku anizotropie materiálu není otvor po rozšiřování kruhový a průměr otvoru se pohybuje v rozmezí průměrů d_{min} až d_{max} . Konečný průměr otvoru d_l se stanoví jako průměrná hodnota:

$$d_l = \frac{d_{max} - d_{min}}{2} \quad (16)$$

kde d_{max} [mm].....maximální průměr rozšiřovaného otvoru

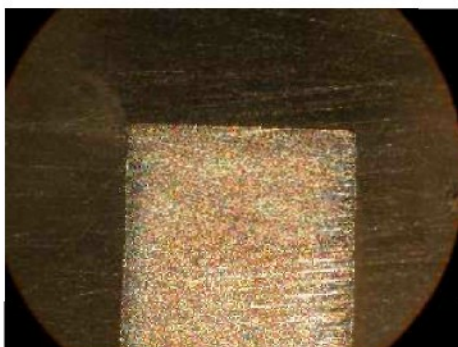
d_{min} [mm].....minimální průměr rozšiřovaného otvoru

Z naměřených hodnot byly vypočítány velikosti deformace φ_{tl} (15) pro materiál RA-K 40/70 a CPW 800. Velikosti průměrných deformací obou materiálů jsou uvedeny v tabulkách 5 a 6. Z průměrných hodnot deformací φ_{tl} pro materiál RA-K 40/70 a CPW 800 byly sestaveny grafy 3 a 4, které znázorňují závislost střížné mezery m_s na deformaci φ_{tl} .

Pro všechny střížné mezery a pro zkoumané materiály byly pořízeny metalografické výbrusy okolí střížné plochy. Tyto výbrusy jsou vyobrazeny na obr. 14 až 25 a lze na nich pozorovat tvar střížné plochy a oblast ovlivněnou stříháním. Vyobrazení je ve 100 násobném zvětšení.



RA-K 40/70



Obr. 14. Střížná plocha m_s 0,66 %s



Obr. 15. Střížná plocha m_s 10,59 %s



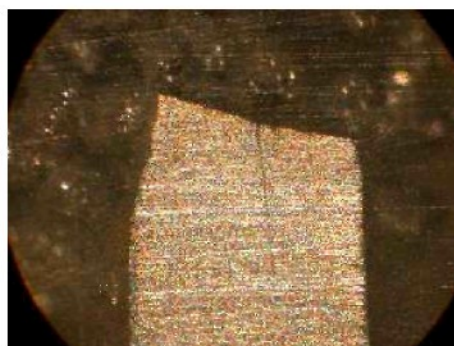
Obr. 16. Střížná plocha m_s 21,19 %s



Obr. 17. Střížná plocha m_s 31,78 %s



Obr. 18. Střížná plocha m_s 42,38 %s



Obr. 19. Střížná plocha m_s 52,98 %s



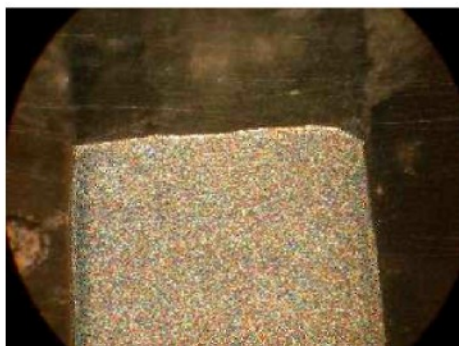
CPW 800



Obr. 20. Střížná plocha m_s 0,5 %s



Obr. 21. Střížná plocha m_s 8 %s



Obr. 22. Střížná plocha m_s 16 %s



Obr. 23. Střížná plocha m_s 24 %s



Obr. 24. Střížná plocha m_s 32 %s

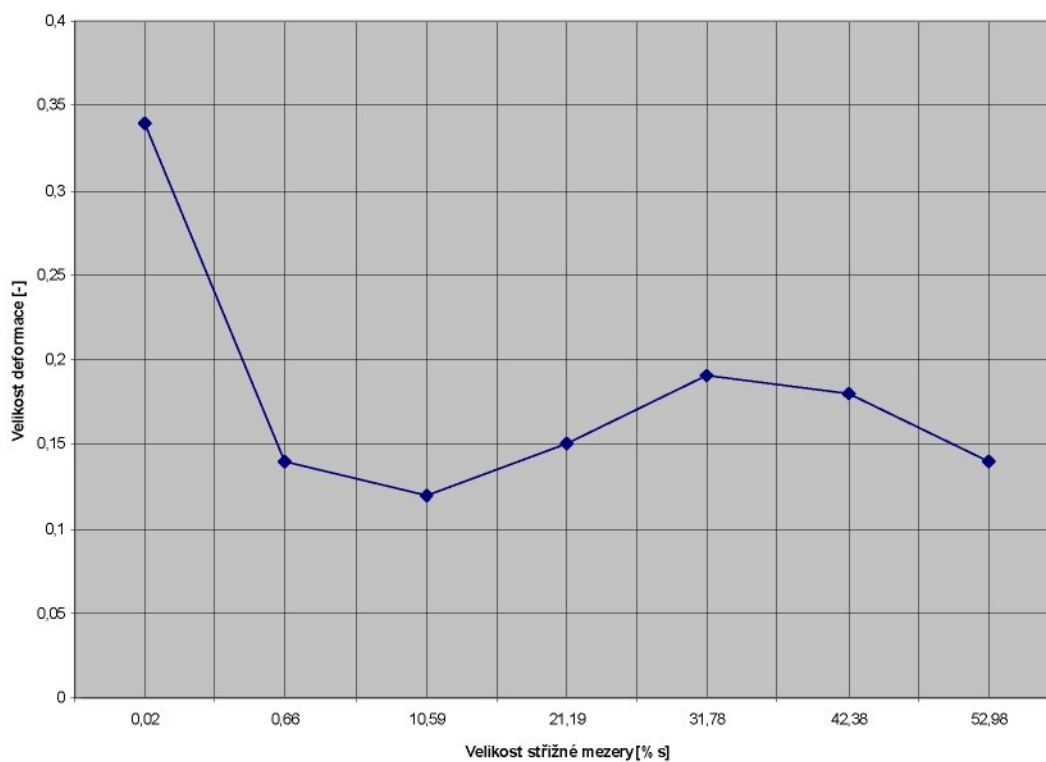


Obr. 25. Střížná plocha m_s 40% s

Tab.5: Průměrné velikosti deformace pro střížné mezery materiálu RA-K 40/70

m_s [% s]	φ_{II} [-]	Směrodatná odchylka [-]
0,66	0,142	0,041
10,59	0,125	0,023
21,19	0,151	0,042
31,78	0,198	0,042
42,38	0,186	0,038
52,98	0,144	0,037

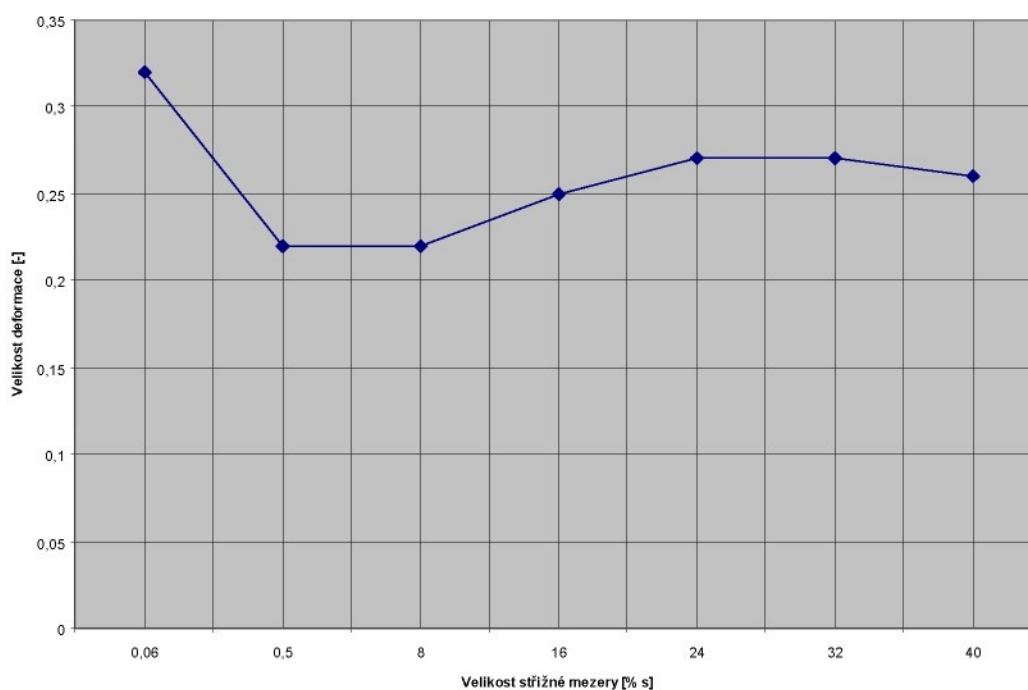
Graf 3. Vliv střížné mezery m_s na velikost deformace φ_1 materiálu RA-K 40/70



Tab.6: Průměrné velikosti deformace pro střížné mezery materiálu CPW 800

m_s [% s]	φ_{II} [-]	Směrodatná odchylka [-]
0,5	0,224	0,023
8	0,221	0,013
16	0,250	0,041
24	0,272	0,025
32	0,278	0,012
40	0,266	0,038

Graf 4. Vliv střížné mezery m_s na velikost deformace φ_2 materiálu CPW 800



6.4.4. Dílčí vyhodnocení

Z fotografií střížných hran je zřejmé, že u materiálu CPW 800 nevzniká otřep ani při použití maximální střížné mezery m_s . U materiálu RA-K 40/70 je otřep nejmenší při použití nulové střížné mezery.



Z hlediska dosažení maximální lomové tangenciální deformace je zřejmé že nejvyšších hodnot bylo u obou materiálů dosaženo při rozšiřování obrobeného otvoru. Z grafů je patrné, že pro nulovou střížnou mezeru dojde k podstatnému vyčerpání plastických schopností u obou materiálů a dosažená tangenciální deformace dosahuje nejnižších hodnot. S rostoucí střížnou mezerou dochází u materiálu RA-K 40/70 k růstu dosažené mezní tangenciální deformace až do hodnoty odpovídající optimální střížné mezeře. Při překročení této hodnoty dochází opět ke snížení hodnoty mezní deformace. U materiálu CPW 800 je trend obdobný, což se shoduje i s použitými literárními prameny. Významnou roli zde ovšem hraje tloušťka materiálu. U materiálu CPW 800 je maximální dosažená střížná mezera (dle omezení použitým nástrojem) na hranici 40% oproti 53% u materiálu RA-K 40/70. Maximální hodnoty lomové tangenciální deformace byly pro oba zkoušené materiály naměřeny při střížné mezeře 32%. Tuto hodnotu lze tedy označit jako optimální střížnou mezeru z hlediska dosažení maxima tangenciální deformace. Na zhotovených fotografiích pro střížnou mezeru $m_s \approx 32\%$ je patrné, že z hlediska kvality střížné plochy tomu tak zdaleka není.

Je tedy nutné zohlednit, zda se při výrobě vyžaduje maximální velikost lomové tangenciální deformace po obvodu přístřihu, nebo zda se jedná o finální tvar a je požadována maximální kvalita střížné plochy.



7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat mezní přetvoření v okrajových částech výlisků z pevnostních plechů.

V teoretické části jsou popsány jednotlivé druhy pevnostních a vysokopevnostních materiálů, vybrané typy jejich zkoušení a v neposlední řadě i technologie stříhání, jejíž znalost je důležitá pro následnou zkoušku rozšiřování dle Siebela a Pompa.

V experimentální části jsou statickou zkouškou tahem ověřeny základní mechanické vlastnosti materiálů vybraných pro měření. Jedná se o materiály RA-K 40/70 a CPW 800.

Pro určení lomové tangenciální deformace byla použita modifikovaná zkouška rozšiřování otvoru dle Siebela a Pompa. Rozšiřované otvory byly do materiálu zhotoveny s různými střížnými mezerami pomocí speciálního nástroje. Na základě velikosti zjištěných mezních tangenciálních deformací byly stanoveny optimální střížné mezery z hlediska mezních deformací. Z dílčích výsledků je zřejmé, že pro oba materiály je optimální střížná mezera na hranici 32% z tloušťky materiálu, což ovšem není optimální střížná mezera z hlediska kvality střížné plochy.

Získané poznatky a závěry se shodují s literárními prameny. Jsou doplňujícími materiály v oblasti materiálových dat vysokopevnostních plechů používaných v automobilovém průmyslu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <<http://cs.wikipedia.org>>, 10.3.2006
- [2] SLÁMOVÁ, M.: Vysokopevnostní materiály v konstrukci osobního automobilu, diplomová práce, TUL Liberec, 2005
- [3] ZIEGELHEIMOVA, J.: The Mechanical Characteristic of New Developed Steel Sheets, Dissertation, ČVUT Praha, 2003
- [4] Propagační materiály firmy ThyssenKrupp Stahl.
- [5] <<http://www.atlas-spaceframe.de>>, 14.1.2006
- [6] Propagační materiály firmy Škoda
- [7] European Automative Supplier Conference; Proccessing state – of – the – art multi – phase steels, září 2004
- [8] <<http://www.lam.mw.tu-muenchen.de>>, 5.2.2006
- [9] Norma ČSN EN 10002-1 „Kovové materiály – zkouška tahem-Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty“, únor 2002
- [10] PTÁČEK, L. a kolektiv: Nauka o materiálu II, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002: ISBN: 80-7204-248-3
- [11] <<http://www.fbmfg.thomasregistr.com>>, 25.3.2006
- [12] <<http://www.mtbs.cz>>, 1.4.2006
- [13] <www.kmt.vslib.cz>, 4.4.2006
- [14] <<http://www.fme.vutbr.cz>>, 10.4.2006
- [15] SOLFRONK, P.: Mezní přetvoření v okrajových oblastech výlisků, diplomová práce, TUL Liberec, 1995

Příloha č. 1
Protokol ze zkoušky tahem materiálu RA-K 40/70

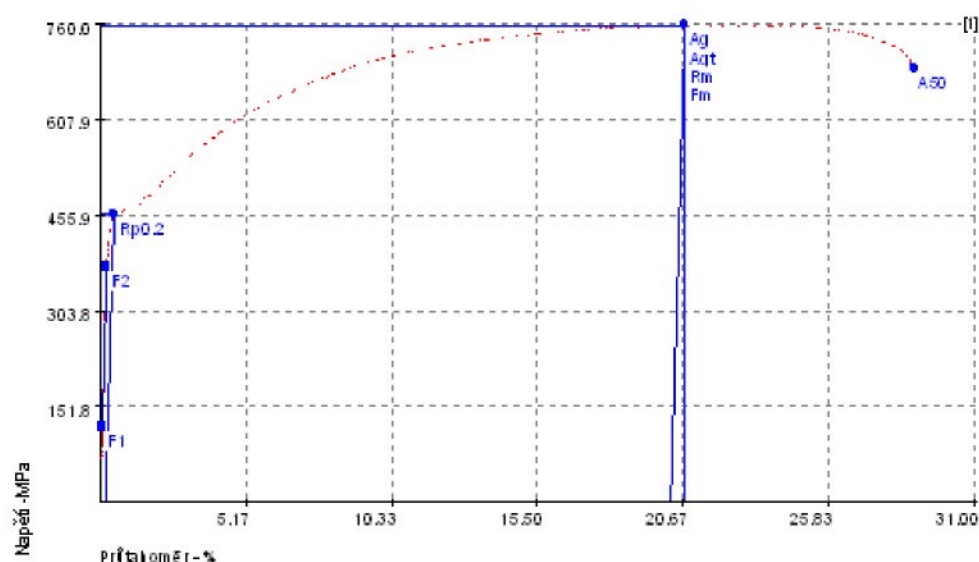
Statická zkouška tahem

Vstupní hodnoty

Testovaný materiál :	RAk 40/70	Zkouška provedena dle :	EN 10002
Plocha průřezu vzorku :	13,52 x 1,51	Vypracoval :	David Mrnka
Směr odebrání vzorku :	0°	Datum testu :	14.3.2006
Výrobce :	ThyssenKrupp	Zkušební teplota :	
Rychlost posuvu :	10 mm/min.	Zkušební teplota :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50 %	Aq %
1	457.85	758.70	28.34	20.18
2	460.47	759.93	28.03	20.60
3	457.99	763.71	27.26	21.09
4	464.66	759.97	27.91	20.86
5	457.60	759.26	28.35	20.20
6	458.04	762.91	26.27	22.33
7	455.58	754.96	28.07	20.64
8	459.26	763.72	28.39	20.23
x	458.93	760.40	27.83	20.77
s	2.70	2.99	0.73	0.71



Technická univerzita v Liberci FS

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů
Hájkova 6, 461 17 Liberec 1
Ing. Pavel Doubek
e-mail: pavel.doubek@vslib.cz
Tel.: +420 485 3533735, +420 604 843 632

Protokol ze zkoušky tahem materiálu CPW 800

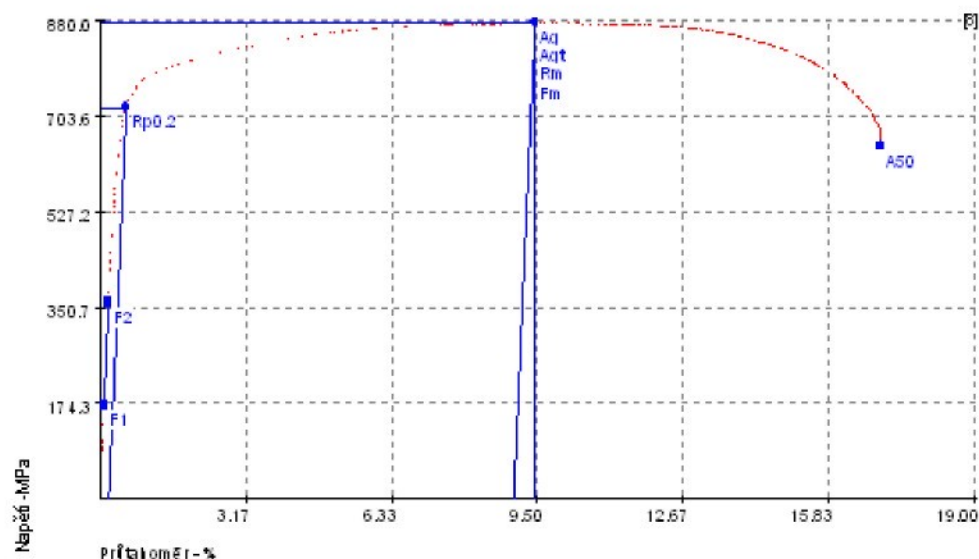
Statická zkouška tahem

Vstupní hodnoty

Testovaný materiál :	CPW 800	Zkouška provedena dle :	EN 10002
Plocha průřezu vzorku :	2,00 × 13,78	Vypracoval :	David Mrnka
Směr odebrání vzorku :	0°	Datum testu :	16.3.2008
Výrobce :	ThyssenKrupp	Zkušební teplota :	
Rychlost posuvu :	10 mm/min.	Zkušební teplota :	

Výstupní hodnoty

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A60 %	Aq %
1	724.62	863.82	16.04	8.21
2	737.78	869.62	16.73	7.95
3	725.36	870.02	16.82	8.75
4	735.19	871.17	15.37	8.25
5	732.97	866.75	16.01	8.18
6	724.31	869.48	16.06	8.89
7	733.10	888.10	17.29	8.92
8	720.21	876.56	16.58	8.96
x	729.19	871.94	16.36	8.51
s	6.32	7.47	0.60	0.41



Technická univerzita v Liberci FS Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů
Hájkova 6, 461 17 Liberec 1
Ing. Pavel Doubek.
e-mail: pavel.doubek@vslib.cz
Tel.: +420 485 3533735, +420 604 843 632

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne 26. května 2006

.....

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Liberec 26. May 2006

.....