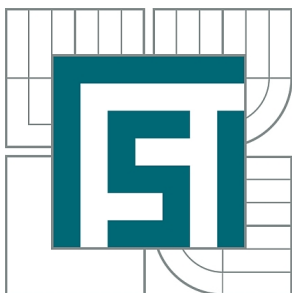


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYTVÁŘENÍ TAŽENÝCH LEMŮ NA PLECHU Z VYSOKOPEVNOSTNÍ OCELI

MANUFACTORY OF DROWN FLANGES ON A SHEET OF HIGH-STRENGTH STEEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR LAŠTOVICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Laštovica

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Vytváření tažených lemů na plechu z vysokopevnostní oceli

v anglickém jazyce:

Manufactory of drawn flanges on a sheet of high-strength steel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Lemované otvory na plechových výliscích jsou při požadavcích na velkou výšku lemu zhotovovány v předtažených otvorech. Vzhledem k požadavkům na zajištění vysoké pevnosti těchto dílců při jejich minimální hmotnosti, je třeba prověřit možnosti zhotovování takovýchto lemů na pleších z vysokopevnostních ocelí.

Cíle diplomové práce:

Na podkladě aktuálních trendů vývoje sedačkových komponentů osobních automobilů, budou v práci vytipovány vhodné představitele pro testování. Po prověření mechanických vlastností vybraných vysokopevnostních ocelí, bude proveden návrh technologie zhotovování tažených lemů na těchto materiálech, včetně konstrukčních a procesních údajů. Dále bude navržen přípravek, na kterém budou testovány jednotlivé varianty tažených lemů. Po vyhodnocení experimentální práce budou učiněny závěry o lisovatelnosti jednotlivých variant tažených lemů. Součástí práce bude i prověření pevnosti závitů vytvořených v tažených lemech.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
3. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření. Část II. 1. vyd. Brno: CERM, 2011. 155s. ISBN 978-80-214-4406-5
4. FOREJT, Milan, Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9
5. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. 1.vyd. UO Brno. 2008. 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2
6. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
7. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

LAŠTOVICA Petr: Vytváření tažených lemů na plechu z vysokopevnostní oceli.

Na základě studia materiálů dodaných firmou PWO Unitools a.s. a rad pracovníků konstrukce byl navržen přípravek na tváření průtaží. Tento přípravek byl vyroben a pomocí něj byly prováděny zkoušky výroby průtaží různých průměrů z vysokopevnostních materiálů. Při těchto zkouškách byly optimalizovány následující parametry – síla horního a dolního přidržení a výška hlavních dorazů. Do takto vyrobených průtaží byly vytvářeny závity a tyto závitové spoje byly testovány na maximální krouticí moment a na maximální tlakovou sílu.

Klíčová slova: vysokopevnostní oceli, průtaže, plošné tváření, optimalizace

ABSTRACT

LAŠTOVICA Petr: Manufactory of drawn flanges on a sheet of high-strength steel.

Based on study of documents supplied by PWO Unitools a.s. and on advices of design office staff, tool for forming flanges was designed. This tool was then manufactured and it has been used for carrying test of creating flanges of various diameters from high-strength steels. During these tests, the following parameters were optimized – force of upper and lower blank holder and the height of the main guides. Threads were created into these drawn flanges. These threaded joints were later tested for maximum torque and maximum compressive strength.

Keywords: High-strength steels, flanges, sheet metal forming, optimization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LAŠTOVICA Petr: *Vytváření tažených lemů na plechu z vysokopevnostní oceli*. Brno, 2014. 55s, 6 výkresů, 8 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 30.5.2014

.....
Bc. Petr Laštovica

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval firmě PWO Unitools a. s. za možnost vypracování diplomové práce, konkrétně ing. Martinu Slámovi. Poděkování patří i rodině, která mi byla při studiu morální a finanční oporou.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 KONSTRUKCE SEDAČEK	11
2 VÝROBA VNITŘNÍCH LEMŮ	13
2.1 Lemování otvorů pevným nástrojem	14
2.1.1 Napěťový stav	14
2.1.2 Deformační stav	15
2.1.3 Ovlivňování deformačních parametrů procesu	16
2.2 Metody výroby průtaží pevným nástrojem	17
2.3 Lemování metodou FlowDrill	18
2.4 Výroba závitů	19
3 MATERIÁLY	22
3.1 Vliv materiálových vlastností na tváření	22
3.2 Vysokopevnostní materiály	24
4 ZKOUŠKY	30
4.1 Zkouška rozšiřováním otvoru	30
4.2 Zkouška maximálního krouticího momentu	32
4.3 Peel – off test	32
4.4 Tahová zkouška	33
5 PŘÍPRAVEK NA TESTOVÁNÍ PRŮTAŽÍ	35
5.1 Starý přípravek	35
5.2 Konstrukce přípravku	36
5.2.1 Horní polovina přípravku	37
5.2.2 Spodní polovina přípravku	38
5.2.3 Použité materiály	39
5.2.4 Určení výšky průtaží	40
6 OPTIMALIZACE PROCESU VÝROBY PRŮTAŽE	45
6.1 Experimentální určení parametrů	46
6.2 Zkoušky mechanických vlastností průtaží	48
6.2.1 Maximální krouticí moment	48
6.2.2 Peel – off test	49
6.3 CP 1000 a DP980Y700	52
7 TECHNICKÉ HODNOCENÍ	53
8 ZÁVĚRY	55
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků a tabulek	
Seznam příloh	

ÚVOD

Materiály pro automobilový průmysl musí splňovat vysoké nároky. V současnosti je jedním z nejdůležitějších parametrů poměr hmotnosti a pevnosti. Je to logický důsledek souboje, který mezi sebou vedou výrobci automobilů. Cílem je dosáhnout minimální celkové hmotnosti, jež má vliv na spotřebu pohonných hmot, tvorbu emisních plynů a jízdní vlastnosti vozu. Tyto materiály však musí být zároveň i velmi pevné, aby mohly zaručit dostatečnou bezpečnost i při kritických podmínkách, které by mohly nastat při havárii vozu. Tyto protichůdné požadavky plní použitím vysokopevnostních materiálů.

Velká část těchto materiálů je použita na plošně tvářené výrobky tzn. plechy. Z nich se tvářením vyrábějí části karoserií a množství dalších součástek, mezi které patří i díly sedačkových komponentů. Samotné kostry sedaček jsou poté spojovány svařováním a šroubovými spoji. Z hlediska celkových nákladů je nevýhodné navařovat na plechy matici, levnější je výroba lemu a následné vyřezání závitů (obr. 1).

Cílem této diplomové práce je konstrukce přípravku pro testování tváření těchto lemů do vysokopevnostních plechů dle aktuálních trendů vývoje sedačkových komponent. Návrh technologie tažení lemů – geometrie tažníků, matic a parametrů procesu a následné vyhodnocení lisovatelnosti jednotlivých variant.

Závitování lemů a prověření pevnosti provedením zkoušek na kontrolu krouticího momentu a vytlačovací síly dle standardů zákazníků vyrábějících sedačkové komponenty.



Obr. 1 Příklady průtaží na bočnicích sedaček

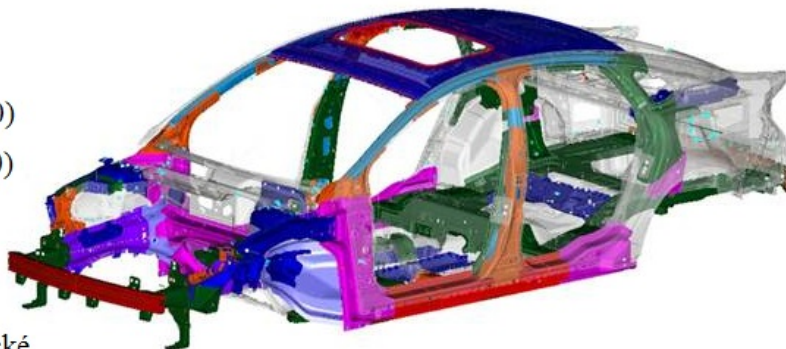
1 KONSTRUKCE SEDAČEK

[4], [6]

Při konstrukci automobilu je zvláštní pozornost věnována prostoru pro řidiče a cestující. Z bezpečnostního hlediska vše směřuje k tomu, aby se během havárie tento prostor nedeformoval. Proto je celý rám složen z dílů zhotovených z vysokopevnostních materiálů, jejichž úkolem je energii pohltit nebo směřovat mimo prostor cestujících (obr. 2).

Materiály

-  měkká ocel
-  HSLA ($Re < 300$)
-  HSLA ($Re > 300$)
-  DP 600
-  DP 800
-  DP 1000
-  Bor - Martenzitické



HSLA – vysokopevnostní nízkolegované oceli, DP – dvoufázové oceli

Obr. 2 Rám vozidla Ford Fusion [4]

Samozřejmostí je potom také kvalitní konstrukce autosedačky. Ta musí být pevná a odolná. Musí být schopna udržet váhu cestujícího a to hlavně v případě autonehody. Během čelního nárazu je vozidlo okamžitě zpomaleno. Lidské tělo si však zachová svou kinetickou energii a pokračuje vpřed.

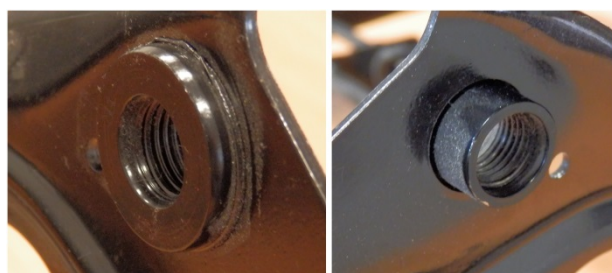
Úkolem pasivních bezpečnostních prvků vozu je tento pohyb nejdříve zpomalit a potom zastavit. Airbagy ve spolupráci s bezpečnostními pásy zaručují, že lidské tělo nezastaví náhle jako vozidlo, ale že bude před zastavením patřičně zpomaleno.

Kvalitní autosedačka se proto v takové situaci nesmí deformovat a musí udržet cestujícího na jeho místě. Zároveň nesmí dojít k poškození, které by bránilo rychlému vystoupení z vozidla. Kostra sedačky je sestava tvářených plechových dílů spojených převážně svařováním a šroubovými spoji (obr. 3). Kostra je uložena na kolejnicích, které umožňují nastavení polohy sedačky v podélném směru. Spojení sedačky s vedením v kolejnicích zajišťují šroubové spoje.

Tyto spoje mohou být realizovány pomocí navařené matice. Tato metoda je však problematická. Díly, na které bude navařena matice, se nejdříve tváří v transferovém nástroji a poté musí být převezeny na svařovací linku. Tam musí být ručně zakládány obsluhou. Čas přivaření matice bude navíc vždy delší než zdvih nástroje (obr. 4).

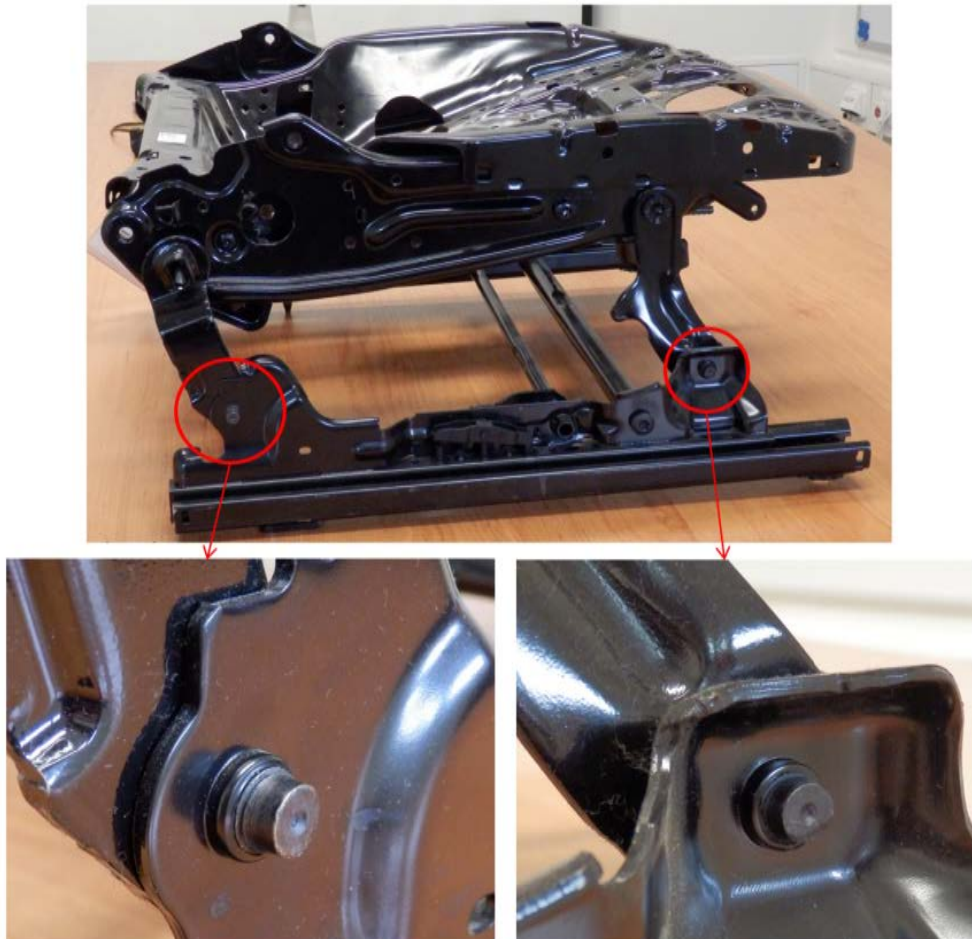


Obr. 3 konstrukce autosedačky [6]



Obr. 4 navařené matice

Další metodou je výroba vnitřního lemu otvoru tzv. průtaže a vyrobení závitu. Obě tyto operace mohou být vyrobeny přímo v nástroji během tváření součásti. Tím se celý proces výrazně zjednodušuje a odpadá nutnost svařovací linky a její obsluhy. Problémem této metody je množství materiálu, který je možno použít na výrobu průtaže, bez výrazného zmenšení průřezu původního plechu. Proto je stěna průtaže nižší a proto není schopna přenášet taková zatížení jako navařená matice (obr. 5).



Obr. 5 Spojení kolejnic a rámu sedačky pomocí průtaží

Touto a podobnou problematikou související s vývojem konstrukcí a výrobou náročných plechových výlisků se zabývá firma PWO Unitools a.s. jako pobočka německé firmy PWO. Specializuje se na výrobu postupových a transferových nástrojů pro lisování plechů a na lisování a montáž sedačkových komponent.

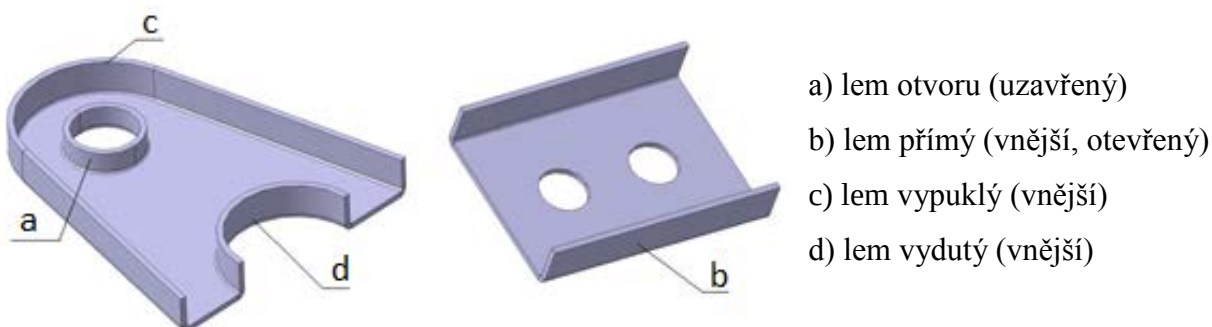
2 VÝROBA VNITŘNÍCH LEMŮ

[11], [16], [19], [27], [28], [29], [32]

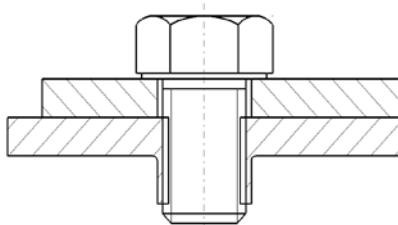
Lemování je technologie, která patří do oblasti plošného tváření. Při vytváření lemu na materiál působí kombinace tlakového a tahového napětí. Před samotným tažením se může do polotovaru prostříhnout menší otvor. Poté použitím tažníku a tažnice vzniká příruba nebo lem. Tyto lemy mohou být:

- uzavřené, vytvořené na kruhových nebo nekruhových otvorech u dílců z plechu či trubek
- otevřené, většinou na vypuklých nebo vydutých obvodech u dílců z plechu

Na obr. 6 můžeme vidět příklady lemů na dílcích:



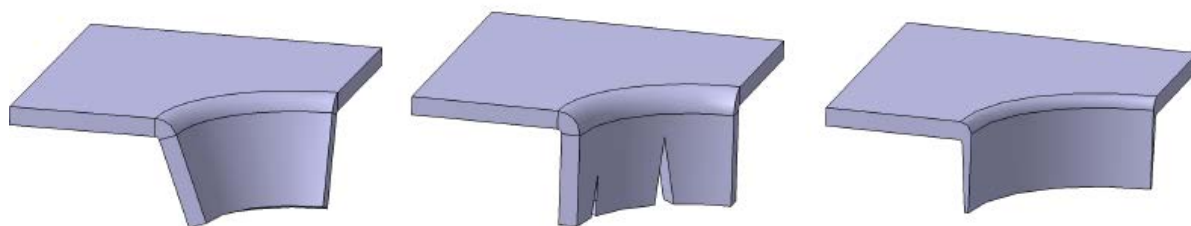
Obr. 6 Příklady lemů [27]



Obr. 7 Šroubový spoj

Lemy na obvodu dílů nebo lemy otvorů větších rozměrů se používají z důvodů zvýšení vzpěrné stability stěn a kvadratického momentu průřezu. Toto užití je charakteristické pro letecké a automobilové konstrukce kvůli snížení hmotnosti bez zhoršení pevnostních podmínek. Lemované otvory také zjednodušují instalaci elektro a hydrosystémů. Do uzavřených lemů otvoru tzv. průtaží, se také mohou vytvářet závitky pro spojení šrouby (obr. 7).

Při výrobě těchto lemů se musí dodržovat určitá standardizace nástrojů a podmínek procesu. Při jejich nedodržení může docházet ke vzniku defektů. Mezi ně patří trhliny, velké ztenčení stěny, nedostatečná výška lemu nebo odpružení. Některé ze zmíněných defektů jsou znázorněny na obr. 8. Mezi parametry jež musí být sledovány, patří geometrie nástrojů (tažníků a tažnic) a síly – nástrojů a přidržovačů (horních i spodních).

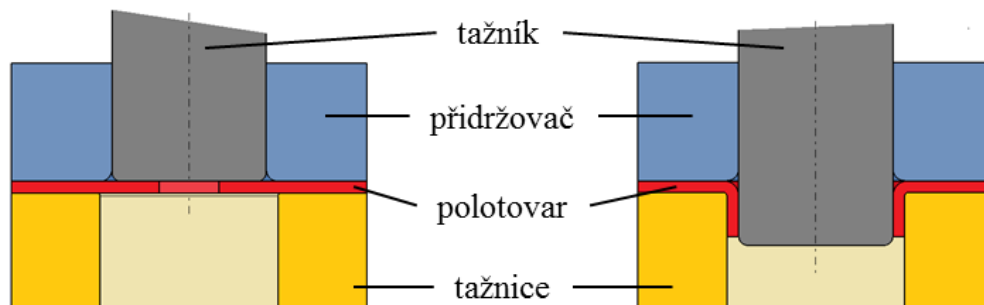


Obr. 8 Příklady defektů lemů

2.1 Lemování otvorů pevným nástrojem

[12], [19], [27]

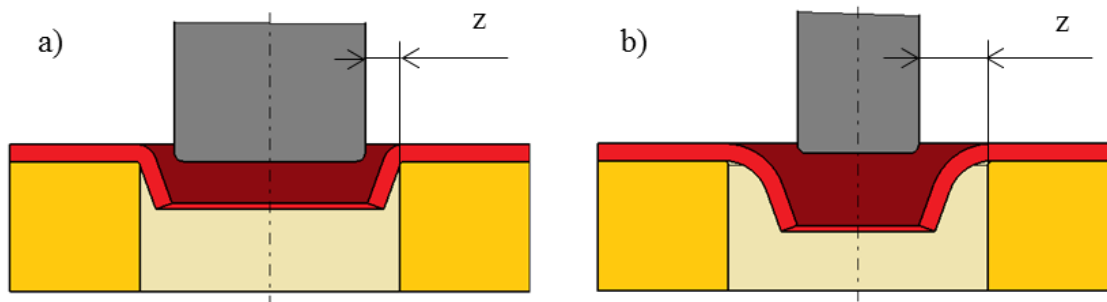
Předmětem této diplomové práce je testování lemů na vnitřních kruhových otvorech, tzv. průtaží. Jedna z metod je schematicky znázorněna na obr. 9.



Obr. 9 Schéma tažení vnitřního lemu pevným nástrojem [19]

Pro výrobu průtaží je zpravidla využíván tzv. sdružený nástroj. V tomto případě před operaci lemování zařazujeme ještě stříhání. Předstřížený otvor má vliv na výslednou kvalitu lemu. Při stříhání není povrch díry tak kvalitní jako např.: při vrtání a mohou vznikat trhlinky (více v kap. 2.1.3). Polotovár se uloží na tažnici. Beran se začne pohybovat k dolní úvratí. Nejdříve na materiál dosedá přidržovač, který je s beranem spojen plynovými pružinami a přidrží materiál. Pokračujícím pohybem beranu vytvoří tažník lem.

Mezi důležité parametry procesu patří poloměr zaoblení matrice r_m , síla přidržovače „Q“ a velikost mezery „z“. Ty mají vliv na výsledný tvar lemu. Poloměr zaoblení matrice a síla přidržovače ovlivňují vtažení dalšího materiálu a ovlivňují výšku lemu. Mezera „z“ ovlivňuje tvar průtaže, viz obr. 10.



Obr. 10 Vliv mezery z na tvar lemu [27]

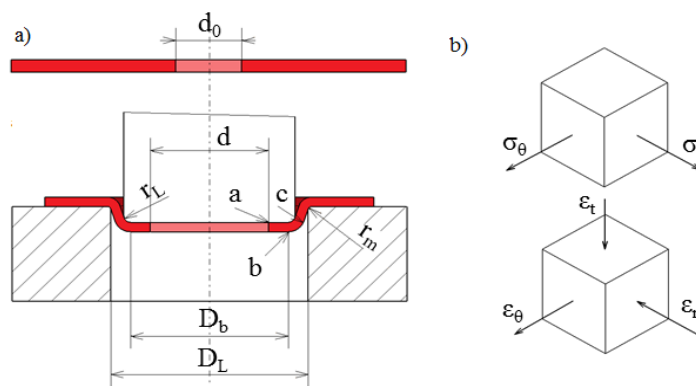
V obou případech je geometrie tažníku stejná a výchozí otvor má stejnou velikost. Rozdílná je však mezera – u varianty a) menší než u varianty b). Tím se změnila ohybová křivka. U varianty a) má menší poloměr než u varianty b).

2.1.1 Napětový stav

[12], [27]

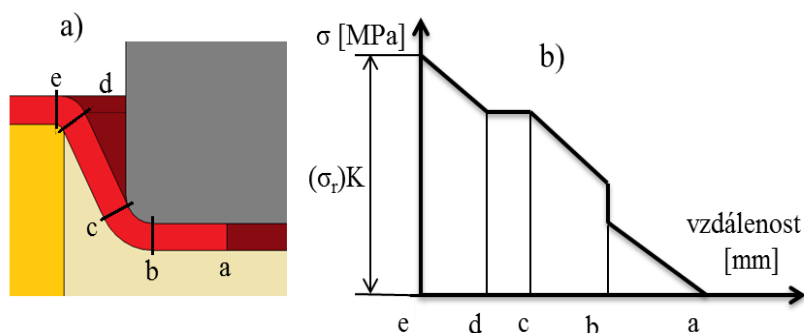
Pro výrobu závitů se používá válcový tvar lemu. Přechodové stádium při výrobě tohoto druhu lemu je znázorněno na obr. 11a). Mezi body „a – b“ se nachází teoretická oblast ohniska deformace, jehož napětový stav znázorňuje obr. 11 b), která má tvar mezikruží. Jedná se o biaxiální napjatost charakteru $(+\sigma_r, +\sigma_\theta)$. Deformační stav je trojosý, v radiálním směru dochází ke zkracování vláken $(-\varepsilon_r)$, zmenšuje se tloušťka materiálu $(-\varepsilon_t)$ a prodlužují se vlákna v obvodovém směru $(+\varepsilon_\theta)$.

Na začátku tvorby průtaže se plech ohýbá přes zaoblenou hranu matrice r_m – jeho velikost má vliv na tvářecí sílu a jakost povrchu. Materiál se neposouvá, dochází pouze k nabalování. Současně se rozšiřuje průměr otvoru d_0 na obecnou hodnotu d . Ohnisko deformace se přemísťuje směrem k poloměru lisovníku r_l . V tomto místě dochází k ohybu s projevem pásového tření.



Obr. 11 Napěťový a deformační stav [27]

Síla se stanovuje pomocí radiálního napětí „ σ_r “ v ohnisku deformace. Používá se zjednodušený přístup, kdy nebereme v úvahu vliv zpevnění, ohybu a dalších faktorů. Přibližný průběh radiálního napětí „ σ_r “ znázorňuje obr. 12. Poté dostáváme tzv. komplexní radiální napětí „ $(\sigma_r)_K$ “, které používáme ve výpočtech tvářecí síly.



Obr. 12 Průběh radiálního napětí [27]

úsek „a-b“ – ideální radiální napětí

úsek „b-c“ – navýšení hodnoty napětí v důsledku ohybu a pásového tření

úsek „d-e“ – vliv nabalování plechu kolem hrany matrice

2.1.2 Deformační stav

[12], [27]

Přetvoření je trojrozměrné, jeho popis je znázorněn na obr. 11. Tangenciální „ ϵ_t “ a radiální „ ϵ_r “ deformace jsou záporné – dochází ke zkracování vláken v radiálním směru a ztenčování tloušťky stěny. Obvodová deformace „ ϵ_θ “ je kladná – zvětšuje se prostřížený otvor, jedná se o podmínky blízké jednoosé napjatosti. Minimální tloušťku lemu lze vyjádřit vztahem 2.1:

$$t_{min} = t_0 \times \sqrt{k_L} [mm] \quad (2.1)$$

t_{min} ... minimální tloušťka stěny lemu [mm]
 t_0 ... počáteční tloušťka polotovaru [mm]
 k_L ... koeficient lemování

Pro výrobu válcového lemu se koeficient lemování k_L určí pomocí vztahu 2.2:

$$k_L = \frac{r_0}{R_L} [-] \quad (2.2)$$

r_0 ... poloměr předpřipraveného otvoru [mm]
 R_L ... vnitřní poloměr matrice [mm]

Hodnota obvodové deformace „ ε_θ “ by se měla nacházet v oblasti stabilní plastické deformace stanovené tahovou zkouškou pro daný materiál, tím se zabrání vzniku trhlin. K jejímu určení použijeme koeficient lemování, viz vztah 2.3:

$$\varepsilon_\theta = \frac{R_L - r_0}{r_0} = \frac{(1 - k_L)}{k_L} [-] \quad (2.3)$$

Hodnota dovolené obvodové deformace „ ε_θ “ se nesmí rovnat maximální pevnosti daného materiálu. Do procesu vstupují ještě další faktory, mezi nimi např. kvalita předpřipraveného otvoru a jeho velikost, které negativně ovlivňují výsledek.

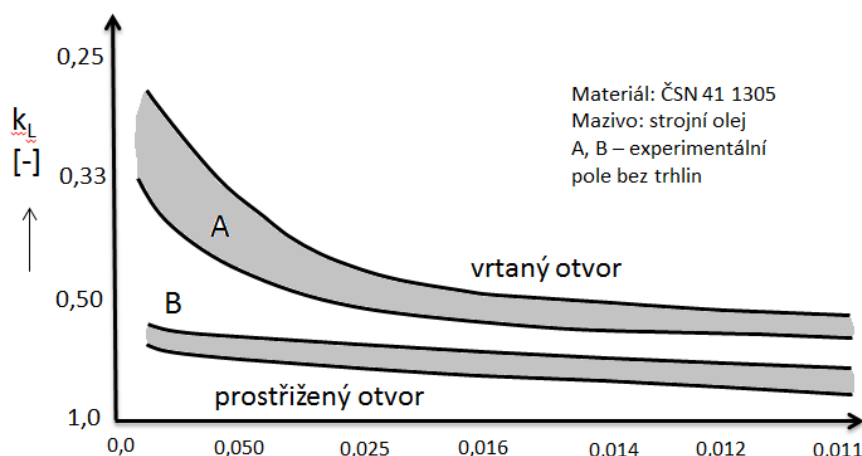
2.1.3 Ovlivňování deformačních parametrů procesu

[16], [27]

Deformační proces je možné ovlivňovat řadou parametrů tak, abychom dosáhli vyšších deformací bez vzniku trhlin. Mezi tyto parametry patří geometrie lemu, koeficient „ k_L “, stav napjatosti nebo relativní tloušťka plechu, kvalita plochy otvoru a tvar lisovníku. Mimo to se zde uplatňují i materiálové vlastnosti.

Kvalita otvoru:

Na výsledku lemování má velký vliv předpřipravený otvor, zejména kvalita jeho povrchu. Ta by měla být co nejhladší, bez zátrhů a dalších vad. Tento otvor může být vyroben prostřihnutím nebo vyvrtáním. Každá technologická operace má různý vliv jak na kvalitu povrchu, tak na zpevnění materiálu okolí otvoru.



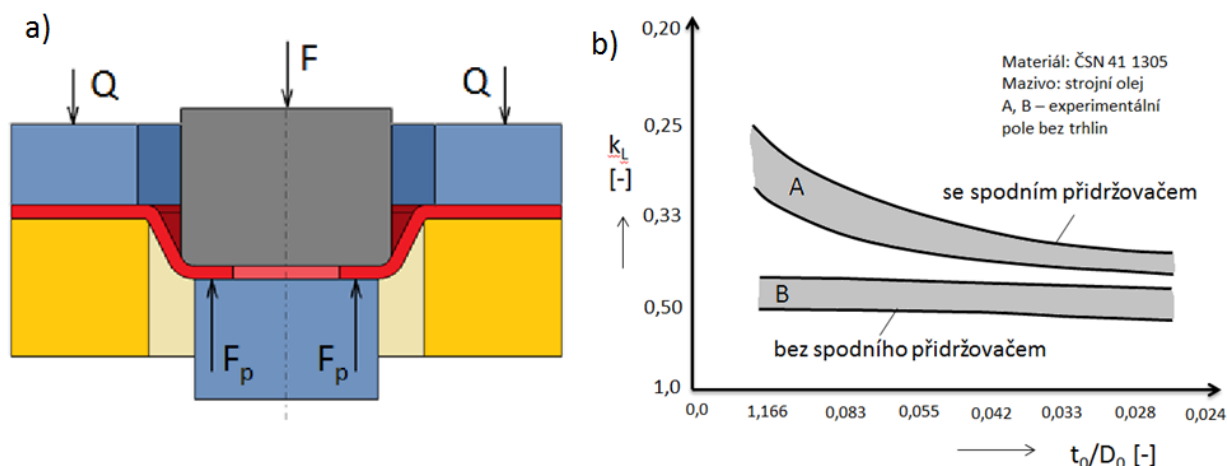
Obr. 13 Závislost k_L na t_0/D_0 zohledňující kvalitu otvoru [27]

Na obr. 13 můžeme vidět experimentální porovnání vrtání a prostřihování na materiálu ČSN 41 1305. Vrtáním jsme schopni vyrobit kvalitnější otvor s nižším zpevněním, než stříháním. Tak dosáhneme nižších hodnot součinitele lemování „ k_L “.

Snažíme se minimalizovat i zpevnění, protože zmenšuje plasticitu. Při výrobě otvoru se také nesmí narušit struktura materiálu. Používá se i ohřev, díky zvýšení teploty můžeme zvětšit obvodovou deformaci až o 50%.

Vliv spodního přidržovače:

Použitím spodního přidržovače působíme silou na spodní stranu rondelu. Přidáním této síly dochází ke změně stavu napjatosti, což příznivě působí na výsledný tvar lemu. Na obr. 14 a) je zobrazeno schéma nástroje se spodním přidržovačem. Ten může buď dosedat na celou spodní plochu polotovaru, nebo pouze na vnitřní hranu otvoru. Na obr. 14 b) je vidět porovnání vlivu spodního přidržovače na koeficient lemování „ k_L “ v závislosti na poměru t_0/D_0 .



a) schéma nástroje se spodním přidržovačem b) graf vlivu přidržovače na závislost k_L na t_0/D_0

Obr. 14 Spodní přidržovač [27]

2.2 Metody výroby průtaží pevným nástrojem

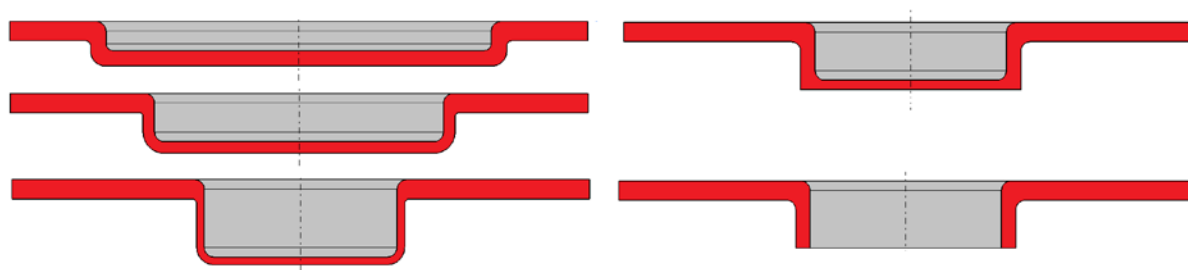
[23]

Metoda díra – ohyb

Je to metoda, která byla popsána již v kapitole 2.1. Nejprve se střížníkem prostřihne malý otvor a poté vytvoří průtaž ohybem zbývajících materiálu kolem hrany tažnice, prakticky se jedná o ohyb. Výška průtaže je dána objemem zbylého materiálu po prostřihnutí otvoru. Schéma metody je znázorněno na obr. 9.

Pěchovaná průtaž

Jedná se o složitější výrobu průtaží, u této metody se využívá několikanásobného tažení. Nástrojem s největším průměrem se nejprve vytvoří mělká průtaž. Poté se použije tažník s menším průměrem. Dostáváme vyšší průtaž díky ztenčení stěny i dna. Nakonec dostaneme vysokou průtaž s tenkou stěnou i dnem. Následuje prostřihnutí dna a pěchování stěny, postup metody je zobrazen na obr. 15.



Obr. 15 Schéma postupu výroby pěchované průtaže

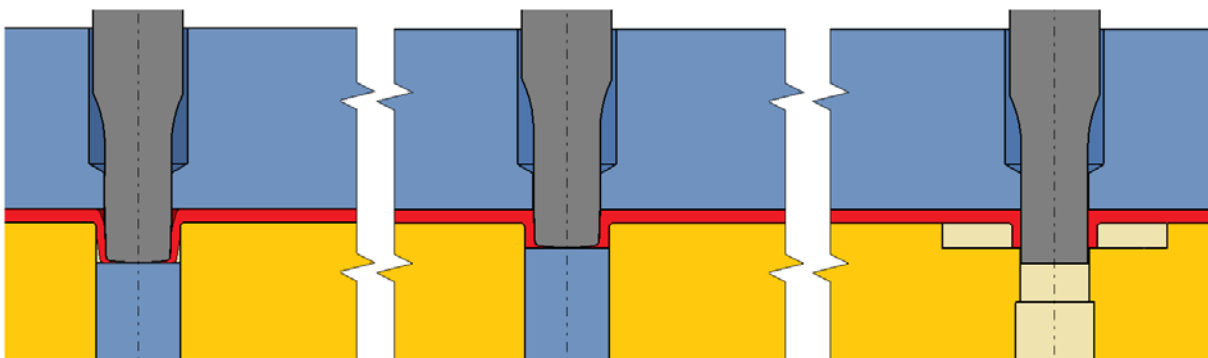
S pomocí miskového lemu

Tato metoda kombinuje mělké tažení a ohýbání. Nejprve se vytvoří mělká miskovitá průtaž a její dno se prostřihne. Z toho miskového lemu se následně ohybem vytvoří průtaž.

Tažená průtaž

Tato metoda využívá tažení průtaže z plného materiálu. V prvním kroku vyrobíme tažníkem a tažnicí průtaž do plného materiálu a v druhém kroku prostřihneme dno. Při této metodě je nezbytné použít i spodní přidržovač. Ten vyvíjí tlak proti tažníku a vytlačuje

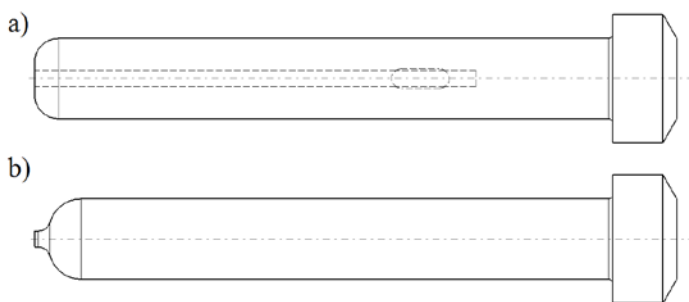
materiál ze dna průtaže do jeho stěn, čímž maximalizuje sílu stěny a výšku průtaže. Navíc tažník nemá dolní úvrat' v poloze, která odpovídá výslednému tvaru průtaže, ale je ještě zhruba o 2 mm níž (závisí na průměru průtaže). V tom okamžiku je průtaž vyšší a má menší tloušťku stěny. Při zpětném pohybu beranu dochází k odlehčení síly od tažníku a spodní přidržovač pěchuje materiál do stěn. Tlak je volen tak, abychom se přiblížili hodnotě tloušťky dna 0,1 mm. Tato metoda je principiálně zobrazena na obr. 16.



Obr. 16 Schéma metody tažené průtaže

Výroba průtaží v jednom zdvihu

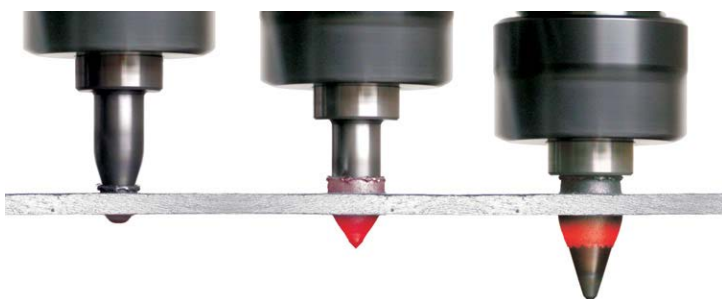
Průtaž lze vyrobit i v jednom zdvihu. Nutné je použít upravený nástroj, který v jednom zdvihu prostřihne díru a zároveň ohne průtaž. Na obr. 17 můžeme vidět příklady takových nástrojů, a) je to tažník se střižnou hranou a b) kombinace tažníku a střižníku. V případě a) se musí vyřešit odpad, který stoupá dutým tažníkem a následně musí být bezpečně odveden mimo pracovní plochu. Tyto metody se používají v případě nutnosti výroby průtaží na rovinách, které nejsou kolmé na pohyb beranu a musejí být na jejich výrobu použity klíny.



Obr. 17 Tažníky pro výrobu průtaží jedním zdvihem

2.3 Lemování metodou FlowDrill

[11], [20]



Obr. 18 Proces FlowDrill [11]

Tato metoda nabízí náhradu za klasické metody výroby průtaží při stejné kvalitě a nízké ceně. Metoda vyniká schopností tvářet závit do průtaží z plechu z různých materiálů v rozmezí tloušťek 1 - 10 mm. Největší výhodou je však možnost použití pro uzavřené profily, obr. 18.

Proces tvorby průtaže začíná při kontaktu rotačního nástroje s plechem. Nástroj se otáčí rychlostí v rozmezí $2000 - 2500 \text{ s}^{-1}$. Třením vzniká teplo a tím materiál přejde do plastického stavu, díky tomu může být materiál snadněji deformován. Při axiálním pohybu nástroje do polotovaru dochází k přemísťování materiálu, který vytváří límec na horní části polotovaru a průtaž ve směru pohybu nástroje. Tvar nástroje má vliv na výsledný tvar a délku límce a průtaže. Celý proces zabere krátký čas, viz tab. 1.

Tab. 1 Parametry procesu FlowDrill [8]

Závit	Průměr nástroje [mm]	Otáčky [s^{-1}]	Výkon stroje [kW]	Čas cyklu [s]
M5	4,5	2150	0,8	2
M6	5,4	2050	1,0	2
M8	7,3	1900	1,3	2
M10	9,2	1700	1,5	3

Pro tuto technologii existují i speciální stroje, ale její velkou výhodou je možnost použití obyčejné strojní vrtačky. Jediným požadavkem je dosažitelnost parametrů potřebných k výrobě průtaže daného průměru. Pro snadnější polohování a automatizaci procesu, se však doporučuje použít CNC nebo stroj speciálně vyvinutý pro tuto metodu.

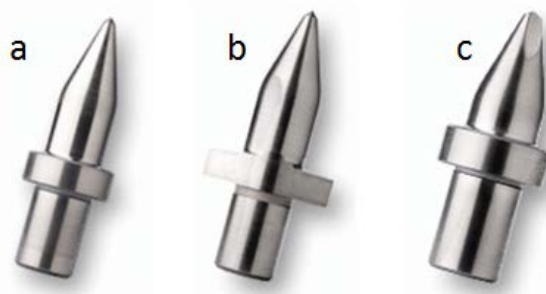
Pro upínání nástrojů se používají speciální držáky a kleštiny. Ty jsou vybaveny hliníkovými chladicími kroužky, které chrání nástroje před vysokou teplotou a umožňují nepřetržitou produkci.

Používá se několik typů nástrojů, obr. 19:

a) Standartní – vytvoří límec ze stoupajícího materiálu, nevytváří třísky

b) Plochý – zarovná povrch dílce odřezáním límce

c) REM – má vroubkovanou špičku, která je schopna odstranit vrstvy, jež by mohly ohrozit proces tvorby průtaže (nátěr, pozinkování, eloxování).

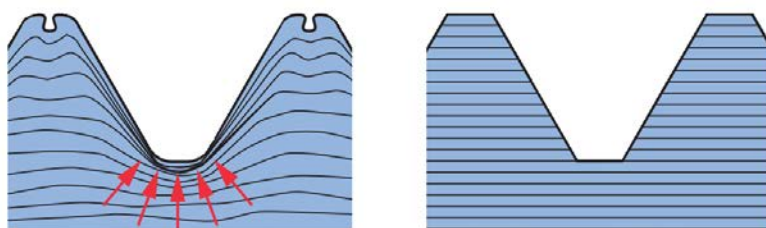


Obr. 19 Nástroje pro flowDrill [11]

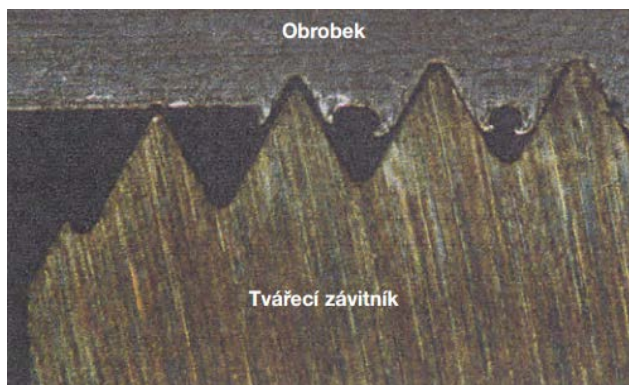
2.4 Výroba závitů

[28], [29], [32]

Závity můžeme vyrábět třískovým obráběním, např. frézováním nebo řezáním závitníkem. V případě výroby závitů do průtaže, však tyto metody nejsou vhodné. Důvodem je snaha vyhnout se ubírání materiálu ze stěny průtaže. Z toho důvodu se používá tváření závitů. Protože se neodebírá materiál, nevznikají třísky. Nemusí se řešit třískové hospodářství a také se zvyšuje spolehlivost zařízení. Důležitou výhodou je vyšší jakost a větší pevnost takto vyrobených závitů. Dochází totiž ke zpevnění povrchu závitu soustředěním materiálu, maximum tohoto zpevnění je u paty zubu. Při procesu navíc nedochází k porušení vláken materiálu, viz obr. 20. Další výhodou je potřeba vyšší řezné rychlosti, což má za výsledek zvýšení produktivity.



Obr. 21 Porovnání tvářených a obráběných závitů [28]

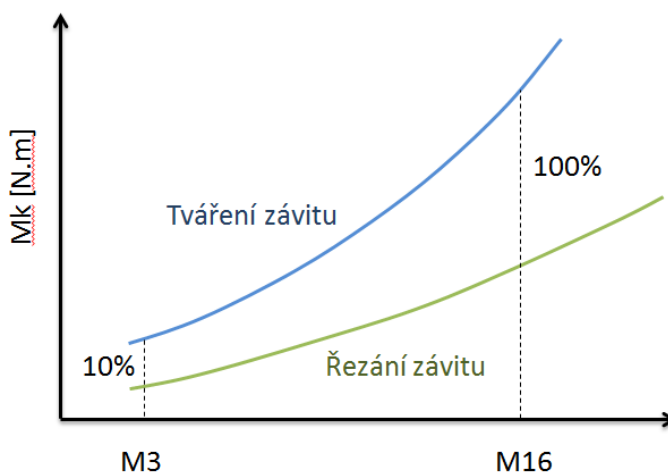


Obr. 20 Tváření závitu [28]

Výroba závitů tvářením je zobrazena na obr. 21. Při tváření materiál polotovaru teče po boční ploše nástroje směrem k malému průměru závitu. Tečení materiálu zajišťuje hladký povrch procesu a typické drážky na špičce malého průměru závitu. Při tomto postupu nemůže dojít k odchylce u vrcholového úhlu. K těmto vadám naopak může docházet při obrábění závitů vlivem „podřezání“ závitníku. Tyto vady vedou ke zmenšení nosné části závitu a k nepříznivému přenosu zatížení spoje.

Pro tuto metodu jsou kladeny malé nároky na závitovací zařízení, můžeme použít běžné stroje. Jedinou podmínkou jsou upínače, ty musejí být schopny spolehlivě upnout tvářecí závitníky. Důležitá je také příprava polotovaru – musíme připravit otvor. Část materiálu se při náběhu a výběhu nástroje osově posouvá a vznikají otřepy. Proto je nutné před tvářením srazit hrany.

Nevýhodou této metody jsou také mnohem vyšší odpory a krouticí momenty než při obrábění. Mezi závitníkem a materiálem také dochází k vyššímu tření a vzniká teplo. Při tomto procesu převládá spíše mazání, není třeba intenzivně chladit. Porovnání potřebného krouticího momentu pro tvářením a řezáním závitu je na obr. 22. Na tyto hodnoty mají vliv i další parametry, např. pevnost materiálu a chlazení.

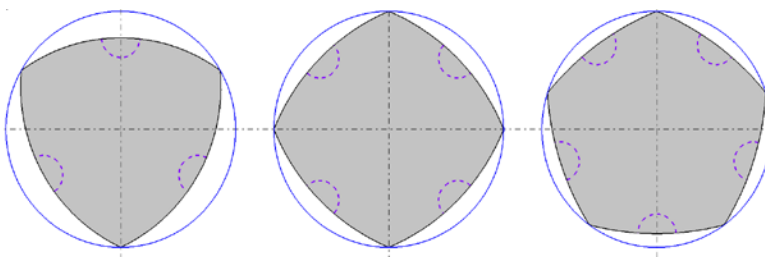


Obr. 22 Porovnání M_k u výroby závitů [28]

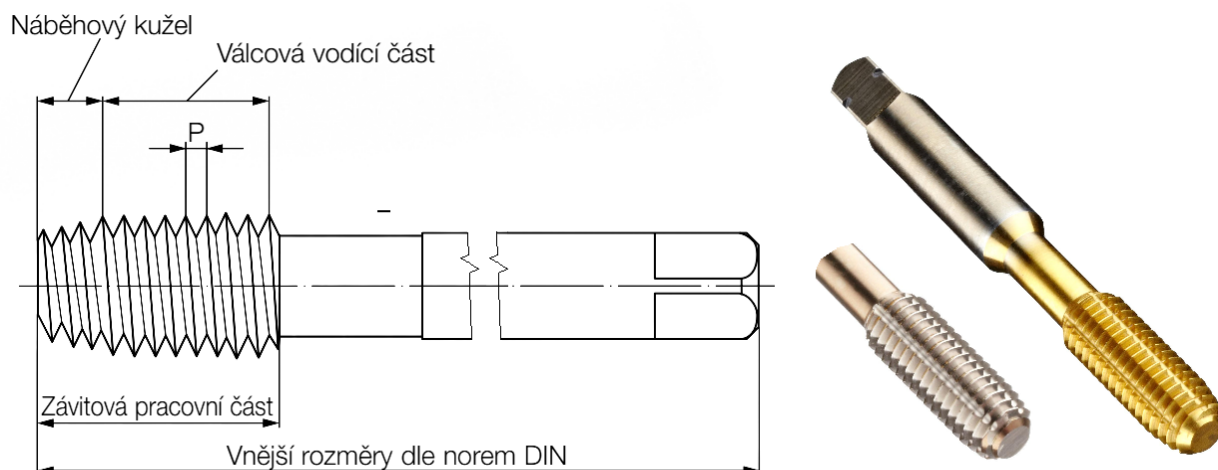
Tvářecí závitníky

Tvářecí závitníky mají odlišnou konstrukci než závitníky klasické. Nemají podélnou drážku, která by tvořila čela břitů. V průřezu mají tvar polygonů, nejčastěji s třemi až pěti zaoblenými rohy viz obr. 23. Mohou být vybaveny mazacími drážkami, ty usnadňují přístup maziva a dovolují odchod vzduchu a oleje z tvářeného otvoru, tím se vyvarujeme vzniku pístového efektu u neprůchozích děr. Příčný profil ovlivňuje velikost tvářecí síly a velikost krouticího momentu. Tyto parametry jsou opět v porovnání s řezáním vyšší.

Při tomto procesu je potřeba dbát na vysokou kvalitu chladicího a mazacího média. Pro mazání se používají oleje a chlazení může být zajištěno chladicími kapalinami nebo mlhou. Tvářecí závitník (obr. 24) je tvořen náběhovým kuželem, za kterým se nachází kalibrační část. Náběhový kužel je pracovní část nástroje, zde dochází k přemísťování materiálu. Délka této části nástroje bývá obvykle 3 stoupání závitu. Za ním se nachází kalibrační část, která se stará o kalibraci závitu.



Obr. 23 Průřez tvářecím závitníkem [28]



Obr. 24 Tvářecí závitník [28]

Tyto nástroje neumožňují upravování tvářecí části – nepřeostřují se. Při jejich opotřebení se musí nástroj vyměnit. Pokud bychom chtěli přebroušovat, podobně jak je to běžné u řezacích závitníků, změnili bychom geometrii nástroje. Díky tomu, že nemají řeznou hranu, vydrží několikanásobně delší dobu, trvanlivost je v porovnání s třískovým způsobem výroby závitu až 10x vyšší. Také můžeme zvýšit řeznou rychlost, až o 100% a tím docílíme kratších výrobních časů. Přednosti této metody se projeví hlavně u velkosériové výroby.

3 MATERIÁLY

[2], [3], [9], [10], [12], [14], [15], [16], [18], [25]

Nejdůležitější kritéria při volbě materiálu jsou spojena s další funkcí vyrobeného dílu – vlastnosti jako pevnost, tuhost, odolnost proti korozi. Mezi tyto vlastnosti musí být zahrnuta i schopnost změnit tvar při požadované technologii – tváritelnost.

Ve tváření existují dvě oblasti deformace – elastická a plastická. Pro výrobu součástí určitého tvaru musíme operovat v plastické oblasti, ale určitá část deformace bude vždy elastická. Ta je velmi malá a u určitých materiálů a technologií může být zanedbána. Jindy však může mít zásadní vliv.

3.1 Vliv materiálových vlastností na tváření

[12], [14], [15], [16], [17], [18]

Způsob jakým se materiál – plech bude chovat při technologických procesech plošného tváření, závisí na jedné nebo několika obecných charakteristikách. Které z nich jsou důležité, určíme podle dané technologie. Studováním rovnic, popisujících tyto procesy lze často odhadnout, které charakteristiky budou důležité. To platí za předpokladu, že má daná vlastnost při technologii zásadní význam. Mezi tyto charakteristiky patří:

Tvar křivky zpevnění

Důležitým aspektem deformačního procesu je deformační zpevňování. Tento proces se uplatňuje při tváření zastudena, do teploty $T \leq 0,3 \cdot T_{\text{TAVENÍ}}$. Čím vyšší zpevňování plechu, tím lépe se bude tento materiál chovat v procesech s výrazným tahem. Napětí bude rovnoměrně rozloženo a materiál bude lépe odolávat vzniku trhlin. Tuto vlastnost nejlépe popisuje koeficient zpevňování „n“.

Koeficient zpevnění určujeme pomocí tahové zkoušky. Jednoosým tahovým napětím namáháme testovací vzorek až do porušení. Vzorek má tvar hranolu o tloušťce plechu s konci upravenými pro upnutí, povrch musí být lesklý, bez poškrábání. Tento vzorek je upnut do trhacího stroje a namáhán konstantní rychlostí při teplotě 10 až 35°C. Dostáváme křivku napětí – deformace pro daný materiál (obr. 25 a).

Pro určení „n“ použijeme Ludwik – Holomonův vztah:

$$\sigma_p = C \cdot \varphi^n \quad (3.1)$$

σ_p ... přetvárný odpor

φ ... logaritmická deformace

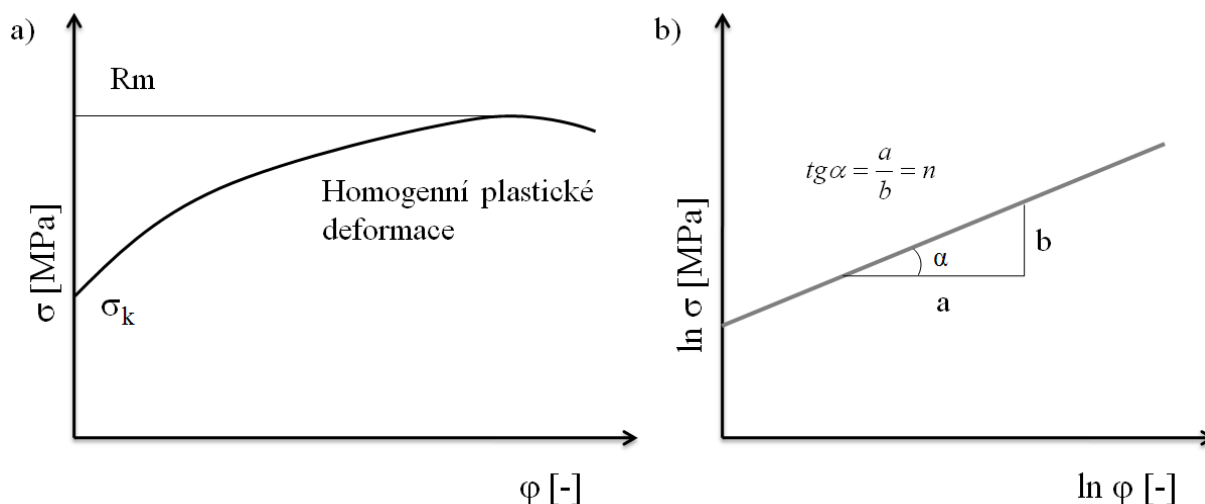
C ... materiálová konstanta

Z grafu napětí – deformace známe hodnoty přetvárného odporu i logaritmické deformace, z materiálových listů dohledáme materiálovou konstantu. Zlogaritmováním rovnice (3.1) dostáváme rovnici:

$$\ln \sigma_p = \ln C + n \cdot \ln \varphi \quad (3.2)$$

Tím dostáváme rovnici přímky ve tvaru $x = a + b \cdot y$, jejíž směrnice je exponent zpevnění „n“, viz obr. 25 b).

Význam meze kluzu je spojen s pevností tvářené součásti, zvláště důležitá je u odlehčených konstrukcí. Obecně platí, že čím vyšší je mez kluzu, tím méně materiálu potřebujeme. Mez kluzu nemá přímo vliv na chování materiálu během procesu tváření, ačkoli vyšší mez kluzu znamená i obtížnější tváření. Je to z důvodů, že další parametry jsou zvyšováním meze kluzu negativně ovlivňovány. Dalším parametrem je modul pružnosti E. Ten ovlivňuje zejména odpružení. Při malém modulu pružnosti je odpružení výraznější, než u jeho vyšších hodnot. Velké odpružení je problém, zhoršuje kontrolu nad konečnými rozměry součástí.



a) Křivka zpevnění II druhu b) křivka zpevnění v logaritmických souřadnicích

Obr. 25 smluvní křivka zpevnění II druhu

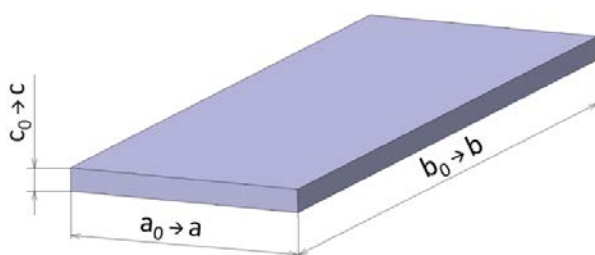
Anizotropie

Anizotropie je parametr, který popisuje nestejnoměrnost vlastností vzorku při namáhání v různých směrech. Je způsobena jejich výrobou – válcováním. Při válcování je polotovár namáhán všestranným tlakem a deformuje se mezi otáčejícími se válci. Dochází k výraznému prodloužení zrn. Toto prodloužení poté způsobuje rozdílné mechanické vlastnosti při namáhání pod různými úhly vzhledem ke směru válcování.

Velikost anizotropie je popisována součinitelem plastické anizotropie „ r “, který je definován jako poměr deformace šířky k deformaci tloušťky materiálu. Deformace tloušťky může být měřena přímo nebo počítána pomocí zákona zachování objemu:

$$a \cdot b \cdot c = a_0 \cdot b_0 \cdot c_0 \quad (3.3)$$

Popis parametru rovnice na obr. 26



Rovnici můžeme upravit do tvaru:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{a_0 \cdot b_0}{a \cdot b} \quad (3.4)$$

a z něj dostaneme rovnici:

$$r = \frac{\ln \frac{a}{a_0}}{\ln \frac{a_0 \cdot b_0}{a \cdot b}} \quad (3.5)$$

Obr. 26 Popis parametrů rovnice 2.1

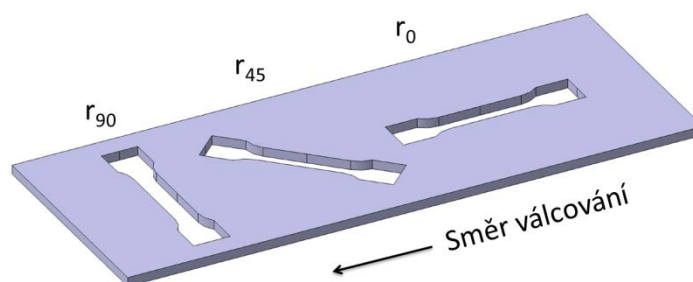
Úhel, pod kterým je součinitel plastické anizotropie „ r “ měřen je indikován jeho indexem. Při měření anizotropie se používají úhly r_0 , r_{45} a r_{90} , obr. 27. Pokud se tyto hodnoty pro daný materiál různí, mluvíme o plošné anizotropii materiálu. Ta je vyčíslena rovnicí (3.6). Její hodnota může být záporná, ale u ocelí bývá většinou kladná.

$$\Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2 \cdot r_{45}}{2} \quad (3.6)$$

Vážený průměr součinitele plastické anizotropie „ $\bar{r}$ “ pro různé směry orientace testovaných vzorků se určí pomocí rovnice:

$$\bar{r} = \frac{r_0 + 2 \cdot r_{45} + r_{90}}{4} \quad (3.7)$$

Pokud je rozměr plošné anizotropie Δr velký, kladný nebo záporný, bude pro proces tváření důležitá orientace pásu. U rotačních součástí budou vznikat asymetrické díly. U mělkého tažení vyšší hodnoty $\bar{r}$ snižují riziko vlnění a vrásnění u plynule tvarovaných dílů, jako jsou vnější panely karosérie vozů.



Obr. 27 Orientace vzorků

Homogenita

Průmyslově vyráběné plechy nejsou nikdy úplně homogenní a vždy v nich existují určité lokální defekty. Ty se mohou lišit ve svém složení, struktuře nebo velikosti. Také mohou obsahovat vměstky. Tyto defekty nelze přesně charakterizovat. Homogenitu nelze určit jednou ani několika tahovými zkouškami, protože zkoušíme pouze malou část z celkového materiálu.

Povrch polotovaru

Drsnost povrchu plechu a jeho interakce s mazivem a povrchem nástroje bude také ovlivňovat tvářecí proces. Pro ověření povrchových vlastností se používá speciální test.

Rychlost deformace

Citlivost na změnu rychlosti deformace za pokojové teploty je u většiny materiálů nízká. Pro oceli je mírně kladná, pro hliník nulová nebo mírně záporná. Kladná citlivost na rychlost deformace obvykle napomáhá při tváření a její efekt je podobný efektu zpevňování. Určuje se pomocí tahové zkoušky velikostí prodloužení vzorku od překonání meze pevnosti k porušení.

3. 2 Vysokopevnostní materiály

[2], [3], [9], [10], [25]

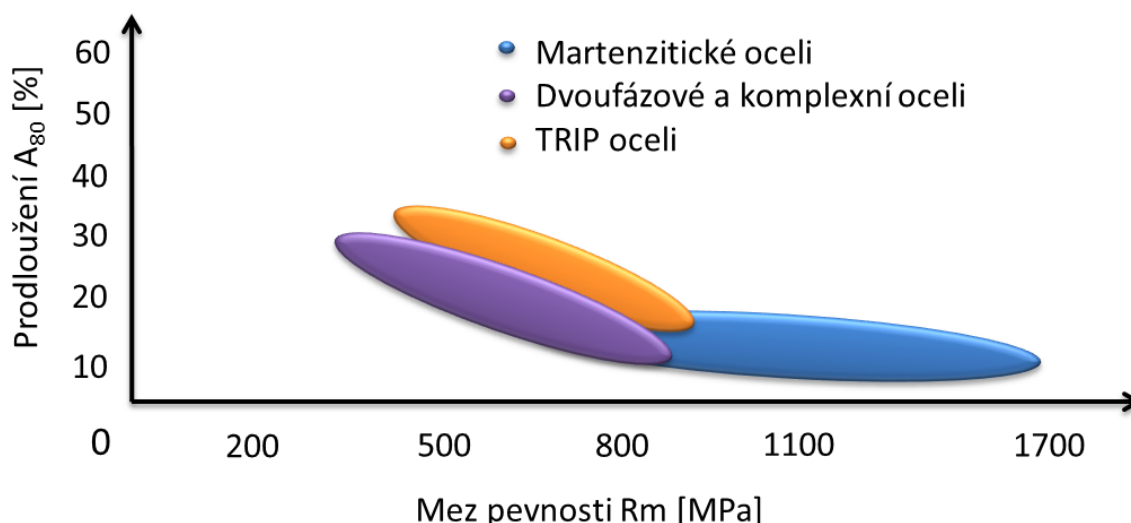
Před 15 lety skupina výrobců ocelí vytvořila projekt, jehož cílem bylo vytvořit ultralehkou ocelovou karosérii. Tento projekt byl úspěšný zejména díky nově vyvinuté skupině ocelí, kterou označili pokročilé vysokopevnostní oceli AHSS (Advanced High Strength Steels). Tato skupina ocelí se stala odpovědí na požadavek po vylepšených materiálech, které mohou být tvářeny ověřenými výrobními procesy. Výhodami těchto ocelí je dobrá absorpce energie při havárii a obecně vyšší pevnosti a dobrá tvařitelnost.

Dvoufázové a TRIP (Transformation induced plasticity) oceli mají v porovnání s konvenčními oceli se stejnou pevností i dobrou tvařitelnost. Komplexní (Complex phase) a martenzitické oceli mají ještě vyšší pevnost se zachováním stejné tvařitelnosti. Mechanické vlastnosti konkrétních ocelí z těchto skupin naleznete v tab. 2, rozsahy mechanických vlastností skupin pak na obr. 28.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti AHSS ocelí firem arcelor-mittal a SSAB [3], [25]

oceli	označení	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]		Mez pevnosti R_m [MPa]		Prodloužení A_{80} [%]
		min	max	min	max	
Dvoufázové	DP 980 Y700	700	850	980	1100	8
	Docol 1000 DP	700	950	1000	1200	7
TRIP	TRIP 780	450	550	780	900	23
Komplexní	CP 1000	700	850	980	1200	8
	Dogal 780 CP	500	700	780	950	10
Martenzitické	MartINsite® 1500	1200	1500	1500	1700	3
	Docol 1400 M	1150	-	1400	1600	3

Základní rozdíl mezi AHSS a konvenčními HSS (high strength steels) leží v mikrostruktuře. HSS oceli jsou jednofázové – feritické. Na rozdíl od nich AHSS oceli obsahují mimo feritu a perlitu ještě další fáze jako je bainit, austenit nebo martenzit. Díky tomu tyto oceli získávají unikátní mechanické vlastnosti.



Obr. 28 Rozsah mechanických vlastností některých skupin AHSS ocelí [2]

Dvoufázové oceli

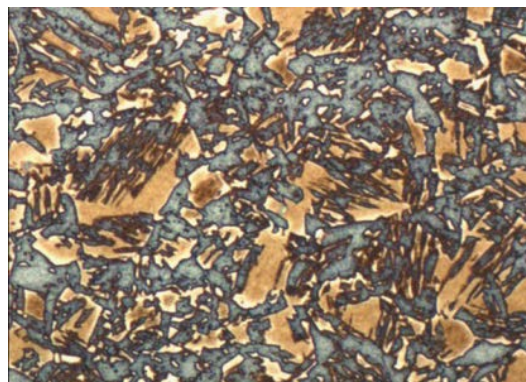
Jejich struktura (obr. 30 a) je tvořena feritickou maticí, která obklopuje tvrdé částice bainitu nebo martenzitu. Zvýšením objemu sekundárních tvrdých fází zvyšuje pevnost. Ocel s tak vysokým podílem martenzitu však způsobuje problémy při zajištění požadovaného prodloužení, které je požadováno pro tváření. Kontinuální feritická matrice dodává oceli tažnost. Když se tyto oceli deformují, napětí je koncentrováno ve fázi feritu, který obklopuje martenzit, tím vytváří vysokou míru zpevnování. Díky tomu mají součásti z těchto materiálů lepší mechanické vlastnosti, než polotovary, ze kterých jsou tvářeny.

Díky vysoké únavové pevnosti a dobré absorpci energie jsou vhodné na nosné díly a výztuže. Fáze feritu a martenzitu, popř. bainitu jsou vyráběny kontrolovaným ochlazováním z austenitu nebo z feritu a austenitu, kdy se část austenitu přemění na ferit a poté se rychlým ochlazením transformuje zbývající austenit na martenzit. Při správném technologickém postupu jsou tyto oceli svařitelné všemi běžně používanými svářecími technologiemi.

Dvoufázové oceli s mezí pevnosti 500MPa jsou používány pro vnější díly karosérie (dveře, kapoty, nárazníky), jejich mechanické vlastnosti umožňují konstruktérům zmenšit rozměry a hmotnost těchto dílů. Dvoufázové oceli vyšších jakostí (R_m 590-980MPa) se používají jako součásti pasivní ochrany automobilů, které musí pohltit vysoké množství energie (deformační zóny - přední a zadní podélné kolejnice a nosná konstrukce). Nejpevnější dvoufázové oceli se používají na součásti jako sloupky, výztuhy, střešní ližiny a příčníky. Jsou to díly, které zabraňují deformacím prostoru posádky, ale jejich tvar nedovoluje použití pevnějších martenzitických ocelí.

DP980 Y700

Jedná se o dvoufázovou ocel od firmy Arcelor Mittal. Jako všechny oceli této skupiny je její struktura tvořena maticí feritu a v ní částicemi martenzitu, obr. 29. Díky tomu má tato ocel vysokou pevnost a zároveň dobrou tažnost. Díky těmto vlastnostem se používá pro konstrukční a bezpečnostní díly. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3. A chemické složení v tab. 5.



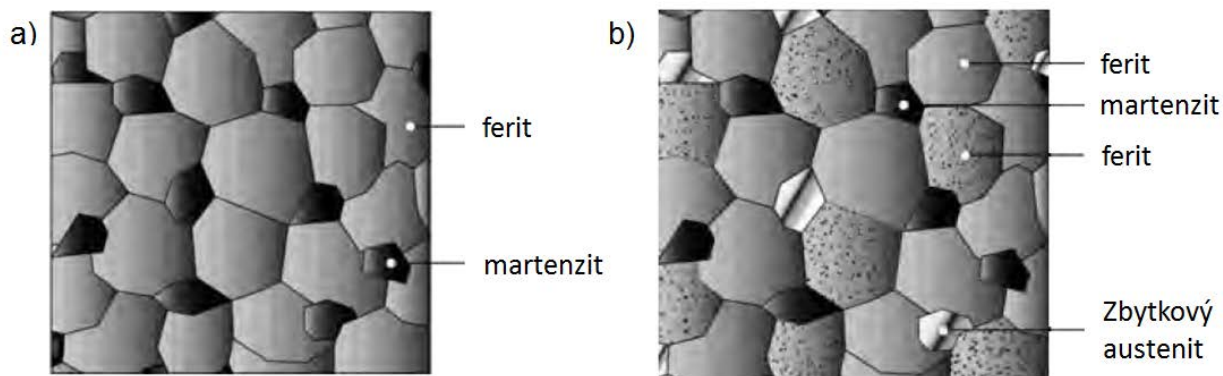
Obr. 29 Struktura DP980 Y700 [3]

Tab. 3 Mechanické vlastnosti DP980 Y700 [3]

Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Prodloužení [%]
700 - 850	980 - 1100	≥ 8

Tab. 4 Chemické složení DP980 Y700 [3]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	V [%]	Al [%]	B [%]	Cr+Mo<1 Nb+Ti<0,15
max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	
0,23	0,8	2,5	0,08	0,015	0,22	2	0,005	



a) dvoufázových ocelí b) TRIP ocelí

Obr. 30 Struktura ocelí

TRIP oceli

Jsou to oceli s deformačně vyvolanou martenzitickou přeměnou. Mikrostruktura (obr. 30 b) je složena z matrice feritu, ve které jsou zrna zbytkového austenitu (min 5%), kromě toho jsou v různém množství přítomna i zrna martenzitu a bainitu. Tyto materiály mohou být vyrobeny tak, aby bylo dobře tvářitelné a přitom zpevňovaly, čímž zajistí dobrou absorpci energie.

Během deformace dochází ke zpevnění, stejně jako u dvoufázových ocelí, ale navíc dochází i k transformaci austenitu na martenzit. Díky tomu jsou tyto oceli vhodné pro použití při technologii přetahování.

Tyto oceli obsahují více uhlíku, aby dokázaly stabilizovat zbytkový austenit. Napětí, při kterém se začne zbytkový austenit přeměňovat na martenzit je ovlivňováno jeho obsahem. Při nižším obsahu uhlíku přeměna začíná okamžitě se začátkem deformace a zvyšuje tvářecí síly. Při vyšším obsahu uhlíku je zbytkový austenit stabilnější a přeměna začíná, až při větším napětí, než jakému je polotovár vystaven během tváření. Takto zbytkový austenit přetrvává až do hotového dílu a na martenzit se bude přeměňovat při další deformaci, např. při havárii.

Komplexní oceli

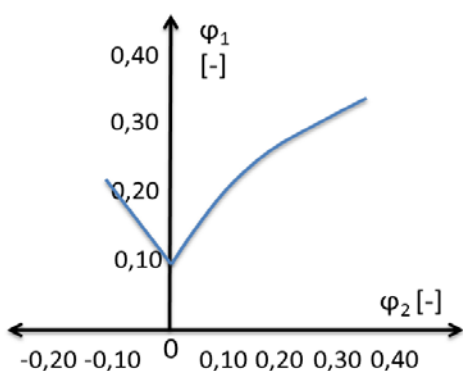
Jsou to oceli s vysokou mezí pevnosti. Mikrostruktura komplexních ocelí se skládá z martenzitu, zbytkového austenitu a perlitu ve feriticko-bainitické matrici. Extrémní zjemnění zrna je dosaženo zbrzděním rekystalizace nebo precipitací legujících prvků jako je Ti nebo Cb. V porovnání s dvoufázovými, tyto oceli vykazují vyšší mez kluzu při stejných mezích pevnosti (800MPa a vyšší). Komplexní oceli jsou charakteristické vysokou absorpcí energie a vysokou zásobou plasticity.

Používají se pro tvarově jednoduché díly, kdy je materiál slabě deformován. Vysoká absorpce energie a únavová pevnost činí tento materiál ideálním pro výrobu bezpečnostních součástí s dobrou houževnatostí a dílů zavěšení.

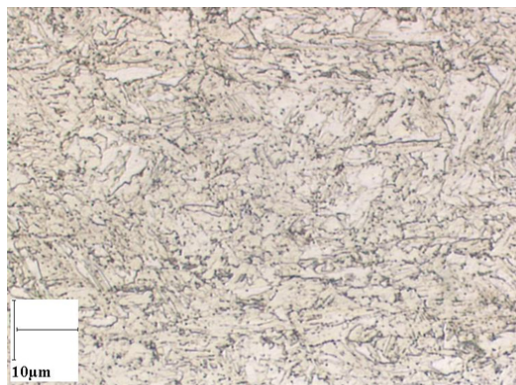
CP 1000

Tato ocel patří mezi komplexní ocele firmy Arcelor Mittal, mikrostruktura na obr. 32. Mezi její výhody patří:

- vysoká mez kluzu
- dobrá ohybatelnost a snadná výroba přírub
- dobrá absorpce energie a únavová pevnost

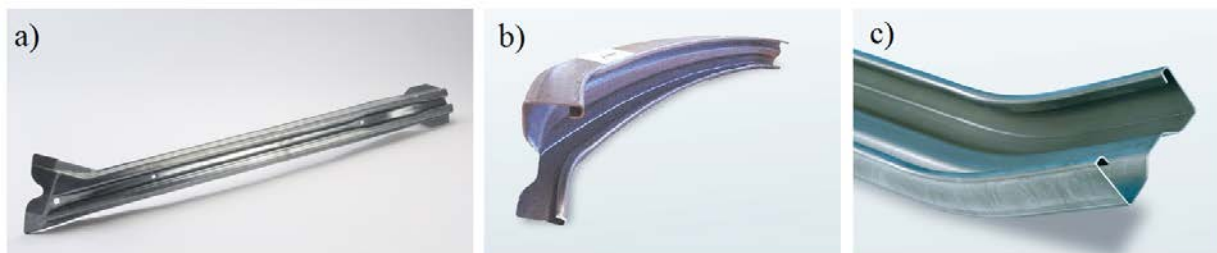


Obr. 31 Diagram mezní tvářitelnosti [3]



Obr. 32 Struktura oceli CP 1000 [3]

Možnosti tváření této oceli jsou zobrazeny na diagramu mezní tvářitelnosti obr. 31, ten pod křivkou označuje oblast bezpečných přetvoření. Tato ocel se používá v automobilovém průmyslu pro bezpečnostní komponenty. Příklady jejího použití je zobrazeno na obr. 33. Jde o výztuhu dveří (a) a nosník nárazníku (b,c).



Obr. 33 Příklady dílů z komplexních ocelí [3]

Chemické složení je v tab. 6. Mechanické vlastnosti zobrazuje tab. 5. Hodnoty jsou měřeny ve směru válcování. Označení jednotlivých ocelí:

HR/CR – válcováno zatepla/zastudena,

SF – ocel speciálně vyráběna pro lemování.

Tab. 5 Mechanické vlastnosti komplexních ocelí [3]

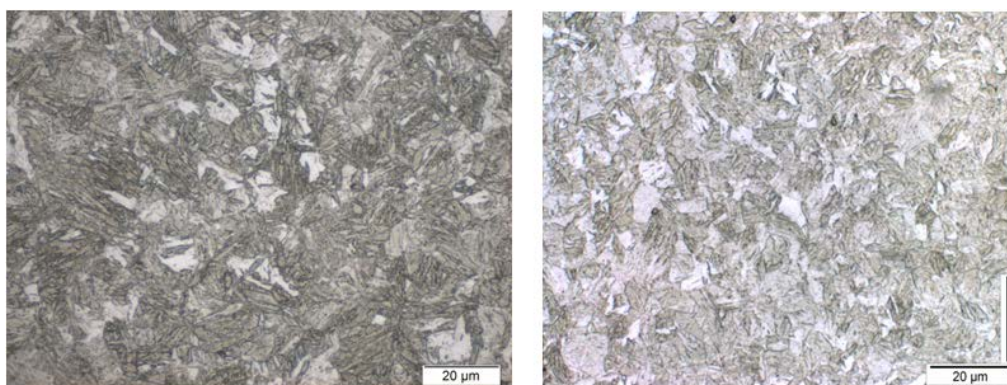
ocel	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Prodloužení [%]
CP 1000 CR	700 - 850	980 - 1200	≥ 8
CP 1000 SF	750 - 950	980 - 1200	≥ 7
CP 1000 Y800	800 - 950	980 - 1130	≥ 6
CP 1000 HR	800 - 950	≥ 950	≥ 10

Tab. 6 Chemické složení oceli CP 1000 [10]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	V [%]	Al [%]	B [%]	Cr+Mo<1 Nb+Ti<0,15
max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	
0,23	0,8	2,2	0,08	0,015	0,22	2	0,005	

Martenzitické oceli

Tyto oceli mají martenzitickou matici, která obsahuje ferit a může obsahovat i bainit, obr. 34. Ze všech AHSS ocelí vykazují martenzitické oceli nejvyšší mez pevnosti až do 1700 MPa. Často po kalení procházejí tepelným zpracováním pro zvýšení tažnosti, tak dosahují dostatečné tvařitelnosti i při velmi vysoké pevnosti.



a) MartINsite® 1200 b) MartINsite® 1500

Obr. 34 Příklady struktury martenzitických ocelí [3]

Docol Roll 800 a 1000

Docol Roll je obchodní označení speciální skupiny materiálů, které jsou primárně určené pro technologii tváření válcováním. Materiály procházejí tepelným zpracováním v kontinuální žihací lince, které materiálu umožňuje ohýbání s velmi malým poloměrem ohybu. Charakteristické vlastnosti těchto materiálů jsou:

- vysoká mez kluzu – minimalizace problémů s rovinností, zajištění, že plastická deformace bude omezena do poloměrů
- vysoký poměr meze kluzu k pevnosti v tahu – napětí v silně tvářených oblastech je srovnatelné s napětím v méně tvářených oblastech
- vysoká vnitřní čistota a homogenní distribuce tvrdosti – umožňuje tváření s malými poloměry



Obr. 35 Ohyb oceli Docol Roll 1000 [9]

Mezi typické výrobky z těchto ocelí patří bezpečnostní díly automobilů – nárazové nosníky, vyztužení nárazníku, pojezdy sedaček. Kromě automobilového průmyslu se využívá ve formě profilů při výrobě nábytku, ve stavebnictví, v elektrotechnickém průmyslu nebo při stavbě strojů. Všechny tyto odvětví zvyšují nároky na snižování tloušťek profilů, které jsou schopny vydržet vyšší namáhání. Mechanické vlastnosti v tab. 7.

Tab. 7 Mechanické vlastnosti ocelí Docol Roll [9]

DocolRoll	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa] min	max	Prodloužení [%]
800	600	800	950	10
1000	850	100	1200	5

Oceli Docol Roll jsou určeny pro tváření za studena a jsou charakterizovány vysokou mezí kluzu a vysokou čistotou, která umožňuje ohýbání s malým poloměrem ohybu. Ve většině tvářecích procesů má nízká mez kluzu kladný vliv. U hlubokého tažení by měl mít materiál nízký poměr meze kluzu k mezi pevnosti, u válcování je naopak lepší materiál s vysokou mezí kluzu, ten lépe odolává vzniku nechtěných podélných plastických napětí v hotovém dílu. Vylepšené mechanické vlastnosti těchto ocelí umožňují, aby byly ohnuty s velmi malým poloměrem ohybu, jak je vidět na obr. 35. Chemické složení těchto ocelí je v tab. 8.

Tab. 8 Chemické složení ocelí Docol Roll [9]

Ocel	C [%] max	Si [%] max	Mn [%] max	P [%] max	S [%] max	Al [%] max	Další prvky
Docol Roll 800	0,16	0,4	1,7	0,02	0,004	0,015	Nb
Docol Roll 1000	0,16	0,4	1,7	0,02	0,004	0,015	Nb

Tahové zkoušky vytipovaných materiálů (CP 1000, DP 980, Docol Roll 800 a 1000) jsou přiloženy v přílohách 1-4.

4 ZKOUŠKY

[7], [16], [23], [26], [31]

Tato kapitola se bude zabývat zkouškami, pomocí kterých se bude určovat výrobitelnost průtaže do určitého materiálu a také zkouškami, které se používají při kontrole vlastností vyrobených průtaží.

4.1 Zkouška rozšiřováním otvoru

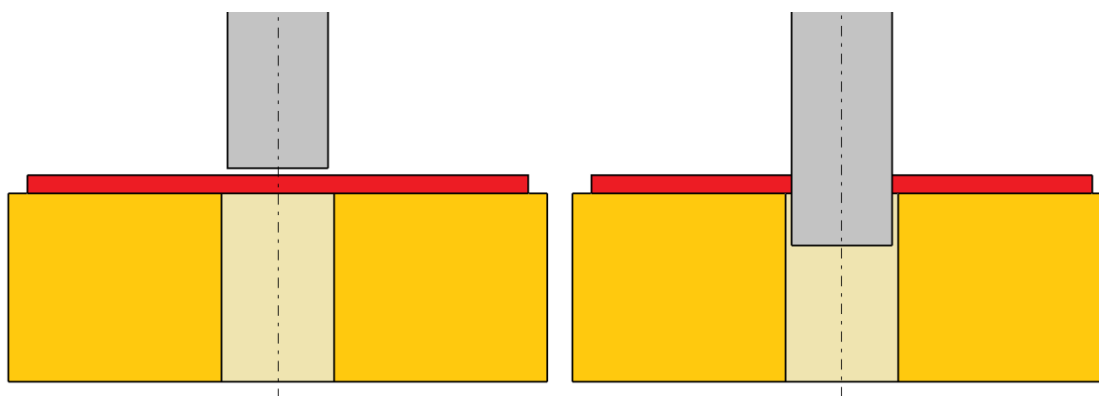
[7], [23]

Zkouška je součástí české verze mezinárodní normy ISO 16630:2009. Tato norma se zabývá tvářecími procesy – stříháním, ohýbáním a tažením s rozšiřováním. Speciálně se pak zaměřuje na tvarování přírub ohýbáním kolem vyražených otvorů a zkušební metodou ke stanovení vhodnosti kovového plechu pro tuto operaci. Tato zkouška značně připomíná výrobu průtaží za výrobních podmínek.

Princip zkoušky:

Zkouška se skládá ze dvou kroků:

- vystřížení otvoru, jak ukazuje obr. 36.
- vtláčování kuželovitého rozšiřovacího nástroje do předem vyraženého otvoru, dokud se libovolná trhlinka nerozšíří přes celou tloušťku zkušební tělesa z kovového plechu, viz obr. 38.



Obr. 36 Vystřížení otvoru [7]

Stroj, na kterém se provádí zkouška, musí umožnit:

- zajištění polohy zkušební tělesa
- zastavení rozšiřovacího nástroje v okamžiku vzniku trhliny
- řízení rychlosti pohybu rozšiřovacího nástroje

Tyto parametry může zajistit speciální stroj pro tuto zkoušku, ale lze použít i stroje pro zkoušku hlubokým tahem nebo jakýkoli stroj pro zkoušky tlakem.

Zkušební nástroj se skládá z raznice a razníku. Razník musí být kuželovitý rozšiřovací nástroj s vrcholovým úhlem $60^\circ \pm 1^\circ$. Jeho rozměry jsou určeny tak, aby jeho posunem vznikly trhliny na hraně otvoru. Minimální tvrdost je 55 HRC.

Vnitřní rozměr raznice je vyroben podle očekávaného vnějšího průměru průtaže, doporučená minimální hodnota je 40 mm. Poloměr zaoblení hran musí mít rozměry od 2 mm do 20 mm.

Poloha otvorů na zkušebním tělese je určena na obr. 37. Mezera „z“ mezi razníkem a raznicí je určena vztahem:

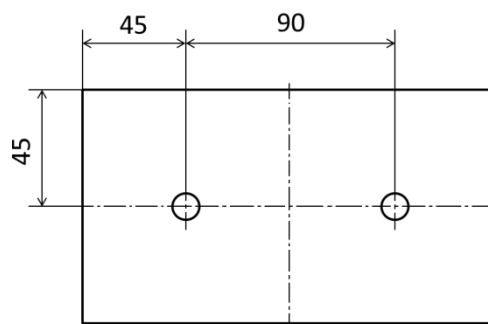
$$z = \frac{d_d - d_p}{2t_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.1)$$

z – mezera [%]

d_d – vnitřní průměr raznice [mm]

d_p – průměr razníku [mm]

t_0 – tloušťka plechu [mm]



Obr. 37 Poloha otvorů na zkušebním vzorku [7]

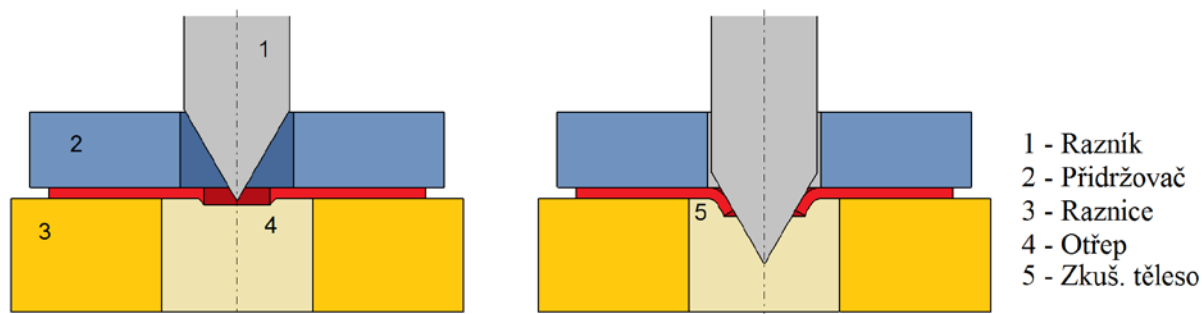
Zkouška se provádí v rozmezí teplot od 10 °C do 35 °C. Při řízených podmínkách musí být teplota 23±5 °C. Zkouška se pro jednotlivý materiál musí opakovat nejméně třikrát. Upnutí zkušebního tělesa musí zajistit:

- sesouhlasení os rozšiřujícího nástroje a vyraženého otvoru
- kolmost roviny ke směru pohybu rozšiřujícího nástroje

Zkušební těleso se umísťuje tak, aby k rozšiřování docházelo ze stejné strany jako k vyrazení otvoru. Síla upnutí musí být dostatečná, aby zabránila jakémukoli vtažení materiálu z upnuté oblasti. Pokud dojde ke vtažení, vzorek musí být vyloučen a zkouška se musí opakovat. Pro vzorky o rozměrech 150 mm x 150 mm se doporučuje síla 50 kN.

Do otvoru se vtlačuje razník konstantní rychlostí. Tato rychlost by neměla překročit 1 mm/s, aby bylo možné pohyb zastavit v okamžiku vzniku odpovídající trhliny. Během pohybu se pozoruje hrana otvoru a při prvním náznaku trhliny se sníží rychlost, čímž se minimalizuje další rozšiřování trhliny. Pohyb se zastaví úplně v okamžiku, kdy se objeví trhlina přes celou tloušťku zkušebního tělesa. Měří se dva na sebe kolmé vnitřní průměry rozšířeného otvoru v místech mimo trhlínu posuvnou měrkou nebo jiným vhodným přístrojem. Zaokrouhlí se na nejbližší 0,05 mm.

Pokud během vtlačování razníku nedojde ke vzniku trhliny, tak se vzorek musí vyřadit a zkoušku opakovat s razníkem o větším průměru.



Obr. 38 Znázornění zkoušky rozšiřováním otvoru [7]

4.2 Zkouška maximálního krouticího momentu

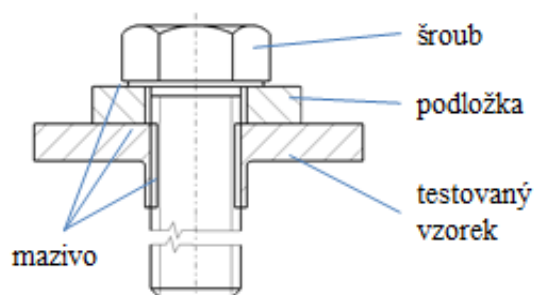
[23], [26]

Zkouška maximálního krouticího momentu je velmi jednoduchá zkouška pro rychlé zjištění maximálního krouticího momentu, který je schopen přenést závit vyrobený v průtaži. Pro zkoušku je potřeba pouze mazivo a momentový klíč nebo elektrický šroubovák.

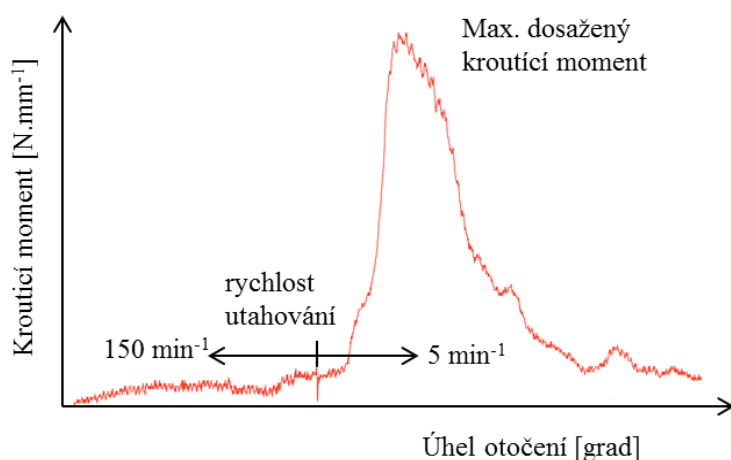
Testovaný vzorek musí být ustaven tak, aby byla osa závitů během testu ve svislé poloze. Uložení vzorku musí zaručit stálost polohy během celé zkoušky. Pokud je nutné, použije se přípravek. Situace před zkouškou je na obr. 39.

Příprava zkoušky:

- v průtaži se vyrobí závit
- na závit testovacího vzorku daného rozměru se aplikuje mazivo
- mazivo se aplikuje i na podložku z obou stran a umístí se na vzorek
- v případě použití elektrického šroubováku se matice zašroubuje do počáteční polohy rychlostí 150 ot.min^{-1}
- šroub se přitáhne na 40% - 60% předpokládaného krouticího momentu
- každý šroub a podložka se použijí pouze na jeden test



Obr. 39 Příprava zkoušky [26]



Obr. 40 Graf závislosti kroucího momentu na otáčení [26]

Během testu se otáčí momentovým klíčem nebo elektrickým šroubovákem rychlostí 5 ot.min^{-1} . Postupně se zvyšuje kroucí moment, až dojde k selhání závitového spoje. Maximální kroucí moment odečteme z displeje, pokud je zkušební nástroj opatřen vyhodnocením momentu, získáme graf jeho závislosti na čase, obr. 40.

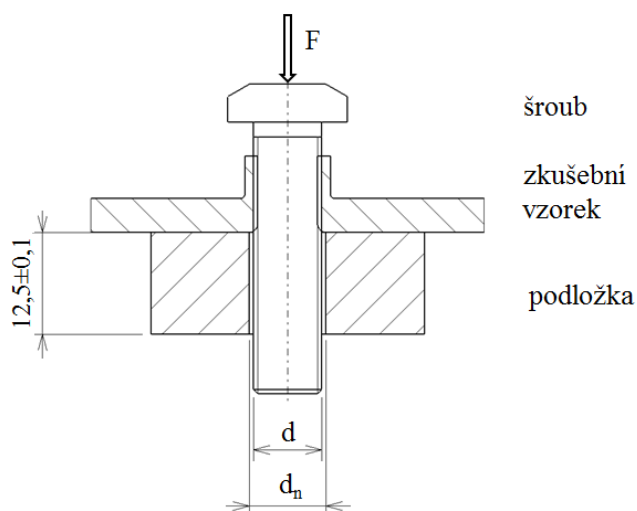
4.3 Peel – off test

[16], [23]

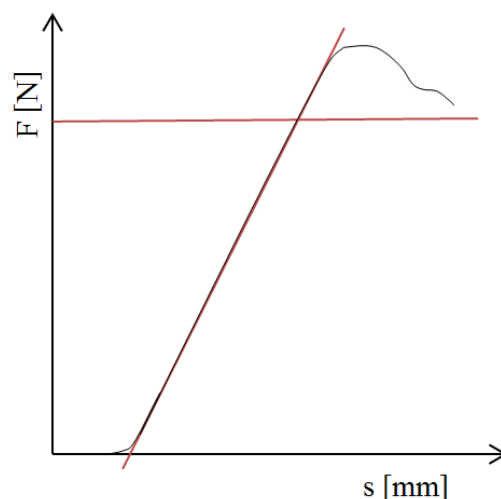
Do této kategorie patří dva testy. Nastavení zkoušky je v obou případech stejné, je ukázáno na obr. 41. Obě zkoušky se provádějí na trhačím stroji. Mění se pouze způsob zatěžování a vyhodnocování zkoušky. Šroub musí patřit do pevnostní třídy 12.9. Do spoje se zašroubuje rychlostí 20 mm.min^{-1} a zašroubovaný musí být tak, aby podložku přesahovala alespoň tři stoupání.

Zkouška A - Při této zkoušce zatěžujeme spoj konstantní, předem určenou silou po dobu 15 s. Vyhodnocení spočívá v povolení šroubu. Pokud jde vyšroubovat rukou, vzorek vyhověl. V případě, že se šroubem nelze hnout, je povoleno na prvních 180° použít klíč.

Zkouška B - Stejně jako při minulé zkoušce se šroub zatěžuje silou. V tomto případě se zatížení lineárně zvyšuje až do porušení vzorku. Vyhodnocení zkoušky spočívá v kontrole závislosti síly na dráze. Pokud je tato závislost lineární až do požadované hodnoty zatížení, vzorek vyhověl, obr. 42.



Obr. 41 Nastavení zkoušky [26]



Obr. 42 Graf závislosti síly na dráze [26]

4.4 Tahová zkouška

[12], [30]

Tahová zkouška je jednou ze základních mechanických zkoušek, pomocí nichž určujeme materiálové charakteristiky. Během této zkoušky je zkušební vzorek zatěžován jednoosým napětím. Toto zatížení je statické a probíhá až do porušení vzorku. Zkušební vzorek může mít různý průřez podle konkrétní aplikace. Pro testování je vhodné volit geometricky jednoduchý průřez, při testování plechů bude obdélníkový (obr. 43).

Během zkoušky se vzorek chová elasticky – jedná se o oblast elastické deformace. V této oblasti je deformace přímo úměrná napětí, platí Hookův zákon:

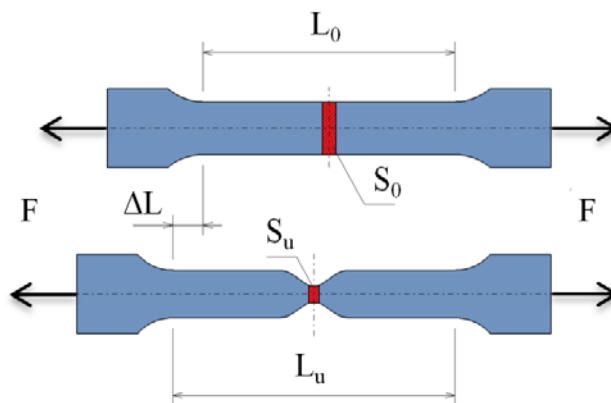
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4.1)$$

σ ... napětí

E ... Modul pružnosti

ε ... elastická deformace

Po překonání meze kluzu se materiál chová plasticky. Dochází k trvalým deformacím a po odlehčení již nedochází k návratu na původní rozměr. Toto chování popisuje výstup z tahové zkoušky – pracovní diagram tahové zkoušky (obr. 44).



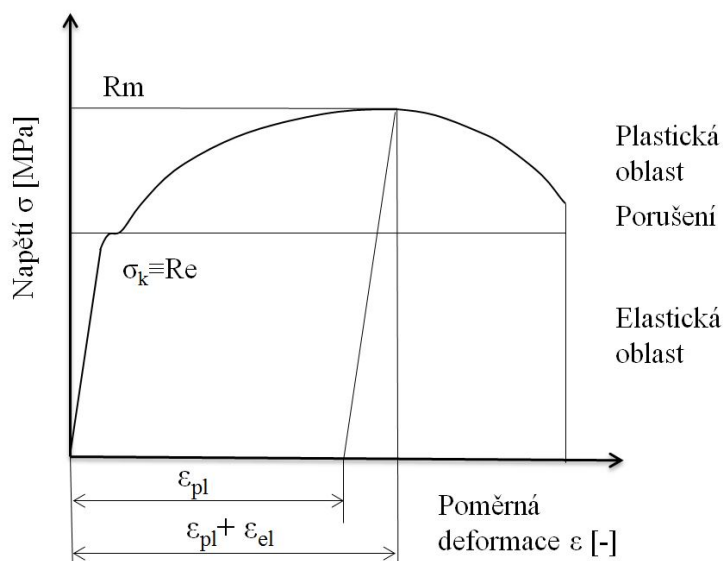
Obr. 43 Zkušební vzorek - tahová zkouška [12]

Po překročení meze kluzu dochází ke ztenčování příčného průřezu a dochází k rovnoměrnému prodlužování na celé délce zkušební vzorku. Toto prodlužování pokračuje až do vzniku krčku, v tomto okamžiku se mění způsob zatížení – vzorek je namáhán trojosým napětím. V místě krčku dochází k zeslabení průřezu a následně ke křehkému porušení. S pomocí tohoto grafu lze určit smluvní mez pevnosti R_m :

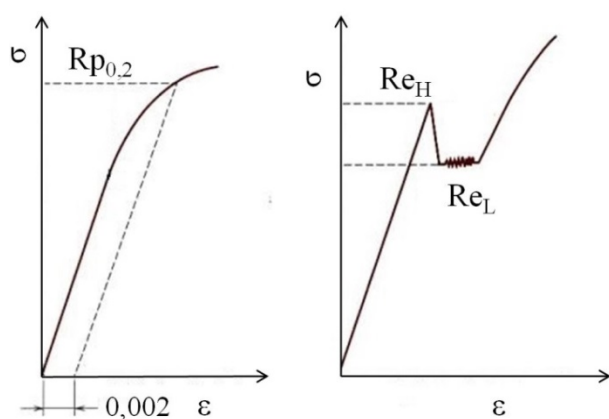
$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (4.2)$$

F_m ... maximální síla

S_0 ... výchozí průřez



Obr. 44 Pracovní diagram tahové zkoušky [12]



nevýrazná mez kluzu, výrazná mez kluzu

Obr. 45 Mez kluzu [30]

Další charakteristikou materiálu, kterou touto zkouškou získáváme, je mez kluzu. Je to mez, kde se elastické namáhání mění na plastické. Podle materiálu je tato mez výrazná nebo nevýrazná, viz obr. 45. Výraznou mez kluzu odečítáme přímo z pracovního diagramu zkoušky, v případě nevýrazné meze kluzu musíme určit její smluvní hodnotu $R_{p0,2}$. Ta se určí jako 0,2% z trvalé deformace pod zatížením:

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0} \quad (4.3)$$

$F_{p0,2}$... síla při 0,2% deformace

Z geometrických charakteristik tyče dále určujeme tažnost (4.3) a zúžení (4.4).

$$A = \frac{L_u - S_u}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.3)$$

L_0, L_u, S_0, S_u ... dle Obr. 43

$$K = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.4)$$

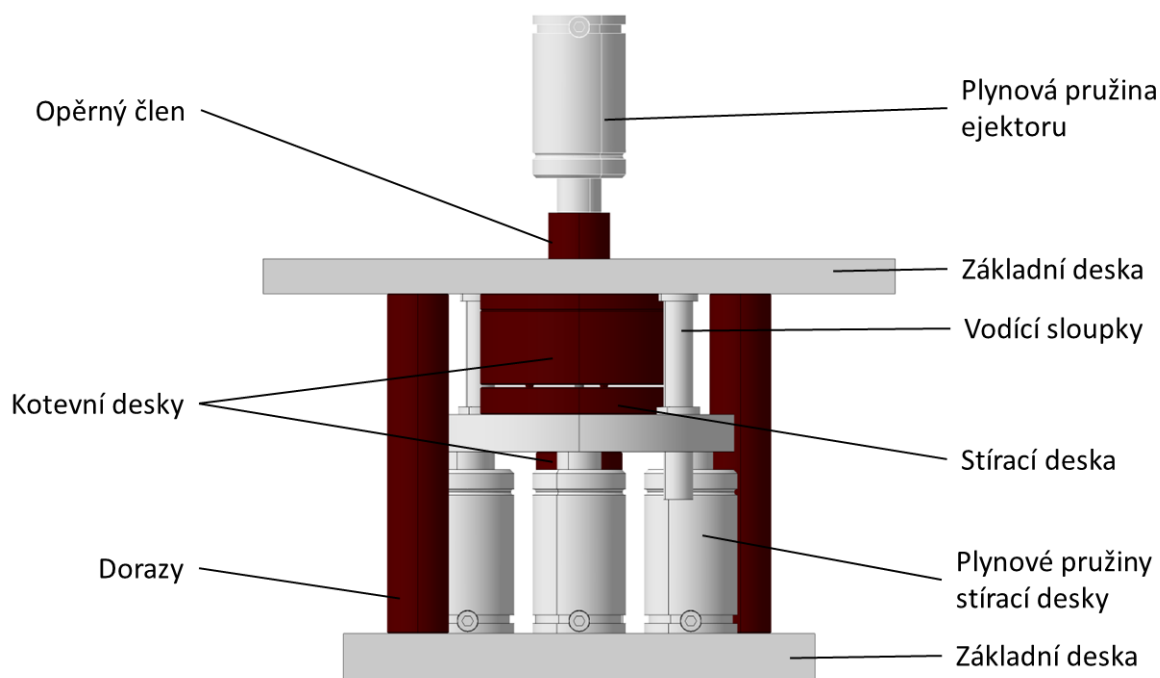
5 PŘÍPRAVEK NA TESTOVÁNÍ PRŮTAŽÍ

[8], [12], [22], [23], [24]

Jedním z úkolů od firmy PWO Unitools a.s. bylo zkonstruovat přípravek, ve kterém by bylo možné efektivně testovat parametry výroby průtaží.

5.1 Starý přípravek

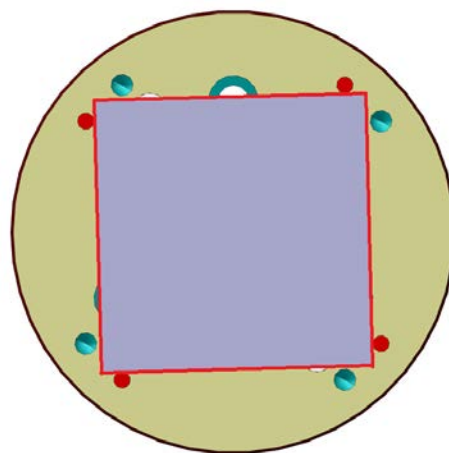
Pro testování se používal přípravek na obr. 46. V horní polovině přípravku je na základní desce upnuta podložka a kotevní deska tažnice/střížnice. V závislosti na operaci může být ve středu tažnice ještě ejektor, který přidržuje materiál a zlepšuje tak výsledný tvar průtaže. Ten je přes opěrný člen spojen s plynovou pružinou. Ve spodní půlce přípravku jsou na základní desce plynové pružiny, kotevní deska tažníku/střížníku a hlavní dorazy. 4 plynové pružiny jsou spojeny se stírací deskou. Vedení zajišťují 2 vodící sloupky.



Obr. 46 Starý přípravek

Tento přípravek je jednooperační – tzn., že během jednoho zdvihu mohl provést pouze jednu operaci. To testování zdržuje, protože po stříhání děr, se před tažením průtaží musela provést přestavba. Ta trvala poměrně dlouhou dobu, protože při konstrukci nebyl kladen důraz na snadnou a rychlou montáž. Pro demontáž tažníku se musí odstranit stírací deska, deska plynovek a až poté lze odstranit kotevní deska s tažníkem. Demontáž tažnice není tak problematická, odstraní se současně s kotevní deskou.

Nevyhovující je také tvar testovacího vzorku. Používají se čtverce plechu, které se na stírací desku ustavují pomocí 4 kolíků, to je zobrazeno na obr. 47. Základní deska se při upnutí k beranu lisu musí podkládat kvůli plynové pružině ejektoru.



Obr. 47 Ustavení testovacího vzorku

5.2 Konstrukce přípravku

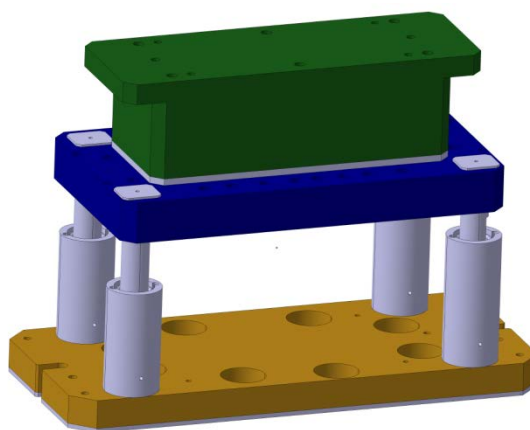
[22], [23]

Požadavky na konstrukci vycházejí z nedostatků starého přípravku:

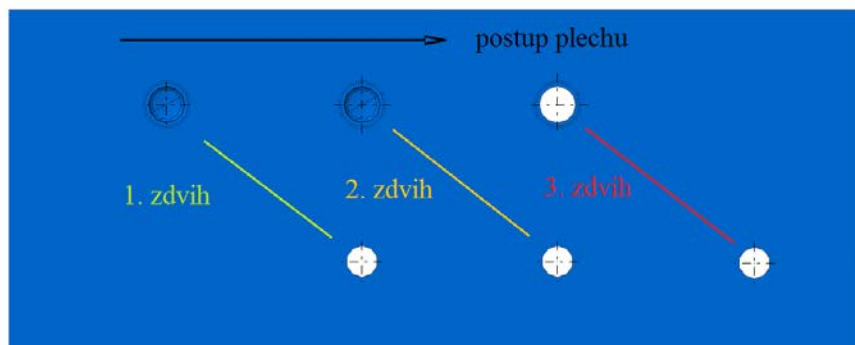
- rychlá montáž a demontáž
- zkušební vzorek ve formě pásu
- testování dvou průměrů průtaží najednou
- snadné ustavení plechů
- možnost testovat pouze jeden ze dvou pásů plechu
- možnost tvářet průtaže z předstřížené díry i z plného materiálu

Pro snížení nákladů se použily základní desky a vedení z jiného vyřazeného přípravku (obr. 48). Tím se získaly základní rozměry, se kterými se dále pracovalo. Plocha, kterou přípravek zabírá je 1100 x 490 mm, minimální výška přípravku, s přihlédnutím na výšku vodících pouzder je 701,5 mm. Stroj, na kterém se bude testovat je hydraulický lis Schuler SHC-400-1,6x1,3. Ten zaručí dostatečnou plochu pro 1600 x 1300 mm i dostatečný zdvih. Jeho montážní výška je 1500 mm a výška zdvihu 1000 mm.

Jedná se o sružený nástroj. Podle okamžitého nastavení přípravku lze vyrábět průtaže z díry nebo tažením. V prvním případě je první operací stříh a druhou operací vnitřní lemování. V případě výroby průtaží tažením se postupuje z opačné strany. První operací je tažení průtaže a druhou prostřížení dna. Hlavním zájmem firmy je testování tažených průtaží, proto se bude popis přípravku soustředit na toto nastavení. Ten bude doplněn i popisem nastavení průtaže z díry.



Obr. 48 Použité díly



Obr. 49 Postupový plán přípravku

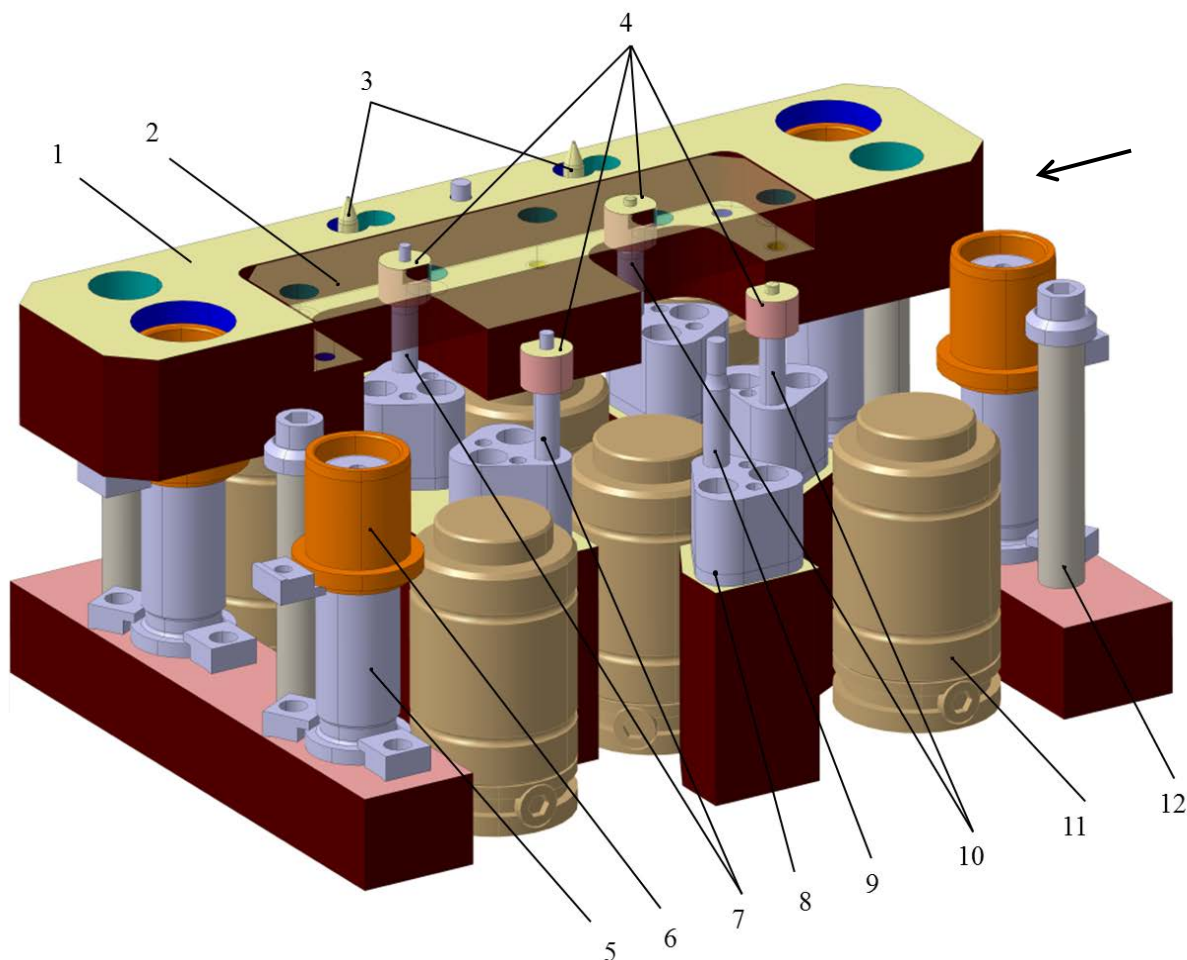
Postupový plán je na obr. 49. Jedna průtaž se vyrobí na tři zdvihy, dva z nich jsou pracovní, jeden volný. V prvním zdvihu dojde k první operaci výroby průtaže a k prostřížení díry pro hledáček, ta je stříhána v každém zdvihu. Při druhém zdvihu je plech pouze

ustavován pomocí hledáčku. Ve třetí operaci dochází k prostřížení dna průtaže. Vedení pásu plechu zajišťují dvě vedení, přičemž jedno z nich je nastavitelné pro konkrétní šířku plechu.

5.2.1 Horní polovina přípravku

[22], [23]

Horní polovina přípravku je na obr. 50. Díly použité z vyřazeného nástroje a hlavní dorazy nejsou zobrazeny.



Obr. 50 Horní polovina přípravku

Hlavními funkčními díly je pár tažníků (10) a střížníků (7). Díru pro hledáček (3) stříhá střížník (9). Podle směru postupu plechu se použije pouze jeden hledáček na každé straně. Hledáčky jsou uloženy v přidržovači (1). Aby se při přestavbě nemusel sundávat celý přidržovač, je v něm vyfrézována kapsa pro vložku přidržovače (2). V ní jsou uloženy stírací vložky (4) střížníku a tažníku. Každý střížník a tažník je uložen v odpovídající kotevní desce (8) a podložce (8). Přidržovač je veden vodícími sloupky (5) s vodícími pouzdry (6). Jeho pohyb je omezen z horní strany skupinou tří plynových pružin (11) a ze spodní strany distančními šrouby (12).

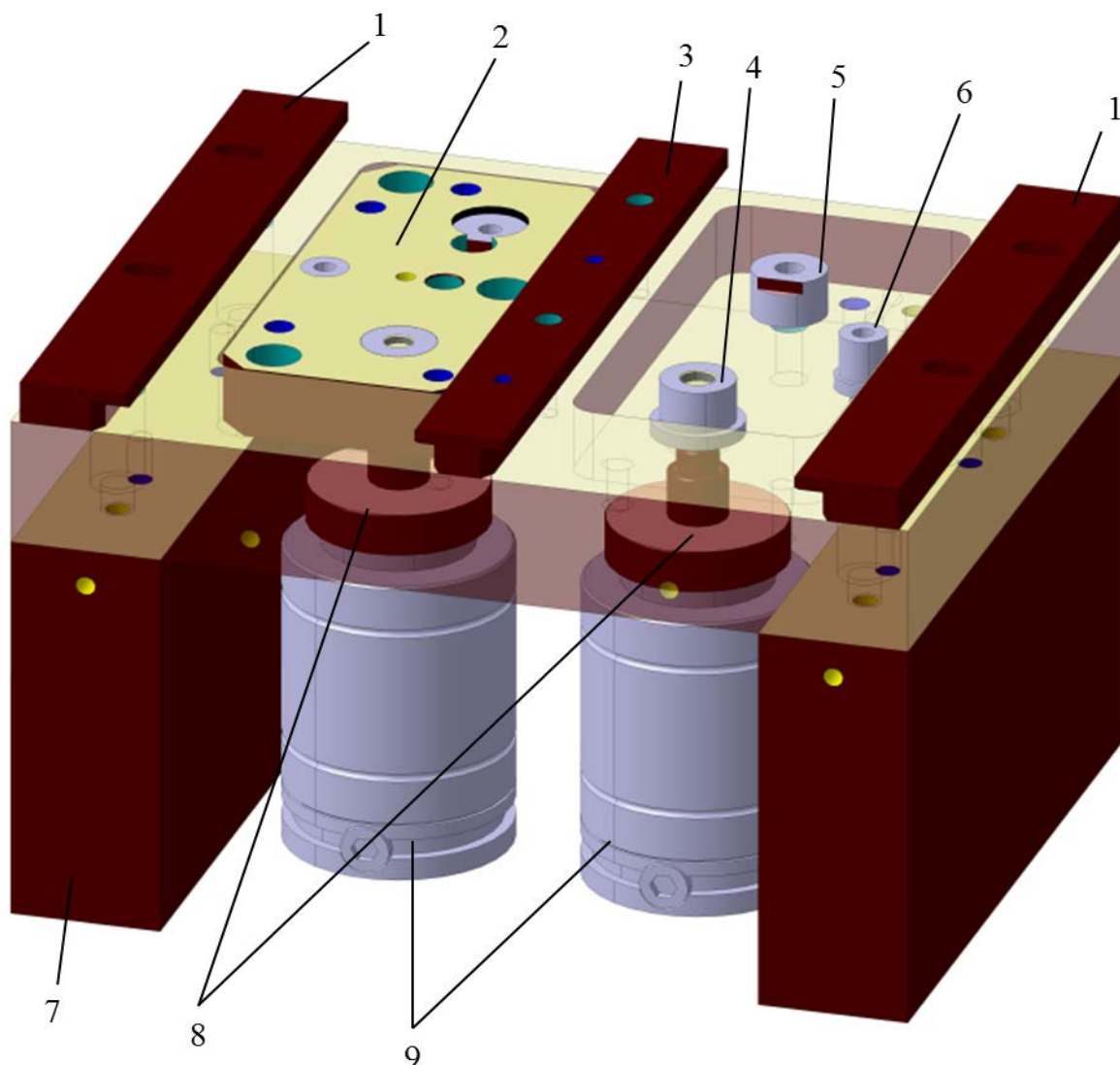
Plech postupuje z našeho pohledu zprava, hledáček se tedy ponechá pouze levý. Mezera mezi střížníkem a tažníkem je 100 mm. Tento rozměr zmenšit nejde, kvůli rovnoměrnému podepření přidržovače plynovými pružinami. Dostatečná vzdálenost dvou průtaží je 50 mm, tím se navíc zdvojnásobí počet vzorků a omezí plýtvání materiálem.

Při přestavbě na jiné průměry průtaží stačí pouze odstranit vložku přidržovače a vyměnit stírací vložky, každá je pojištěna jedním šroubem. Odstraněním vložky se nástrojář dostane ke kotevním deskám střížníku a tažníku a může je vyměnit.

5.2.2 Spodní polovina přípravku

[22], [23]

Spodní polovina přípravku je na obr. 51. Stejně jako u horní poloviny nejsou zobrazeny díly z vyřazeného přípravku a hlavní dorazy.



Obr. 51 Dolní polovina přípravku

Na spodní polovině je sestava (7) ze dvou stojin a jedné desky. Na horní desce jsou vedení pro zkušební pásy plechu. Jedno z nich je pevné (3) a ostatní dvě jsou nastavitelné (1), podle šířky konkrétního plechu. V horní desce jsou navíc vyrobeny kapsy pro vložky (2), ve kterých jsou uloženy tažnice (4) a střížnice (5, 6). Středem tažnic jsou vedeny spodní přidržovače – sestava ejektorů (8) na které ze spodní strany působí síla od plynových pružin (9).

Střížnice jsou kvůli snadné výměně upnuty jedním šroubem. Při prostřihování dna o tloušťce do 0,2 mm na ni nepůsobí síla, která by ji mohla vytrhnout. Střížnice jsou utopené pod úroveň horní desky, podle předpokládané hloubky průtaže. Během optimalizace procesu se bude výška průtaže měnit, dokud nedosáhneme optimálních parametrů. Proto je vyrobena sada podložek pro nastavení výšky pro konkrétní průtaže.

Tažnice jsou upnuty jinak, během tváření se materiál vtlačuje mezi tažník a tažnici a při vytahování vznikají velké síly. Tažnice se také nebudou měnit tak často jako střížnice, proto jsou uloženy s osazením. Stejně jsou upnuty i střížníky děr hledáček.

Při přestavbě se musí vyšroubovat vložky a vyměnit v nich uložené střižnice a tažnice. Střižnice se dá demontovat i bez odstranění vložky díky upnutí bočním šroubem. Odstraněním vložek se umožní přístup k sestavě ejektoru.

Při nastavení na výrobu průtaží z díry se musí podložit střižnice tak, aby vytvořily s horní deskou rovinu. Tažnice zůstává totožná, může se odstranit spodní přídržovač.

5.2.3 Použité materiály

[8], [22], [23], [24]

Pro konstrukci přípravku se použily materiály běžně používané firmou PWO Unitools pro konstrukci tvářecích nástrojů. Jejich přehled je v tab. 9. Pro nenamáhané díly jako jsou desky, kostky a jiné se použila ocel 1.0570. Jedná se o univerzální nelegovanou konstrukční jemnozrnnou ocel, která je vhodná pro základové desky lisovacích nástrojů a pro málo namáhané desky vstřikovacích nástrojů.

Ocel 1.2379 je vysoce legovaná chrom – molybden – vanadová ocel. Vyznačuje se vysokou oťeruvzdorností, houževnatostí a odolností proti opotřebení. Je výborně prokalitelná s rozměrovou stálostí během kalení. Dosažitelná tvrdost až 63 HRC. Mezi vhodné použití patří nástroje pro tváření, jednoduché a symetrické nástroje pro protlačování, tváření závitů a další.

Nejpoužívanější univerzální nástrojová ocel. Vynikající rozměrová stálost při tepelném zpracování a dobrá prokalitelnost v oleji. Dobrá kombinace povrchové tvrdosti a houževnatosti. Maximální tvrdost až 63 HRC. Používaná pro řezné a lisovací nástroje za studena.

Tab. 9 Materiály použité na konstrukci přípravku

Materiál	Poznámka	Použití:
1.0570		kostky, desky, přídržovače
1,2379	Kaleno 58+2HRC	vložky střižníků, ejektor
1,2842	Kaleno 50+2HRC	vedení, podložky
	Kaleno 56+2HRC	hledáčky

Normálie se nakupovaly. Střižníky a tažníky, kotevní desky, tažnice a střižnice se nakoupily od firmy DAYTON. Na tažníky a střižníky se objednaly střižníky APXF.

A - Pro lisování

P - Střižník

X - Kruhový průřez

F - TuffPunch®

APXF 10 80 P4.65 LL80 TT

Typ – rozsah $P \in \{3;10\}$

Délka (50, 60, 70, 80, 80, 100)

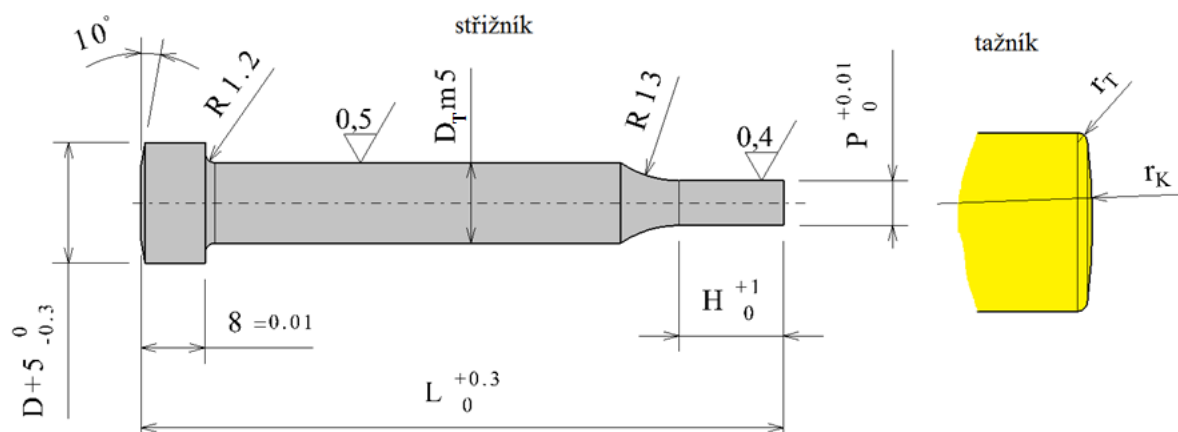
Průměr funkční části

Zpřesnění tolerance výšky hlavy

Zpřesnění tolerance celkové délky
(u střižníků)

Tuffpunch® je firemní označení střižníků, které mají 10° zkosení hlavy a styčnou plochu hlavy stejnou jako průměr stopky. To napomáhá rovnoměrnému šíření napětí přes nástroj a eliminuje boční rázové vlny. U klasicky konstruovaného střižníku by se toto napětí koncentrovalo na vnější hraně hlavy. Takto koncentrované napětí by způsobilo častější selhání nástroje – zvláště u těžce zatěžovaných dílů. Tyto díly jsou vyráběny z oceli CPM® M4, je to speciální ocel s vysokým obsahem vanadu. Je houževnatá s dobrou odolností proti opotřebení.

V případě tažníků se neobjednávalo toleranční zpřesnění délky. Jejich délka se upravovala podle předpokládané výšky průtaže. Kromě délky se upravovala i geometrie, viz obr. 52.



Obr. 52 Geometrie střížníku a tažníku [8]

5.2.4 Určení výšky průtaží

[22], [23]

Pro určení rozměrů tažníků bylo potřeba rozměry průtaží pro každý závit – M5, M6, M8 a M10.

a) výpočet výšky průtaže empiricky

Vztah pro určení výšky průtaže (obr. 53):

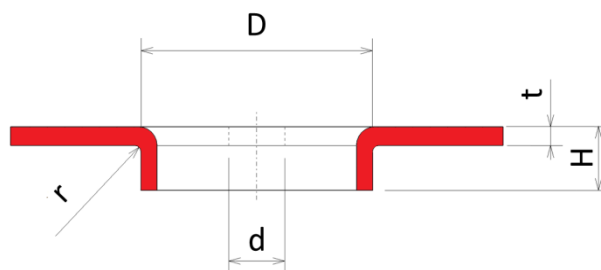
$$H_a = \frac{D - d_0}{2} + 0,43 \cdot r + 0,76 \cdot t \quad (5.1)$$

D ... vnější průměr průtaže

d_0 ... průměr předstřiženého otvoru

r_m ... poloměr zaoblení matrice

t_0 ... tloušťka materiálu



Obr. 53 Rozměry průtaže

Hodnoty vnějších a vnitřních průměrů průtaže i průměry předstřižené díry byly určeny za pomoci podkladů firmy PWO Unitools, podle v současné době používaných tažníků a tažnic pro podobné aplikace.

Tab. 10 Výška průtaží jednotlivých závitů

Závit	D [mm]	d_0 [mm]	t [mm]	r [mm]	H_a [mm]
M5	6,7	2,8	1,5	0,5	3,30
M6	7,55	3	1,5	0,5	3,63
M8	9,4	3	1,5	0,5	4,55
M10	11,3	3	1,5	0,5	5,50

b) Výška průtaže z díry pomocí objemů:

Vychází se ze zákona o konstantním objemu. Objem materiálu před tvářením se musí rovnat objemu materiálu po tváření. Geometrie na obr. 54 a). Nejprve určíme objem materiálu, který zbyde po prostřížení díry:

$$V_{d0} = \pi \cdot (r^2 - r_0^2) \cdot t \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.2)$$

Poté musím určit objem průtaže:

$$V_{d1} = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot H \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.3)$$

Musíme vzít v potaz i vliv geometrie tažnice r_1 (5.4) a zaoblení r_2 (5.5):

$$V_{dr1} = \pi \cdot ((R + r_1)^2 - R^2) \cdot r_1 \cdot \lambda_{d1} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.4)$$

$$V_{dr2} = \pi \cdot ((r + r_2)^2 - r^2) \cdot r_2 \cdot \lambda_{d1} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.5)$$

$$\text{Koeficient zaplnění průřezu } \lambda_{d1} = \frac{r^2 - \frac{\pi \cdot r^2}{4}}{r^2}$$

Potom musí platit rovnice:

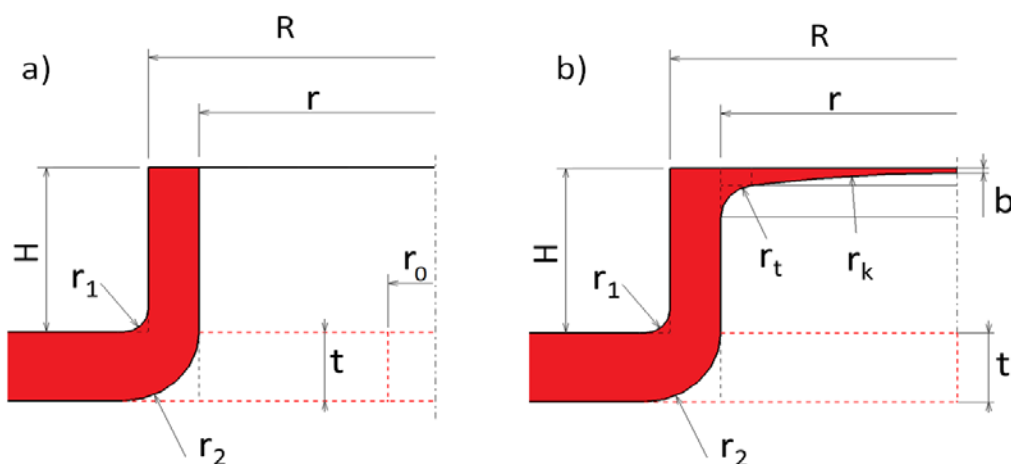
$$V_{d0} = V_{d1} + V_{dr1} - V_{dr2} \rightarrow H_b = \frac{V_{d0} + V_{d2} - V_{d1}}{\pi \cdot (R^2 - r^2)} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.6)$$

Tab. 11 Výška průtaží podle objemu

	R [mm]	r [mm]	r_0 [mm]	r_1 [mm]	r_2 [mm]	t [mm]	H_b [mm]
M5	3,35	2,35	1	1,5	0,5	1,5	1,65
M6	3,775	2,775	1	1,5	0,5	1,5	2,00
M8	4,7	3,7	1,5	1,5	0,5	1,5	2,46
M10	5,65	4,65	1,5	1,5	0,5	1,5	3,26

c) Výška tažené průtaže pomocí objemů:

Princip výpočtu je stejný jako u výpočtu průtaží z díry, mění se pouze geometrie, viz obr. 54 b).



a) průtaž z díry b) tažená průtaž

Obr. 54 Geometrie průtaže

Vliv zaoblení tažnice r_1 a zaoblení r_2 vypočítáme stejně jako u průtaží z díry, s použitím rovnic (5.4), (5.5) a (5.6). Zbývá pouze určit objem dna V_{t2} . Ten rozdělíme na oblasti podle obrázku. V_{t21} určíme jako objem mezikruží: Nejdřív určíme výchozí objem materiálu:

$$V_{t0} = \pi \cdot r^2 \cdot t \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.7)$$

$$V_{t21} = \pi \cdot (r^2 - (r - X)^2) \cdot Z \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.8)$$

X, Y, Z ... geometrie dna průtaže, viz Obr. 55.

Rovnicí (5.9) určíme objem V_{t22} jako objem mezikruží vynásobený koeficientem zaplnění průřezu λ_{t2} .

$$V_{t22} = \pi \cdot (r^2 - (r - X)^2) \cdot Y \cdot \lambda_{t2} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.9)$$

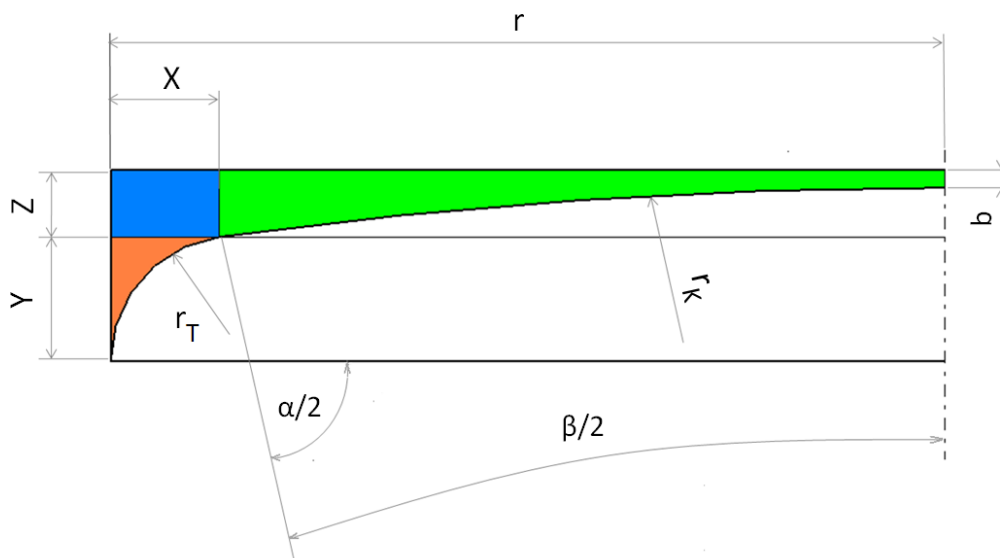
$$\lambda_{t2} = \left(X \cdot Y - \frac{r_t^2}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180} - \sin \alpha \right) \right) \cdot (X \cdot Y)^{-1}$$

r_t ... zaoblení tažníku

Objem V_{t23} podle rovnice (5.10) je rozdíl objemu válce a kulové úseče.

$$V_{t23} = \pi \cdot r^2 \cdot Z - \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (Z - b)^2 \cdot (3 \cdot r_k - (Z - b)) \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.10)$$

b ... minimální výška dna průtaže
 r_k ... kulové zaoblení čela tažníku



Hodnoty X, Y a Z byly určeny pomocí programu CATIA R19V5

Obr. 55 Geometrie dna průtaže

Tím dostáváme objem dna průtaže V_{t2} :

$$V_{t2} = V_{t21} + V_{t22} + V_{t23} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.11)$$

Výšku průtaže H (5.13) potom dostaneme vyjádřením ze vztahu pro objem průtaže V_{t3} (5.12) a dosazením do rovnice zákona zachování objemu.

$$V_{t3} = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot H \text{ [mm}^3\text{]} \quad (5.12)$$

$$H_c = \frac{V_{t0} + V_{tr2} - V_{tr1} - V_{t2}}{\pi \cdot (R^2 - r^2)} \text{ [mm]} \quad (5.13)$$

Tab. 12 Výška tažených průtaží

	R [mm]	r [mm]	r ₁ [mm]	r ₂ [mm]	r _k [mm]	r _t [mm]	t [mm]	H _c [mm]
M5	3,35	2,35	1,5	0,5	15	0,2	1,5	1,72
M6	3,775	2,775	1,5	0,5	20	0,3	1,5	1,97
M8	4,7	3,7	1,5	0,5	25	0,5	1,5	2,47
M10	5,65	4,65	1,5	0,5	30	0,7	1,5	2,94

S vypočtených hodnot jsem určil rozměry tažníků, viz tab. 13.

Tab. 13 Rozměry tažníků

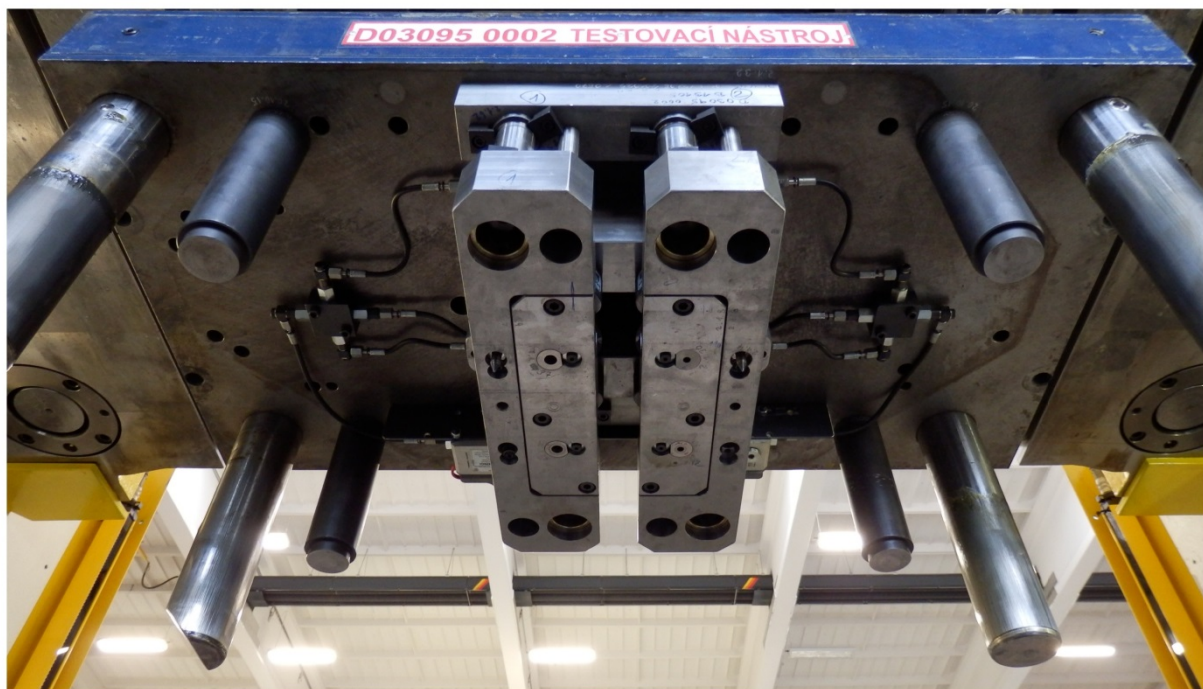
H _a [mm]	H _b [mm]	H _c [mm]	Délka tažníku [mm]
1,8	1,65	1,72	76,8
2,13	2,00	1,97	77,4
3,05	2,46	2,47	78,2
4	3,26	2,94	79

Vyrobený a smontovaný přípravek je vidět na obr. 56.

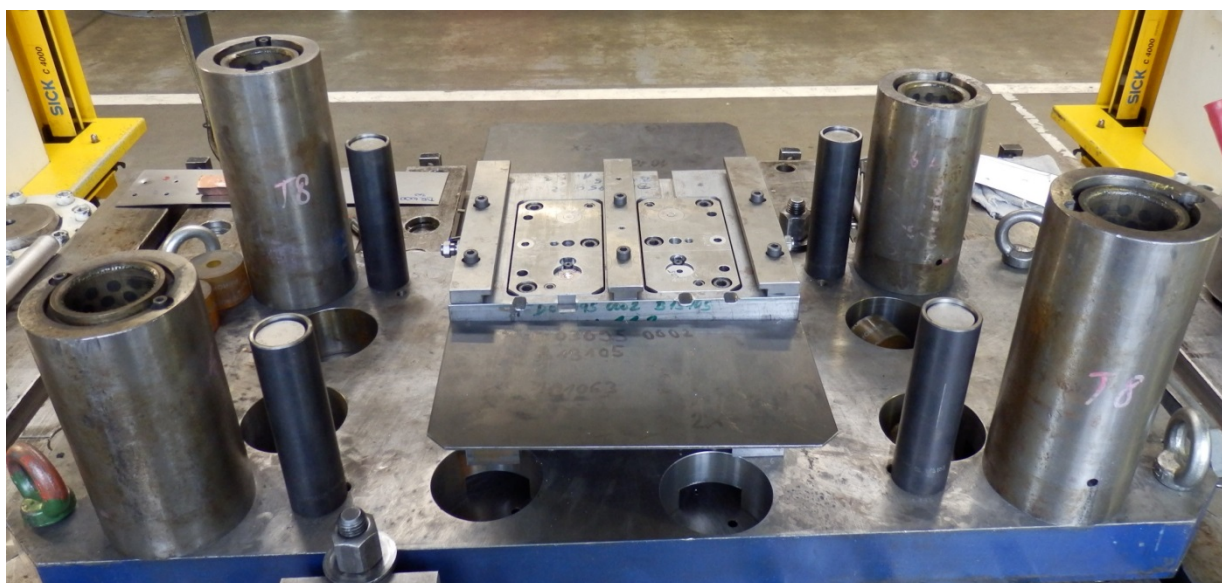


Obr. 56 Zkušební přípravek

Horní a spodní polovina nástroje je vyfocena na obr. 57 a obr. 58.



Obr. 57 Horní polovina přípravku



Obr. 58 Spodní polovina přípravku

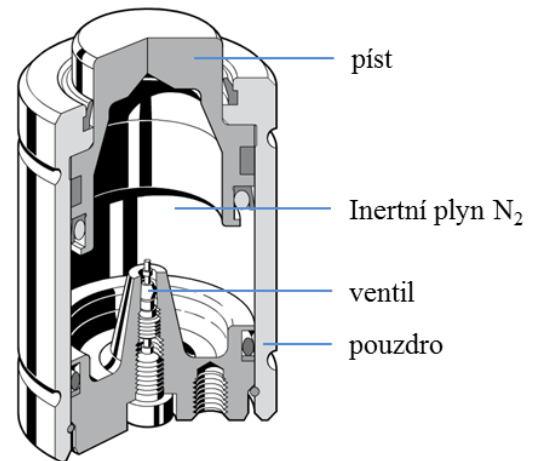
6 OPTIMALIZACE PROCESU VÝROBY PRŮTAŽE

[5], [21], [23], [31]

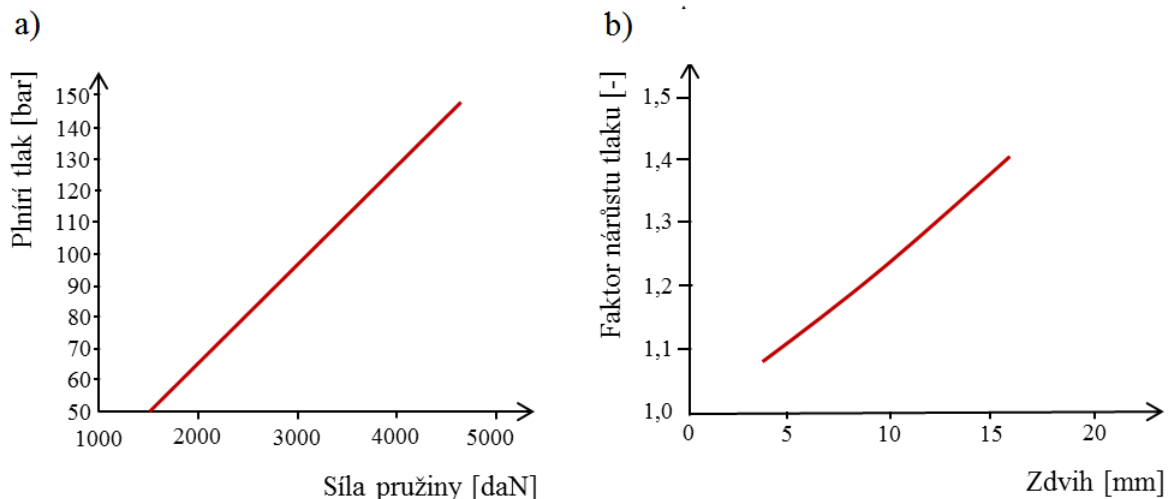
Mým úkolem bylo optimalizovat parametry procesu tváření tažených průtaží. Optimalizace byla prováděna na stroji Schuler SHC – 400 – 1,6x1,3. Jedná se o hydraulický lis, jehož jmenovitá síla je 4000kN. Mezi parametry patří:

- síla horního přidržení
- síla spodního přidržení
- výška hlavních dorazů

Tlak obou přidržovačů je vyvozen od jednokomorových plynových pružin firmy FIBRO. Výhody těchto pružin jsou velké síly, kompaktní rozměry a velký zdvih. Síla je vyvozena tlakem vnitřního média (obvykle N_2) na píst, viz obr. 59. Každý typ pružiny má svoji funkční a tlakovou charakteristiku. Při pohybu beranu dochází k zatlačení pístu do komory a ke zmenšení jejího objemu. Vzroste tlak i síla, kterou pružina vyvíjí, jedná se o tlakovou charakteristiku pružiny, která je závislá na zdvihu a na počátečním tlaku (obr. 60). Funkční charakteristika je vyvozená síla odpovídající počátečnímu tlaku. Plynové pružiny jsou standardně tlakovány na 150 barů.



Obr. 59 Konstrukce plynových pružin [21]



a) Funkční charakteristika, b) tlaková charakteristika

Obr. 60 Charakteristiky plynové pružiny [21]

Přidržovač působí na materiál normálovou silou, díky tomu mezi plechem a přidržovačem dochází ke tření. Při nízké síle je tření malé a nezabraňuje vtahování materiálu do tahu. Mohlo by se zdát, že malé zeslabení plechu by neuškodilo a dosáhli bychom tak vyšší průtaže. V dolní úvratí beranu to platí, ale při pohybu z této polohy je na průtaž vyvíjena síla od spodního přidržovače. Ta může být vyšší než síla horního přidržovače a naopak průtaž zmenšit natlačením jejího materiálu zpět do materiálu plechu. Tato síla má vliv na zaoblení

přechodu mezi plechem a vnitřní stranou průtaže. Příliš velká síla by způsobila malé zaoblení a tím by omezila materiál pro průtaž.

Spodní přidržovač zajišťuje dostatečné ztenčení stěny. Při malé síle se materiál nepřesouvá do stěny průtaže a zůstává ve dně. Poté dochází k malé výšce průtaže. Při vysoké síle zase dochází ke zmenšování výšky průtaže, protože při vyjíždění tažníku na průtaž působí příliš vysoká síla a stlačuje ji.

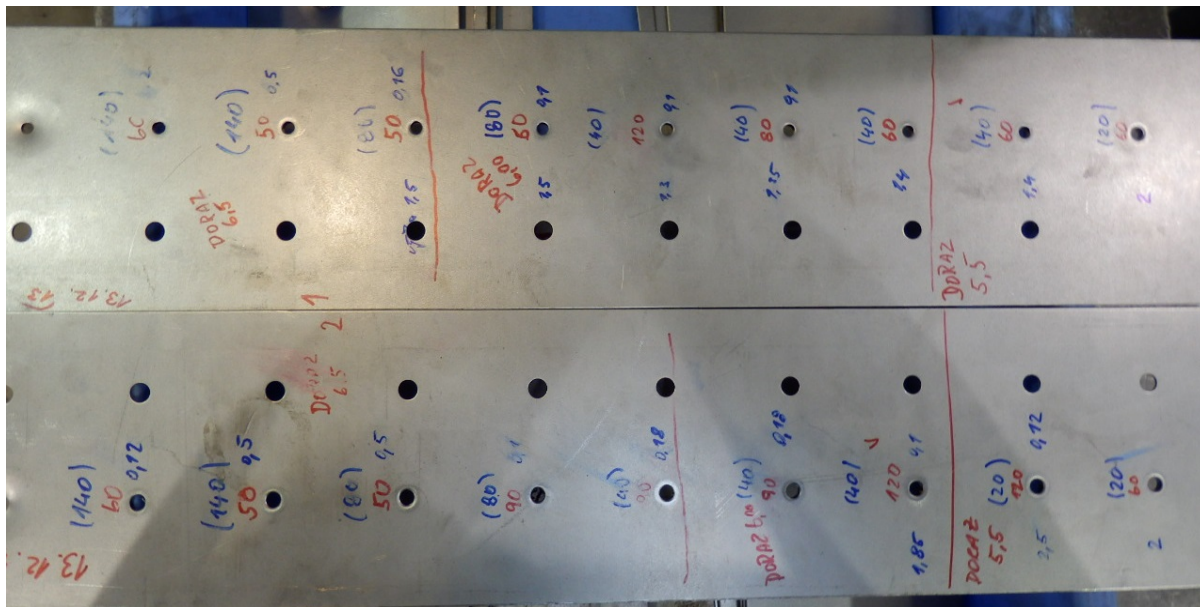
Výška dorazu se ovlivňuje jednoduchou změnou výšky podložky mezi horní a dolní polovinou přípravku.

Dorazy ovlivňují hloubku, do jaké materiálem proniknou tažníky. Při tažení průtaže se při pohybu do dolní úvrti nevytvoří konečný tvar průtaže. Tažník je v dolní úvrti o 1-2 mm níž než je úroveň budoucího dna průtaže. V tomto okamžiku je stěna zúžena a teprve při zpětném pohybu beranu se vlivem spodního přidržení spěchuje do tloušťky, kterou určují rozměry tažníku a tažnice.

6.1 Experimentální určení parametrů

Pro tento proces není vyvinut žádný program, který by byl schopen tento proces spolehlivě simulovat. Nelze určit každý parametr zvlášť, protože se vzájemně ovlivňují. Jediným řešením je experiment.

V této podkapitole bude popsán postup zkoušení tvářené průtaže pro závit M5 a M6 na materiálu Docoll Roll 800. Stejně bylo postupováno i u ostatních rozměrů a materiálů. Jako výchozí bod zkoušení byly stanoveny hodnoty používané pro podobné aplikace. Po pracovním zdvihu byla měřena výška průtaže a síla dna. Podle těchto hodnot se měnily parametry tak, abychom se dostali na předem stanovené rozměry průtaže. Průtaže byly hodnoceny i vizuálně. U některých docházelo k výraznému ztenčení stěny u dna. Mezi každým zdvihem byl měněn vždy pouze jeden parametr. Průběh zkoušení je patrný ze zkušebních vzorků na obr. 61.



Obr. 61 Zkušební vzorky pro určení parametrů procesu

Změny parametrů a jejich vliv na průtaže je v tab. 14.

Tab. 14 Zkouška průtaží M5 (Docoll Roll 800)

Zdvih	Tlak přidržovače [bar]	Tlak ejektoru [bar]	Podložka dorazu [mm]	Výška průtaže [bar]	Síla dna [mm]
1	140	60	5,5	-	-
2	140	50	5,5	-	-
3	80	50	5,5	0,16	1,5
4	80	60	6,0	0,1	1,5
5	40	120	6,0	0,1	1,3
6	40	80	6,0	0,1	1,35
7	40	60	6,0	0,1	1,4
8	40	60	5,5	0,12	1,48
9	20	60	5,5	0,2	2

Na začátku zkoušení byl příliš velký tlak přidržovače, nebyl dostatek materiálu a průtaže praskaly. Při třetím zdvihu byly rozměry průtaže už velmi dobré, přesto jsme dále snižovali tlak přidržovače a zvyšovali tlak ejektoru. Nakonec se jako nejlepší parametry ukázaly při zdvihu 8 a 9. Pro obě tato nastavení se udělal pás vzorků pro další testování.

Stejným způsobem byly určeny optimální parametry pro všechny průměry průtaží jednotlivých závitů pro materiály Docoll Roll 800 a Docoll Roll 1000. Tyto parametry jsou znázorněny v tab. 15 a v tab. 16.

Tab. 15 Parametry průtaží (DocollRoll 800)

Závit	Tlak přidržovače [bar]	Tlak ejektoru [bar]	Podložka dorazu [mm]
M5	20	80	5,5
	40	60	5,5
M6	20	60	5,5
	40	120	6,0
M8	20	80	6,5
	40	80	6,5
M10	40	110	6,5

Tab. 16 Parametry průtaží (DocollRoll 1000)

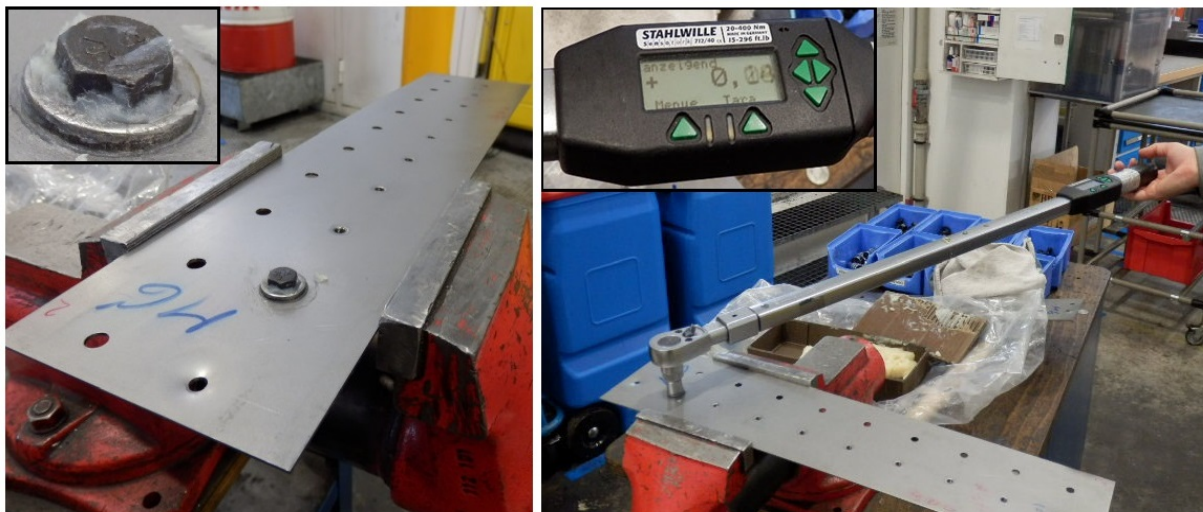
Závit	Tlak přidržovače [bar]	Tlak ejektoru [bar]	Podložka dorazu [mm]
M5	20	100	6,0
	20	80	5,5
M6	20	80	5,5
	20	100	6,0
M8	20	80	6,5
	30	100	6,5
M10	40	110	6,5

6.2 Zkoušky mechanických vlastností průtaží

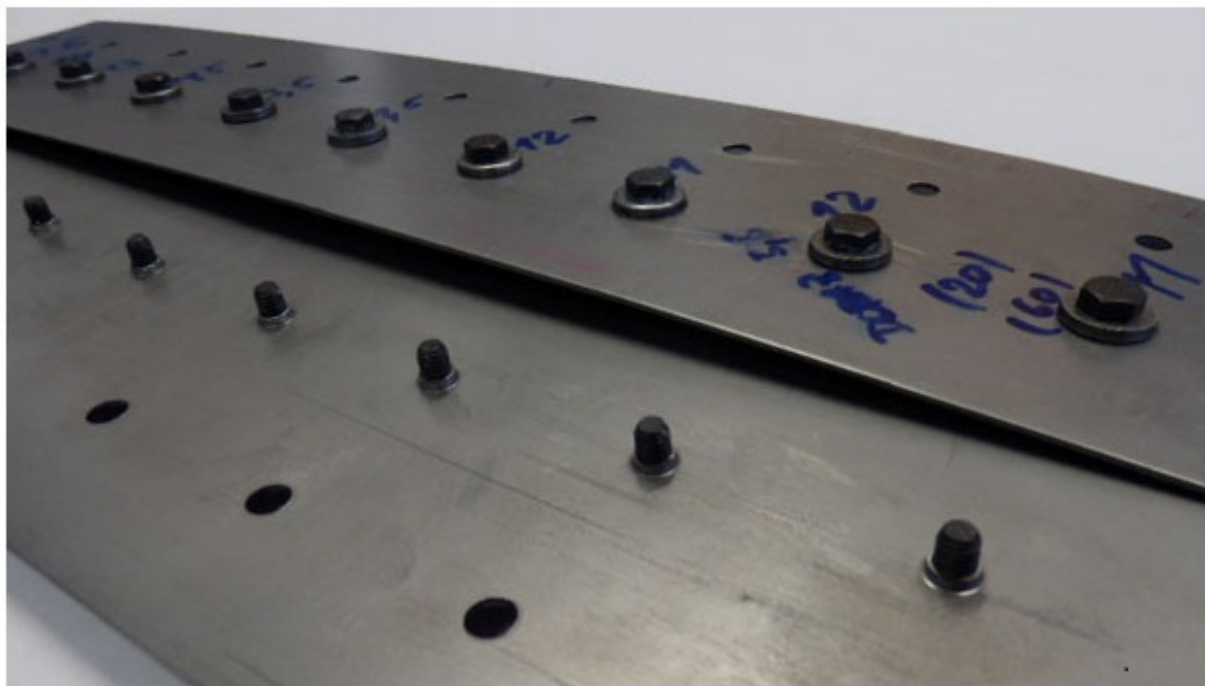
6.2.1 Maximální krouticí moment

Maximální krouticí moment se určoval podle zkoušky popisované v kapitole 4.2. Pás s tvářenými průtržemi byl upnut do svěráku. Šrouby a podložky byly pokryty mazivem a zašroubovány do závitu. Poté byly utahovány až do přetížení závitu momentovým klíčem Sensotork 712/40 od firmy Stahlwille.

Nastavení a průběh zkoušky ukazuje obr. 62. Zkušební vzorky po provedení zkoušek jsou na obr. 63.



Obr. 62 Zkouška maximálního krouticího momentu



Obr. 63 Zkušební vzorky pro krouticí moment

Dosažené hodnoty M_k materiálu Docol Roll 800 jsou vypsány v tab. 17 a materiálu Docol Roll v tab. 18.

Tab. 17 Dosažené hodnoty maximálního krouticího momentu Docol roll 800

Parametry			$M_k [Nm]$				$\bar{X}M_k$	$M_{k,min}$
M5	20/80/5,5	7,5	6,5	6	7,2	8	7,1	8,0
M6 A	20/60/5,5	14,0	13,0	11,5	12,0	11,0	12,3	16,0
M6 B	40/120/6,0	12,0	12,0	10,5	15,0	11,5	12,2	16,0
M8	20/80/6,5	33,0	30,0	27,0	26,0	27,0	28,6	33,0
M10	40/110/6,5	46,0	39,0	46,0	46,0	45,0	44,4	50,0

Tab. 18 Dosažené hodnoty maximálního krouticího momentu Docol roll 1000

Parametry			$M_k [Nm]$				$\bar{X}M_k$	$M_{k,min}$
M5	20/80/5,5	7	6,5	6,8	7,2	7,5	7,0	8,0
M6 A	20/100/6,0	13,0	12,3	11,8	12,0	12,3	12,32	16,0
M6 B	20/80/5,5	11,5	12,0	12,0	11,5	12,0	12,0	16,0
M8	30/100/6,5	29,0	29,8	29,0	32,0	30,0	29,96	33,0
M10	40/110/6,5	48,0	49,6	55,0	49,0	53,0	49,6	50,0

6.2.2 Peel – off test

[5], [23]

Touto zkouškou se zjišťuje maximální tahová nebo tlaková síla, kterou je závit schopen přenést. Touto zkouškou se testují pouze závity M8 a M10. Závity M5 a M6 se jako bezpečnostní spoje v konstrukcích autosedaček nepoužívají, protože nejsou schopny přenést sílu, která je z hlediska bezpečnosti požadována.

Pell – off test skrývá dvě zkoušky popisované v kapitole 4.3. Zkouškou A určujeme provozuschopnost závitu po krátkodobém zatížení zvýšenou silou. Pomocí zkoušky B zjišťujeme maximální sílu při přetížení závitu.

Tyto zkoušky byly provedeny na zkušebním stroji LabTest 5.10 SP1 od firmy LaborTech s.r.o. Jedná se o vertikální stroj se dvěma pracovními prostory, které lze vidět na obr. 64. Stroj je určen pro měření statických mechanických zkoušek v tahu, tlaku, ohybu, krutu a cylindrické namáhání. Zkoušky jsou vyhodnoceny pomocí software Test & Motion. Program zajišťuje přenos dat, řízení stroje, grafický záznam zkoušek a statistický výpočet.

Nastavení zkoušky je ukázáno na obr. 65.

Na stejném zařízení byly zhotoveny i přílohy 1-4, tzn. tahové zkoušky vytipovaných materiálů.



Obr. 64 Zkušební stroj LaborTech 5.10 SP1

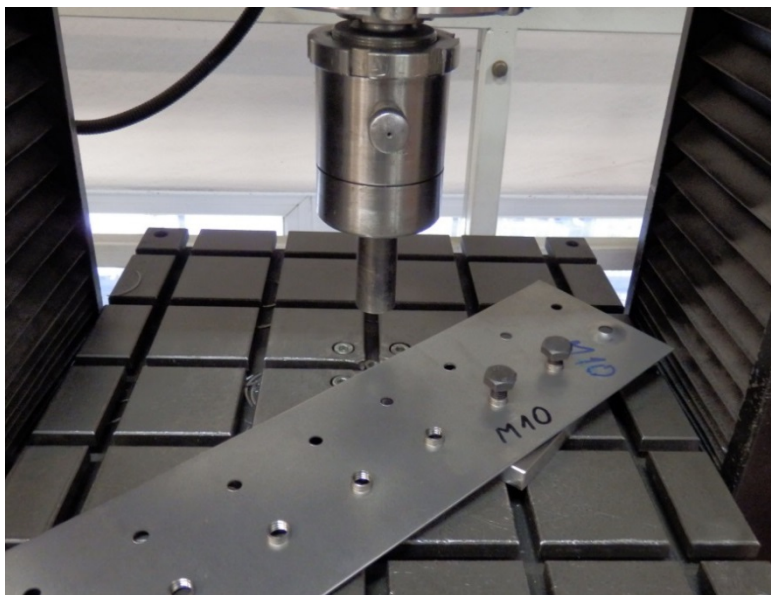
Na obr. 66 jsou znázorněny průběhy síly při zkoušení materiálu Docol Roll 800. Jedná se o průměrné hodnoty. Průběhy měření jsou k nahlédnutí jako přílohy 5 a 6.

Během této zkoušky se síla zvyšovala na hodnotu, kterou se na závit působilo 15 sekund. Hodnoty sil jednotlivých závitů jsou v tab. 19.

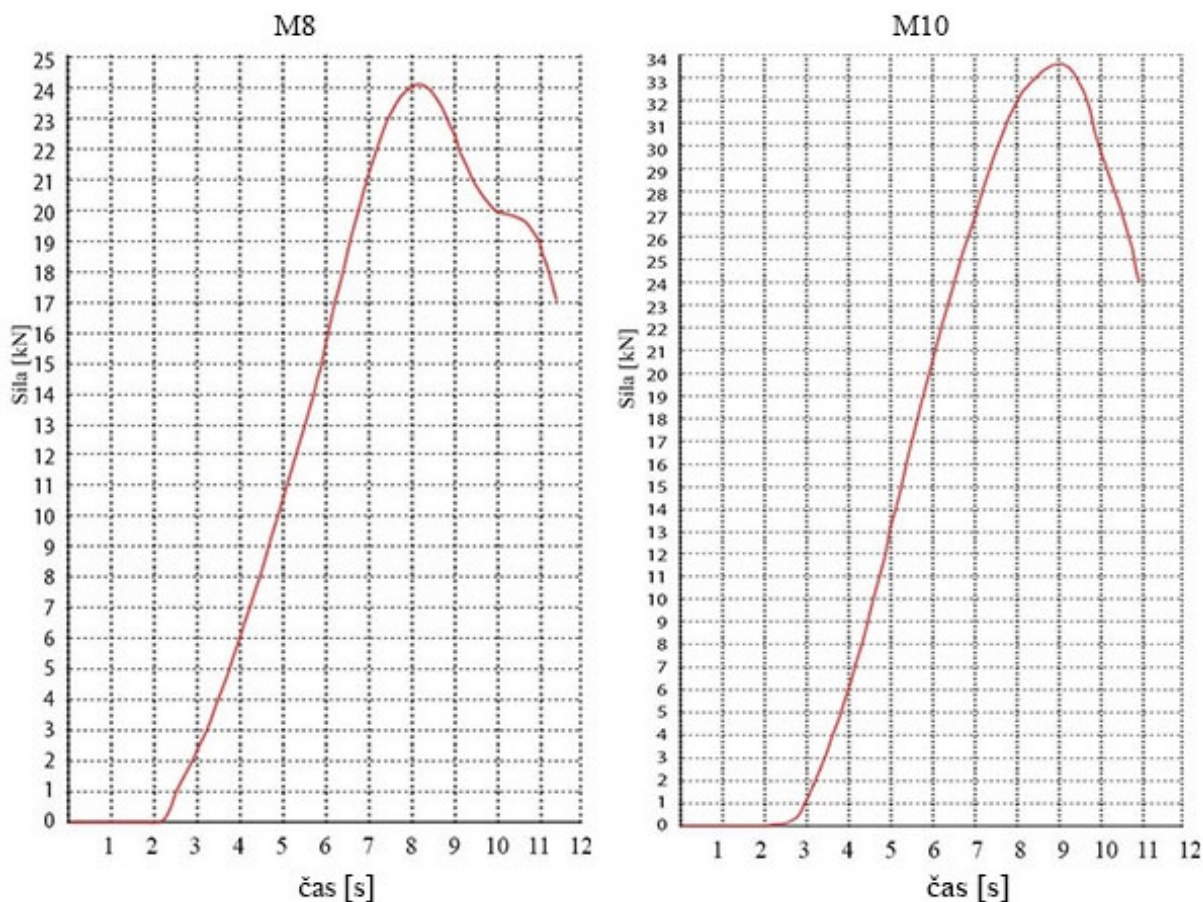
Tab. 19 Zkušební síla

Závit	Síla [kN]
M8	34
M10	56

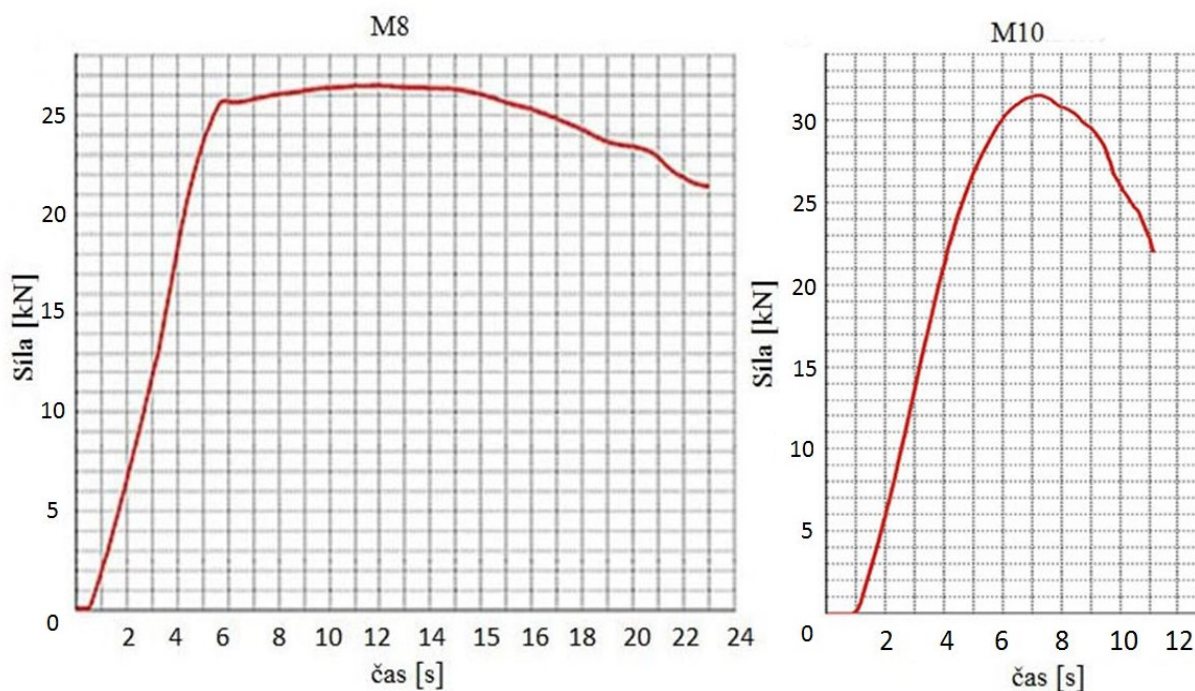
Z obr. 66 je zřejmé, že došlo k přetížení závitových spojů před dosažením zkušební síly. Tyto závity nevyhověly.



Obr. 65 Nastavení zkoušky



Obr. 66 Průběh síly při peel - off zkoušce - Docol Roll 800



Obr. 67 Průběh síly při peel - off zkoušce - Docol Roll 1000

Na obr. 67 jsou znázorněny průběhy síly při zkoušení materiálu Docol Roll 1000. Stejně jako u materiálu Docol Roll 800 jsou maximální hodnoty síly nižší než zkušební síla. Ani u toho materiálu průtaže nevyhověly. V případě M8 se průběh grafu liší od všech ostatních zkušebních vzorků. Místo výrazného maxima s rychlým klesáním po porušení závitového spoje u těchto vzorků vypadá průběh jako tahová zkouška s výraznou mezí kluzu. Je to způsobeno nedostatečnou tloušťkou stěny průtaže po vytvoření závitů. Místo porušení spoje dochází ke zhroucení celé průtaže, to je potvrzeno snížením výšky průtaže po zkoušce. Grafy průběhů jsou uvedeny v přílohách 7 a 8.

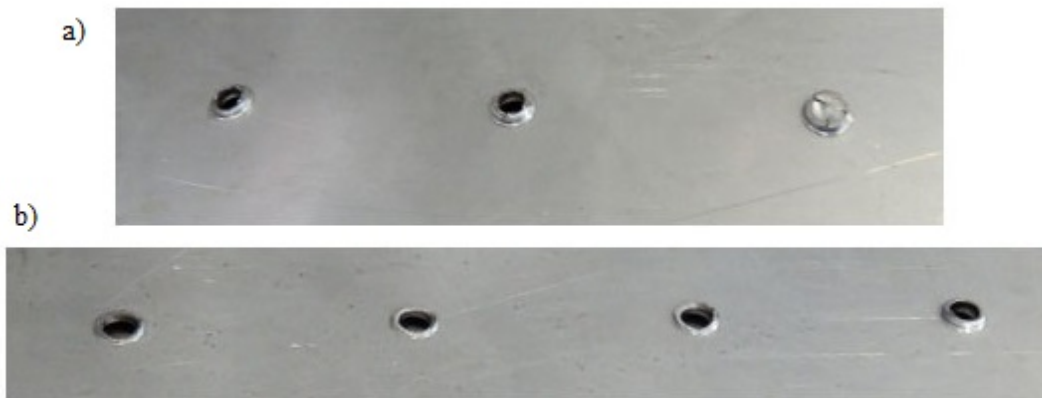
Průměrné hodnoty maximálních sil přenesených jednotlivými závitovými spoji jsou uvedeny v tab. 20. Z výsledných hodnot je patrné, že síly převyšující únosnost spoje leží pod hodnotou zatěžující síly zkoušky. Touto zkouškou tedy byla změřena maximální síla závitového spoje, která požadavkům nevyhověla u žádné z průtaží. Zkouška B tedy nebude prováděna.

Tab. 20 Dosažené průměrné hodnoty tlakové síly

Docol Roll 800	Síla [kN]	Docol Roll 1000	Síla [kN]
M8	24,13	M8	26,20
M10	31,61	M10	31,34

6.3 CP 1000 a DP980Y700

Kromě průtaží z materiálů Docol Roll byly průtaže tvářeny i z materiálů CP 1000 a DP980 s galvanicky pozinkovanou vrstvou. U takto tepelně zpracovaných materiálů však vznikají prasklinky nebo dochází k utržení dna (obr. 68). Tyto a podobné výsledky se vyskytují nezávisle na změnách parametrů. Předpokládaným důvodem těchto vad je pozinkovaná vrstva, která brzdí přesun materiálu ze dna do stěn průtaže a dochází k porušení.



a) CP 1000 b) DP980Y700

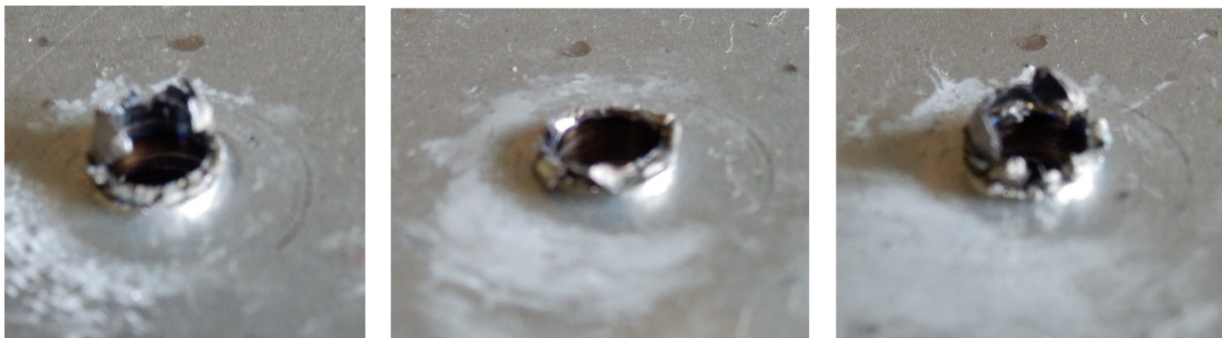
Obr. 68 Tvářené průtaže

Touto metodou jsme nebyli schopni průtaže vyrobit. Proto jsem požádal doc. RNDr. Libora Mrňu, Ph.D, a domluvili jsme se na výrobě průtaží metodou FlowDrill. Pro pozinkované plechy se používají speciální nástroje, které mají za úkol rozrušit pozinkovanou vrstvu. Tyto docent Mrňa nevlastní, proto jsme použili standartní nástroj.

Pro každý materiál jsme provedli tři zkušební průtaže o průměru odpovídajícímu závitě M6. Výsledky jsou patrné na obr. 69 a obr. 70, průtaž jsme nebyli schopni vytvořit. Materiál se trhal.



Obr. 69 Průtaže FlowDrill - CP 1000



Obr. 70 Průtaže FlowDrill - DP980Y700

7 TECHNICKÉ HODNOCENÍ

Z výsledků prezentovaných v předchozí kapitole je zřejmé, že požadovaných hodnot krouticího momentu a vytahovací síly námi vytvořené průtaže nedosahují. Problémem může být přílišné ztenčení stěny průtaže, ke kterému došlo na úkor zvýšení výšky. Takto slabá vrstva materiálu poté nebyla schopna odvádět teplo, které vznikalo při tváření závitů a docházelo k degradaci materiálu. Příklad takových průtaží je na obr. 71, na levé průtaži lze pozorovat zbarvení vlivem vysoké teploty při tváření závitů.



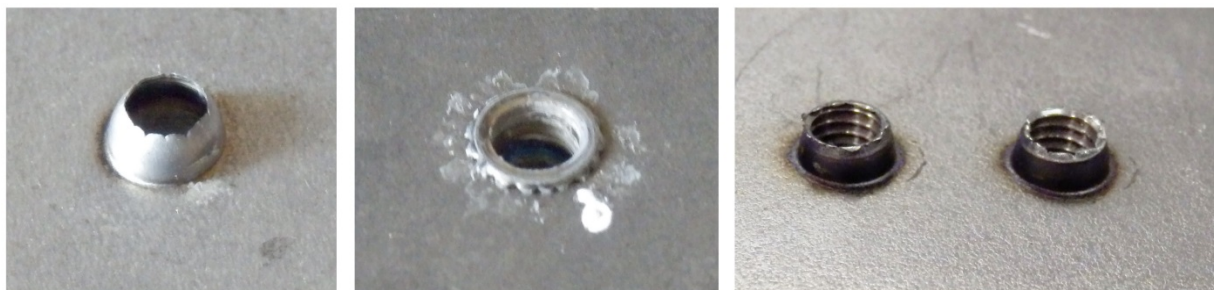
Obr. 71 Ukázka průtaží

Řešením tohoto problému se bude firma zabývat při dalším zkoušení. Půjde o zvýšení podložek dorazů tak, aby vznikly nižší a silnější průtaže. Další úpravy by se mohly týkat i geometrie tažníků. Pokud ani tyto průtaže nebudou schopny přenést požadované síly a krouticí momenty, budou muset být vyráběny jinou metodou.

Kromě navařování matic, lze výrobu těchto bezpečnostních spojů zajistit dalšími metodami. Jednou z nich je navaření silnějšího plechu v místě budoucí průtaže. Tato metoda má však podobné nevýhody, jako samotné navařování matic. Opět musí být postavena svařovací linka, jejíž takt bude vždy nižší než takt transferového nástroje.

Dalším řešením je výroba pěchované průtaže. Tato metoda je stručně popsána v kapitole 2.2. Její výhodou je, že celý proces probíhá v transferovém nástroji. Takto vyráběná průtaž se vyrábí na několik zdvihů a není tak vhodná pro složité díly, kdy pro tyto operace nezbývá v nástroji místo. Navíc dochází k výraznému zeslabení plechu.

Jednoduchou metodou, která nemá vysoké nároky na přístroje je metoda FlowDrill, popisovaná v kapitole 2.3. Pomocí této metody bylo vyrobeno několik průtaží do materiálu Docol Roll 800 a 1000. Příklady průtaží vyrobených touto metodou je na obr. 72.



Obr. 72 Metoda FlowDrill - Docol Roll 800

Vlevo je vidět spodní část průtaže. Ve spodní části dochází k výraznému snížení tloušťky stěny, což vyplývá z principu této metody. Uprostřed je vidět horní část průtaže. Vlivem pronikání tvářecího nástroje do materiálu, se jeho část zvedá nad úroveň plechu a vytváří tzv. límec. K odstranění límce byl vyvinut nástroj, který jej při dokončení procesu odfrézuje.

Vpravo jsou vidět vytvářené závity. Jedná se o závit M6, při zkoušce na maximální krouticí moment došlo k porušení při 18 Nm ($M_{k,min}$ pro průtaž M6 je 16 Nm). Tyto průtaže nebyly zbaveny límce, čímž byla zvětšena výška. Při jeho odstranění, by přenesený krouticí moment nemusel být tak vysoký.

Metoda FlowDrill společně s úpravou parametrů metody průtaží tvářených z plného materiálu budou v centru zájmu při dalším zkoušení.

8 ZÁVĚRY

Při konstrukci dílů pro automobilový průmysl se výrobci soustředí především na bezpečnost, snížení ceny a snížení hmotnosti. V oblasti plošného tváření se tyto protichůdné požadavky dosahují použitím vysokopevnostních materiálů se snížením tloušťky plechu. Současně se zvyšuje složitost jednotlivých dílů, jedním z takových dílů jsou bočnice autosedačky. Jedná se o výrazně deformované díly, při jejichž tváření je potřeba použít klínů. Vysoké požadavky jsou kladeny např. na spoj s držákem bezpečnostního pásu.

Jedním ze způsobů výroby závitovaných vnitřních lemů – průtaží, je tváření z plného plechu bez předstřížené díry, pro maximalizaci objemu materiálu průtaže. Tato metoda patří mezi komplexní procesy, během nichž na materiál působí několik vlivů. Současné působení těchto vlivů znemožňuje její teoretické nebo simulační vyhodnocení. Pro experimentální určení těchto parametrů byl zkonstruován jednoduchý přípravek. Proces optimalizace a parametry jednotlivých průtaží jsou popsány v kap. 4.1.

Takto vyrobené průtaže byly zkoušeny na maximální krouticí moment. Podrobné výsledky dosahovaných momentů jsou popsány v kap. 4.1.1. U závitů M8 a M10 hodnoty nedosahovaly minimálních krouticích momentů $M_{k,min8} = 33 \text{ Nm}$ a $M_{k,min10} = 50 \text{ Nm}$. U závitů M5 a M6 se hodnoty pohybovaly kolem hranice minimálního krouticího momentu, $M_{k,min5} = 8 \text{ Nm}$ a $M_{k,min6} = 16 \text{ Nm}$. Žádná z průtaží však nezajistila překročení požadované hodnoty M_k .

Závity M8 a M10 jsou určeny pro bezpečnostní spoje a proto byly zkoušeny na maximální přenesenou sílu. Výsledky této zkoušky jsou popsány v kap. 4.1.2. Žádný ze šroubových spojů nedosahoval požadovaných hodnot tlakové síly a to z důvodu nízké tloušťky stěny průtaže. Snahou o maximalizování výšky průtaže se snížila tloušťka stěn, které pak nebyly schopny přenést požadované síly. U průtaže se závitěm M8 na materiálu Docol Roll 1000 docházelo k přehřátí a degradaci materiálu při tváření závitů.

Řešením těchto problémů je změna parametrů procesu. Navrhuji změnit výšku dorazů tak, aby vznikaly nižší průtaže se silnějšími stěnami. Měly by tak vzniknout průtaže schopné požadované síly přenést. V případě, že nadále nebude možné vyrobit průtaže požadované kvality tímto způsobem, možné řešení by mohla skýtat metoda FlowDrill. Touto metodou bylo provedeno několik průtaží M6 a při jejich kontrole na max. krouticí moment dosahovaly hodnot 18Nm.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1]

1. Generátor citací. Citace [online]. 2014 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <<http://generator.citace.com/dok/bokjeHiMZsJusFew>>
2. AHSS Guidelines 4.0. In: *World auto steel* [online]. Červen 2009 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/>
3. Arcelor Mittal [online]. 2006 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <<http://corporate.arcelormittal.com/>>
4. Autosteel [online]. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <<http://www.autosteel.org/en/Research/~media/Images/AUTOSTEEL/Research/Growth%20of%20AHSS/AHSS%20-%20Ford%20Fusion.jpg>>
5. BLAŽEK, Miroslav. Určení technologie lisování plechového dílu: Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. s. 85, Ing. Jan Zouhar, PhD.
6. Brose [online]. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <<http://www.brose.com/ww/de/pub/home.htm>>
7. ČSN ISO 16630. *Kovové materiály - Plechy a pásy - Zkouška rozšiřováním otvoru*. ICS: 77.040.10. 1. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2009.
8. Dayton. In: *Tuffpunch: Durable, Long-lasting Punches & Punch Blanks* [online]. 2013 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.daytonlamina.com/sites/default/files/doc/8057M_TuffPunch.pdf>
9. Docol: High strength steel. SSAB [online]. 2002 [cit. 2014-03-21]. Dostupné z: <<http://www.ssab.com/Brands/Docol1/Products/Docol-Roll-1000/>>
10. *European steel and alloys grades* [online]. 2011, 2014 [cit. 2014-02-12]. Dostupné z: <http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=595>
11. Flowdrill [online]. 2008 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <<http://flowdrill.com/>>
12. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
13. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍ a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. 1. vyd. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
14. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2007, 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
15. ISO 10113. *Kovové materiály – stanovení součinitele plastické anizotropie plechů a pásů*. ICS: 77.040.10. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, září 1994.
16. ISO 10275. *Mettallicmaterials - sheet and strip: Determination of tensile strain hardening exponent*. ICS: 77.040.10. 2. vyd. International Organization for Standardization, 2007.
17. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2.

-
18. MARCINIAK, Zdislaw, J. L. DUNCAN a S. J. HU. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002, 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
 19. *Metal Forming Handbook*. Schuler. 1st edition. Berlin : Springer-Verlag, 1998. 563s. ISBN 3-540-61185-1
 20. MRŇA, Libor a Miloš KŘIVAN. Technologie výroby deskového solárního absorberu laserovým svařováním a nízkotlakým hydroformingem. Kovářenství. Brno: Svaz kováren ČR, září 2012, č. 44, s. 4. ISSN 1213-9289.
 21. *Normalien: FIBRO* [online]. 2014, 4. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <<http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Blaetterkataloge/Hauptkatalog2014/>>
 22. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992, 186 s. ISBN 80-214-04016.
 23. *Podklady firmy PWO*. Valašské Meziříčí, 2013.
 24. PRECIZ. Převodník materiálů [online]. 2012 cit. 2014-05-01. Dostupné z: <<http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal>>
 25. Products. SSAB [online]. 2001 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <<http://www.ssab.com/en/Brands/Docol1/Products/>>
 26. Prüfvorschrift - Überdrehmoment / Abstreiffestigkeit bei Durchzügen und durch Furchen hergestellten Muttergewinden. Coburg, 2010.
 27. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální Technologie Tváření: Část II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2011, 155 s. ISBN 978-80-214-4406-5.
 28. *Technologie závitování* [online]. 16. Března 2006 [cit. 2014-03-11]. Emuge Franken. Dostupné z WWW: <<http://www.emugefranken.cz/3-katalogy.html>>
 29. *Thread Forming vs Cutting* [online]. 2011 cit. 2014-03-16. Dostupné z: <<http://www.balax.com/catalog/threadfloer-taps/thread-forming-vs-cutting>>
 30. *Tlakinfo* [online]. 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné : <<http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1818&z=2>>
 31. ústní sdělení Jan Pavelka, (Vstupní kontrola/materiálová laboratoř, Palackého 1261,75711 Valašské Meziříčí), dne 18. Dubna 2014
 32. Výroba vnitřních závitů tvářením. *MM průmyslové spektrum* online. 11. Dubna 2001, MM 2001/4, cit. 2014-03-11. Dostupný z www: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
a, a ₀	Šířka zkušebního vzorku	[mm]
b, b ₀	Délka zkušebního vzorku	[mm]
c, c ₀	Tloušťka zkušebního vzorku	[mm]
C	Materiálová konstanta	[-]
d	Vnitřní průměr průtaže	[mm]
d _d	Vnitřní průměr raznice	[mm]
d ₀	Průměr vnější průměr průtaže	[mm]
d _p	Průměr razníku	[mm]
D	Vnější průměr průtaže	[mm]
D ₀	Počáteční průměr polotovaru	[mm]
D _L	Vnitřní průměr matrice	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
F	Síla beranu	[N]
F _m	Maximální síla	[N]
F _p	Síla spodního přidržovače	[N]
H	Výška lemu	[mm]
K	Zúžení	[%]
k _L	Koeficient lemování	[-]
L _o	Výchozí délka	[mm]
L _u	Konečná délka	[mm]
M _k	Krouticí moment	[Nm]
M _{k,min}	Minimální krouticí moment	[Nm]
n	Exponent zpevnění	[-]
P	Stoupání	[mm]
Q	Síla přidržovače	[N]
r	Vnitřní poloměr průtaže	[mm]
r _L	Poloměr zaoblení tažníku	[mm]
r _m	Poloměr zaoblení matrice	[mm]
$\bar{r}$	Vážený průměr součinitele plastické anizotropie	[mm]
Δr	Rozměr plošné anizotropie Δr	[mm]
r ₀	Poloměr prostřížené díry	[mm]
r ₀ , r ₄₅ , r ₉₀	Součinitel plastické anizotropie (pod úhlem 0°, 45° a 90°)	[-]
R	vnější poloměr průtaže	[mm]
R ₀	počáteční poloměr polotovaru	[mm]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]

R_L	Vnitřní poloměr matrice	[mm]
S_0	Výchozí průřez	[mm ²]
S_u	Konečný průřez	[mm ²]
t	Tloušťka stěny průtaže	[mm]
$t_{\min}$	Minimální tloušťka stěny průtaže	[mm]
t_0	Počáteční tloušťka plechu	[mm]
t_0/D_0	Poměr tloušťky k počátečnímu průměru otvoru	[-]
T	Teplota	[°C]
T_{TAV}	Teplota tavení	[°C]
V_d	Objem průtaže z díry	[mm ³]
V_t	Objem tažené díry	[mm ³]
X, Y, Z	Parametry dna průtaže	[mm]
z	Mezera	[mm]

ε_r	Elastická deformace radiální	[MPa]
ε_t	Elastická deformace tangenciální	[MPa]
ε_θ	Elastická deformace obvodová	[MPa]
λ	Koeficient zaplnění průřezu	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_p	Přetvárný odpor	[MPa]
σ_r	Napětí radiální	[MPa]
$(\sigma_r)_K$	Komplexní radiální napětí	[MPa]
σ_θ	Napětí obvodové	[MPa]
φ	Logaritmická deformace	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků:

Obr. 1 Příklady průtaží na bočnicích sedaček.....	10
Obr. 2 Rám vozidla Ford Fusion	11
Obr. 3 konstrukce autosedačky	11
Obr. 4 navařené matice	11
Obr. 5 Spojení kolejnic a rámu sedačky pomocí průtaží	12
Obr. 6 Příklady lemů	13
Obr. 7 Šroubový spoj	13
Obr. 8 Příklady defektů lemů	13
Obr. 9 Schéma tažení vnitřního lemu pevným nástrojem	14
Obr. 10 Vliv mezery z na tvar lemu	14
Obr. 11 Napěťový a deformační stav	15
Obr. 12 Průběh radiálního napětí	15
Obr. 13 Závislost k_L na t_0/D_0 zohledňující kvalitu otvoru	16
Obr. 14 Spodní přídržovač	17
Obr. 15 Schéma postupu výroby přechované průtaže.....	17
Obr. 16 Schéma metody tažené průtaže.....	18
Obr. 17 Tažníky pro výrobu průtaží jedním zdvihem.....	18
Obr. 18 Proces FlowDrill	18
Obr. 19 Nástroje pro flowDrill	19
Obr. 21 Tváření závitů	19
Obr. 20 Porovnání tvářených a obráběných závitů	19
Obr. 22 Porovnání M_k u výroby závitů	20
Obr. 23 Průřez tvářecím závitníkem	20
Obr. 24 Tvářecí závitník	21
Obr. 25 smluvní křivka zpevnění II druhu.....	23
Obr. 26 Popis parametrů rovnice 2.1	23
Obr. 27 Orientace vzorků.....	24
Obr. 28 Rozsah mechanických vlastností některých skupin AHSS ocelí	25
Obr. 29 Struktura DP980 Y700	26
Obr. 30 Struktura ocelí.....	26
Obr. 31 Diagram mezní tvářitelnosti	27
Obr. 32 Struktura oceli CP 1000	27
Obr. 33 Příklady dílů z komplexních ocelí	28
Obr. 34 Příklady struktury martenzitických ocelí.....	28
Obr. 35 Ohyb oceli Docol Roll 1000	29
Obr. 36 Vystřižení otvoru	30
Obr. 37 Poloha otvorů na zkušebním vzorku	31
Obr. 38 Znázornění zkoušky rozšiřováním otvoru	31
Obr. 39 Příprava zkoušky	32
Obr. 40 Graf závislosti krouticího momentu na otáčení	32
Obr. 42 Graf závislosti síly na dráze	33
Obr. 41 Nastavení zkoušky	33
Obr. 43 Zkušební vzorek - tahová zkouška	33
Obr. 44 Pracovní diagram tahové zkoušky	34
Obr. 45 Mez kluzu	34
Obr. 46 Starý přípravek.....	35
Obr. 47 Ustavení testovacího vzorku.....	35

Obr. 48 Použité díly.....	36
Obr. 49 Postupový plán přípravku.....	36
Obr. 50 Horní polovina přípravku	37
Obr. 51 Dolní polovina přípravku	38
Obr. 52 Geometrie střížníku a tažníku	40
Obr. 53 Rozměry průtaže.....	40
Obr. 54 Geometrie průtaže	41
Obr. 55 Geometrie dna průtaže.....	42
Obr. 56 Zkušební přípravek.....	43
Obr. 57 Horní polovina přípravku	44
Obr. 58 Spodní polovina přípravku	44
Obr. 59 Konstrukce plynových pružin	45
Obr. 60 Charakteristiky plynové pružiny	45
Obr. 61 Zkušební vzorky pro určení parametrů procesu	46
Obr. 63 Zkušební vzorky pro krouticí moment	48
Obr. 62 Zkouška maximálního krouticího momentu.....	48
Obr. 64 Zkušební stroj LaborTech 5.10 SP1	49
Obr. 65 Nastavení zkoušky.....	50
Obr. 66 Průběh síly při peel - off zkoušce - Docol Roll 800	50
Obr. 67 Průběh síly při peel - off zkoušce - Docol Roll 1000	51
Obr. 68 Tvářené průtaže	52
Obr. 69 Průtaže FlowDrill - CP 1000	52
Obr. 70 Průtaže FlowDrill - DP980Y700	52
Obr. 71 Ukázka průtaží.....	53
Obr. 72 Metoda FlowDrill - Docol Roll 800	53

Seznam tabulek:

Tab. 1 Parametry procesu FlowDrill	19
Tab. 2 Mechanické vlastnosti AHSS ocelí firem arcelor-mittal a SSAB	25
Tab. 3 Mechanické vlastnosti DP980 Y700	26
Tab. 4 Chemické složení DP980 Y700	26
Tab. 5 Mechanické vlastnosti komplexních ocelí	28
Tab. 6 Chemické složení oceli CP 1000	28
Tab. 7 Mechanické vlastnosti ocelí Docol Roll	29
Tab. 8 Chemické složení ocelí Docol Roll	29
Tab. 9 Materiály použité na konstrukci přípravku	39
Tab. 10 Výška průtaží jednotlivých závitů.....	40
Tab. 11 Výška průtaží podle objemu.....	41
Tab. 12 Výška tažených průtaží	43
Tab. 13 Rozměry tažníků.....	43
Tab. 14 Zkouška průtaží M5 (Docoll Roll 800)	47
Tab. 15 Parametry průtaží (DocollRoll 800).....	47
Tab. 16 Parametry průtaží (DocollRoll 1000).....	47
Tab. 17 Dosažené hodnoty maximálního krouticího momentu Docol roll 800	49
Tab. 18 Dosažené hodnoty maximálního krouticího momentu Docol roll 1000	49
Tab. 19 Zkušební síla	50
Tab. 20 Dosažené průměrné hodnoty tlakové síly	51

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Tahová zkouška – Docol Roll 800	P1
Příloha 2 Tahová zkouška – Docol Roll 1000	P2
Příloha 3 Tahová zkouška – CP 1000	P3
Příloha 4 Tahová zkouška – DP 980 Y700	P4
Příloha 5 Tahová zkouška M8 - Docol Roll 1000	P5
Příloha 6 Tahová zkouška M10 - Docol Roll 1000	P6
Příloha 7 Tahová zkouška M8 - Docol Roll 800	P7
Příloha 8 Tahová zkouška M10 - Docol Roll 800	P8

SEZNAM VÝKRESŮ

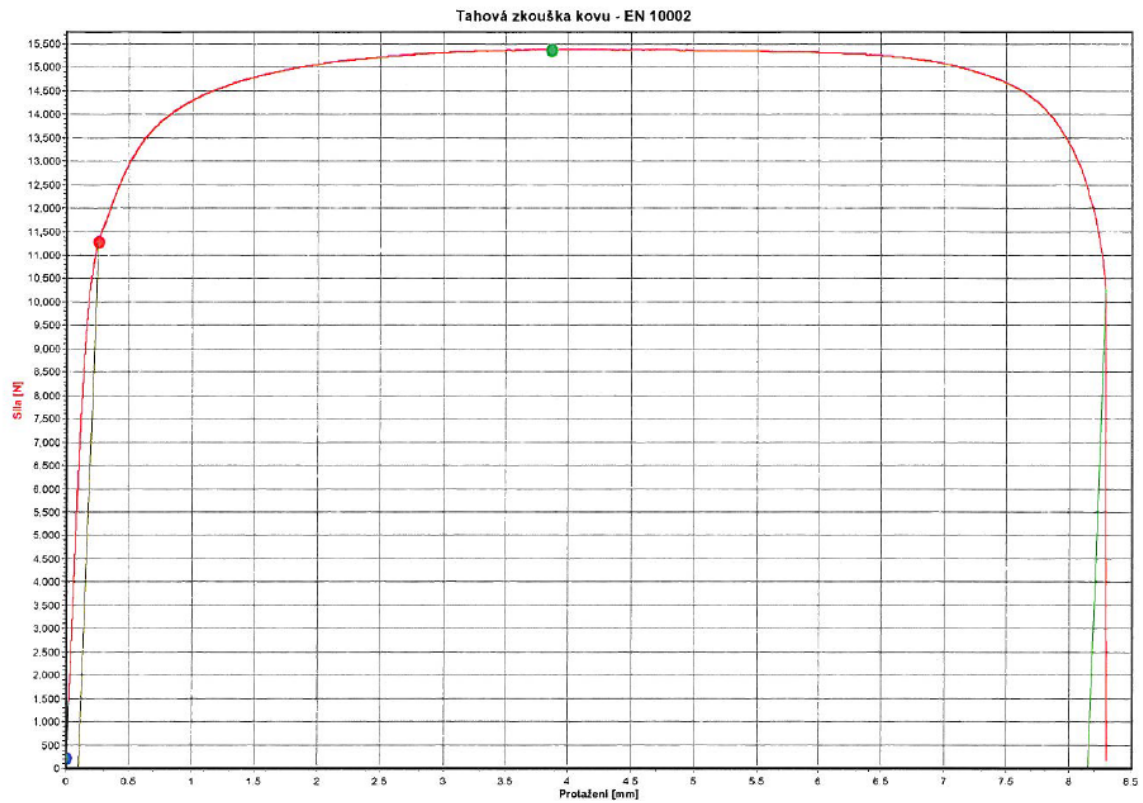
Výkres tažníku	B13105_201018
Výkres tažnice.....	B13105_101011
Kusovník	D03095_B13105_R
Výkres sestavy	D03095_B13105

Zkoušející: POBORIL
 Materiál: 800
 PRICNY VZOREK è. 1

Datum: 19.5. 2014

Zkušební parametry

Typ stroje: LabTest 5.100SP1
 Průtahoměr: 2mm
 Zkušební prostor: Horní zkušební prostor



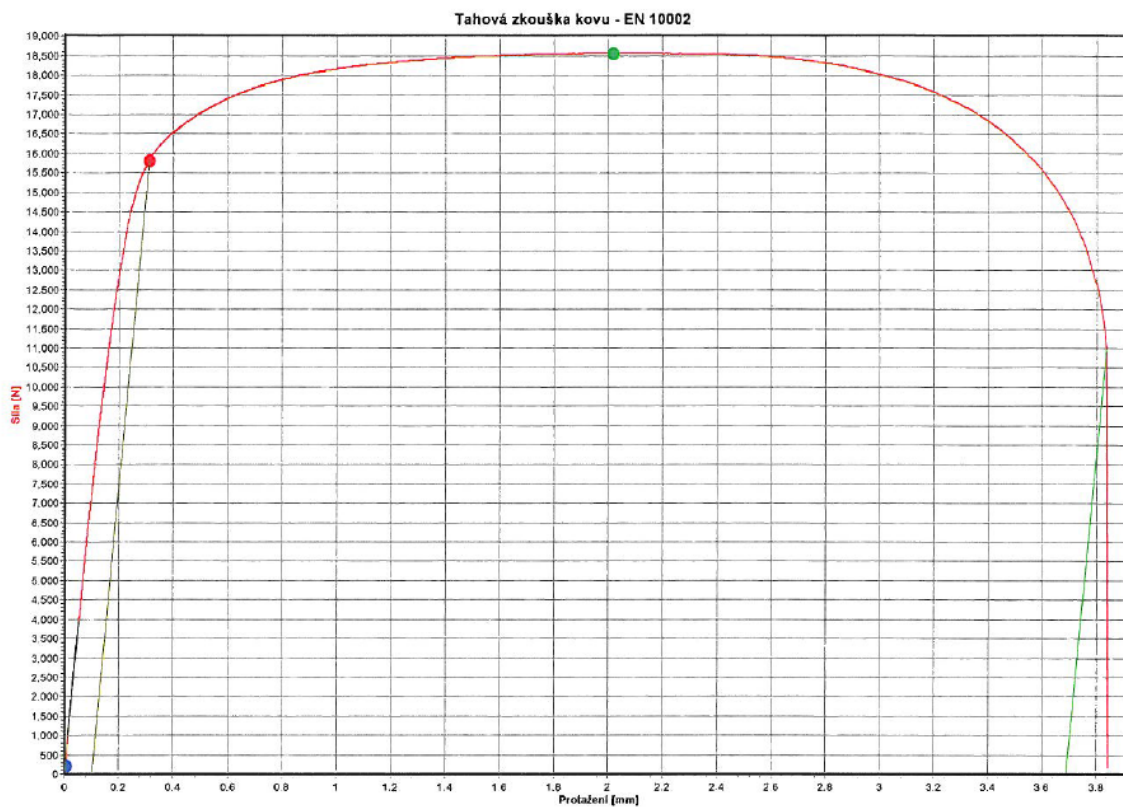
Docol Roll 800				
	E [kN/mm]	R _{px} [Mpa]	R _m [Mpa]	A [%]
1	209	581	801	12,2
2	204	582	805	12,5
3	192	589	804	12,5
$\bar{x}$	201,7	584	803,3	12,4

Zkoušející: POBORIL
Materiál: 1000
PRICNY VZOREK è. 1

Datum: 19.5. 2014

Zkušební parametry

Typ stroje: LabTest 5.100SP1
Průtahoměr: 2mm
Zkušební prostor: Horní zkušební prostor



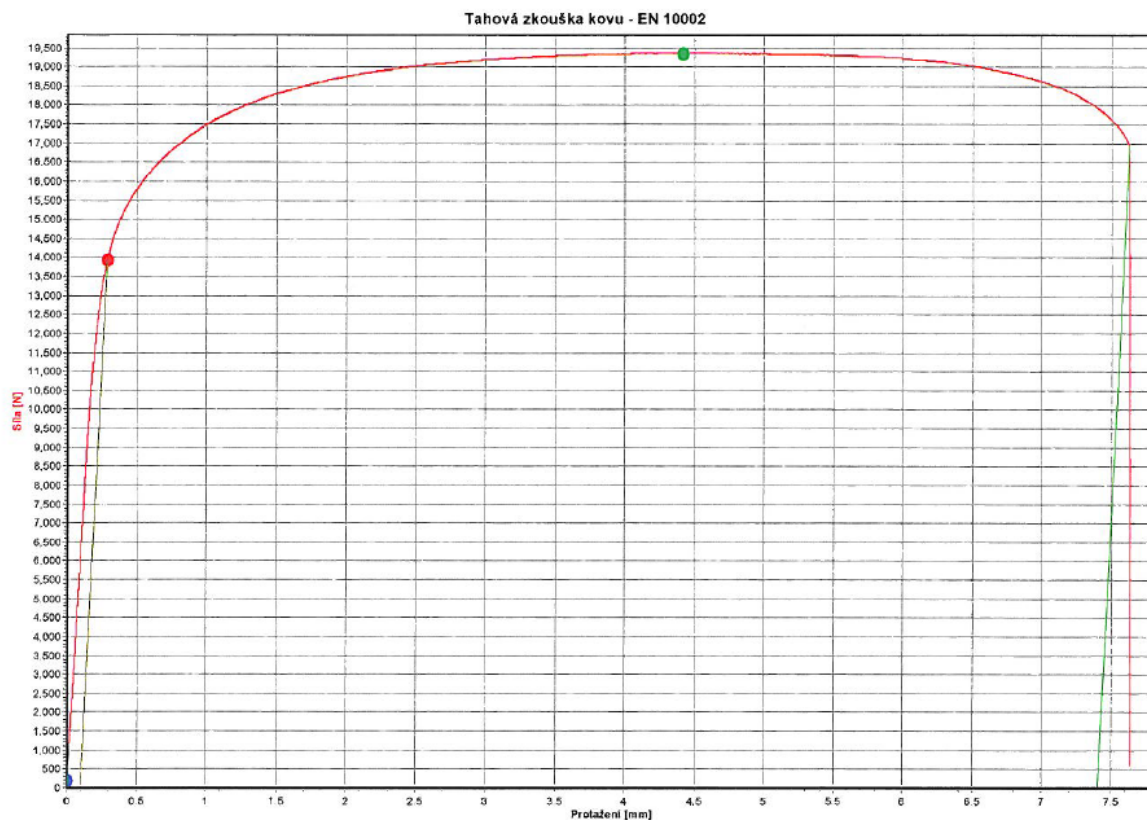
Docoll Roll 1000				
	E [kN/mm]	R _{px} [Mpa]	R _m [Mpa]	A [%]
1	199	869	1003	3,1
2	201	850	995	5,0
3	202	855	1004	5,6
$\bar{x}$	200,7	858	1000,7	4,6

Zkoušející: POBORIL
 Materiál: CP1000
 PRICNY VZOREK è.1

Datum: 19.5. 2014

Zkušební parametry

Typ stroje: LabTest 5.100SP1
 Průtahoměr: 2mm
 Zkušební prostor: Horní zkušební prostor



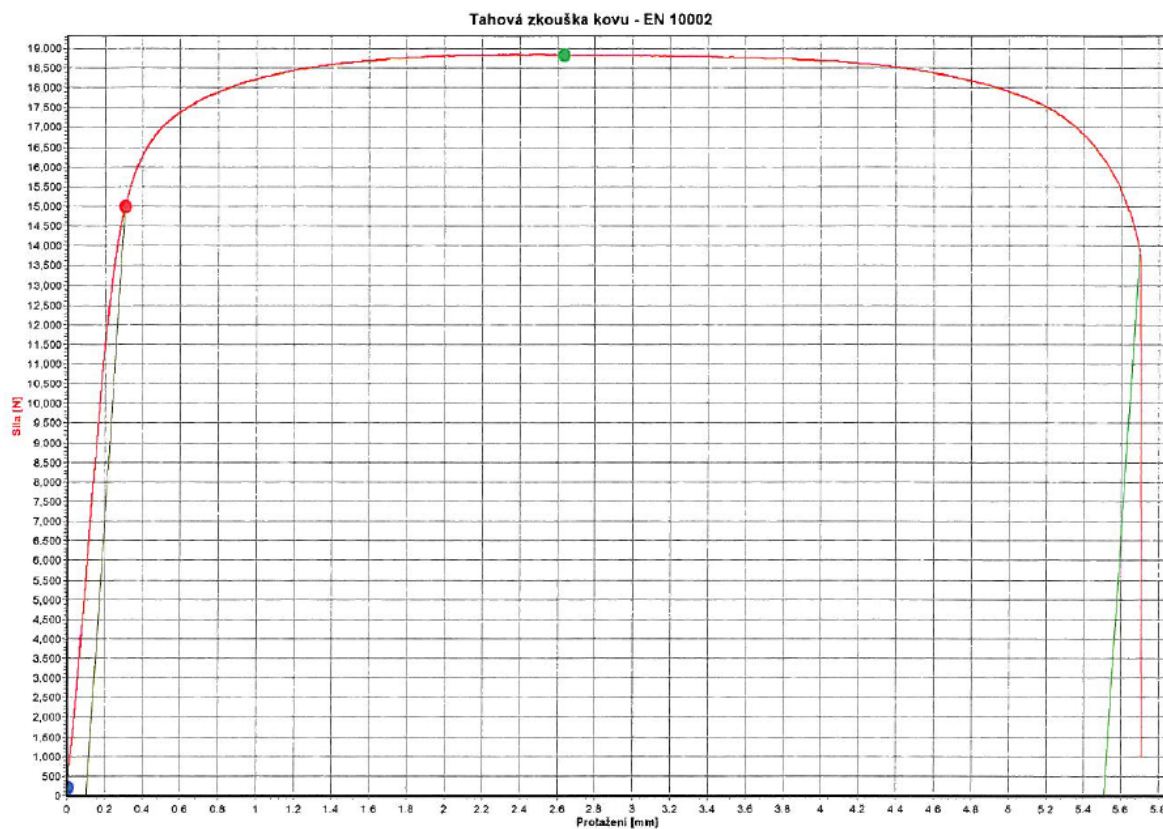
CP 1000				
	E [kN/mm]	R _{px} [Mpa]	R _m [Mpa]	A [%]
1	197	733	1019	13,4
2	195	726	1018	13,8
3	196	708	1021	13,4
$\bar{x}$	196	722,3	1019,3	13,5

Zkoušející: POBORIL
Materiál: DP980
PRICNY VZOREK č.1

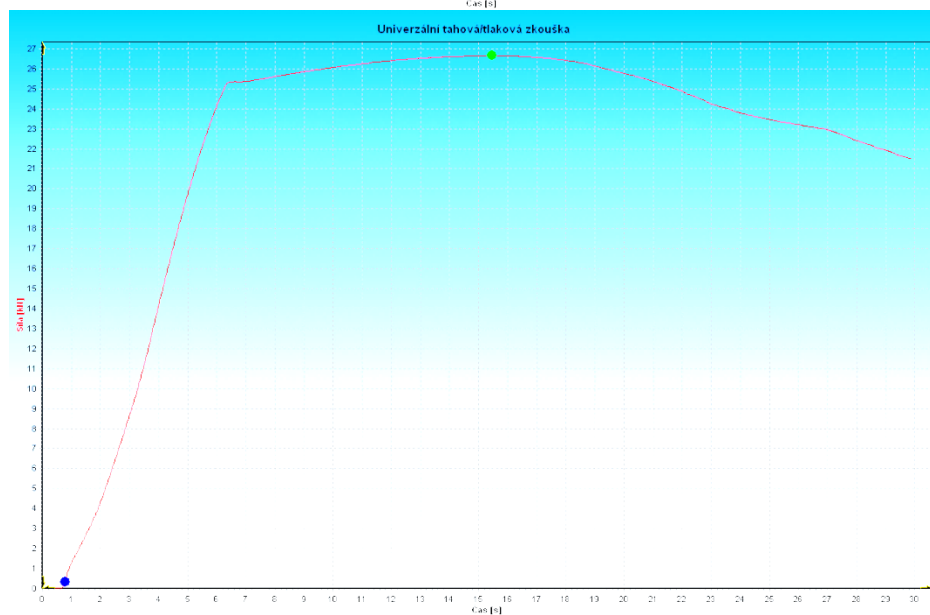
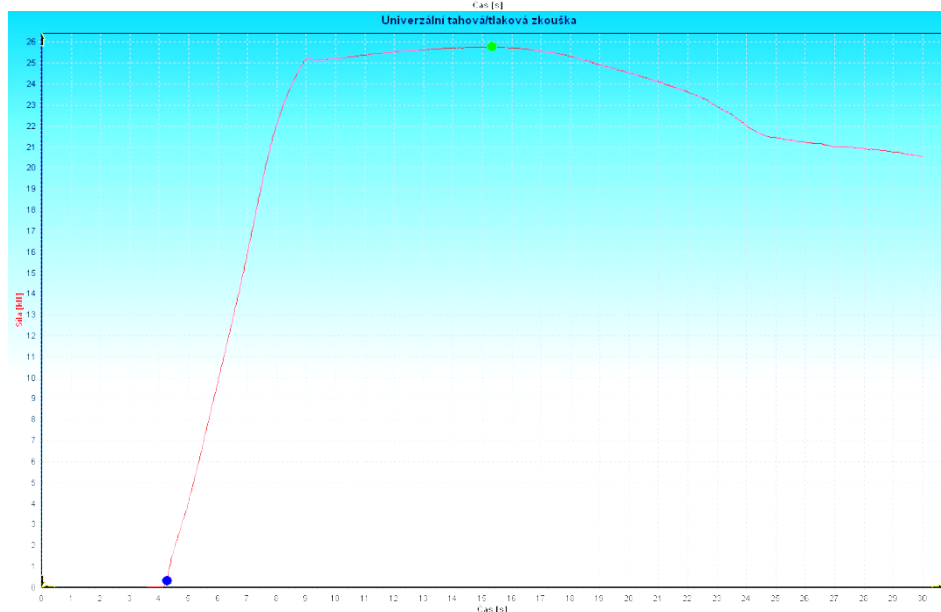
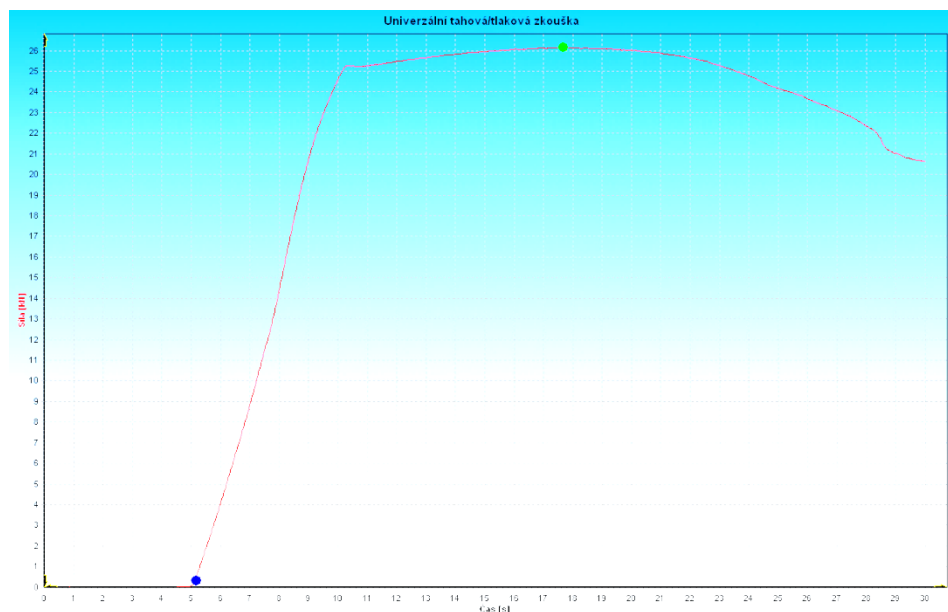
Datum: 19.5. 2014

Zkušební parametry

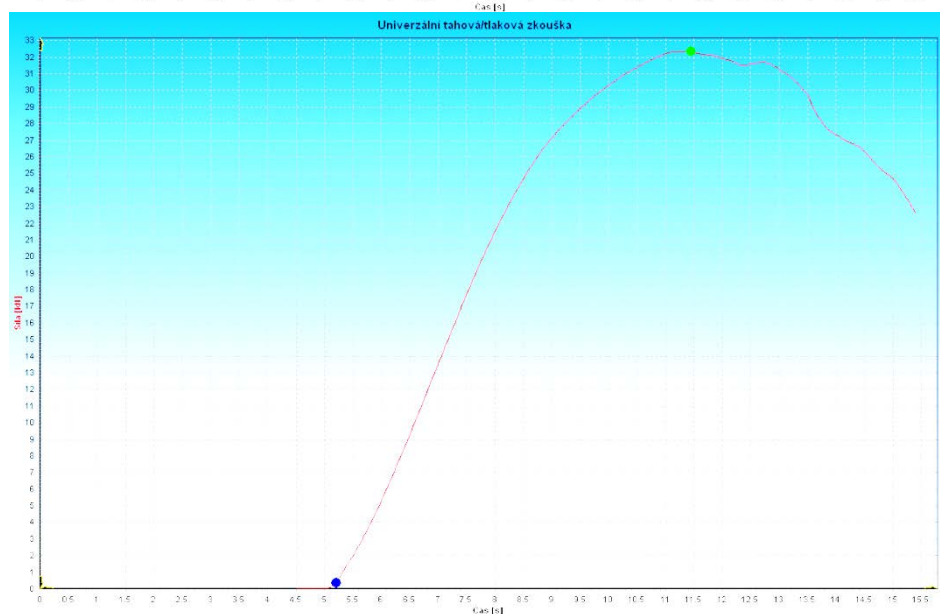
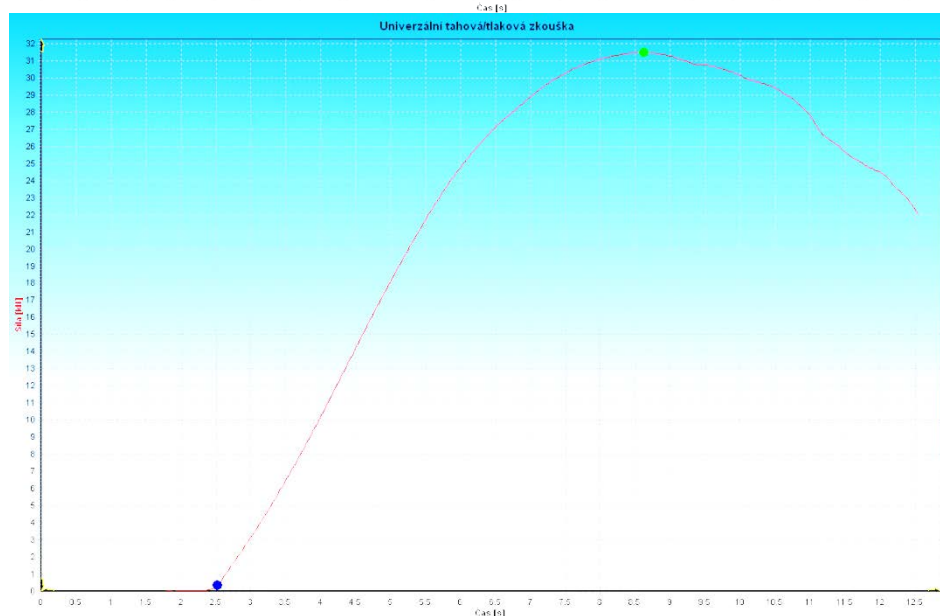
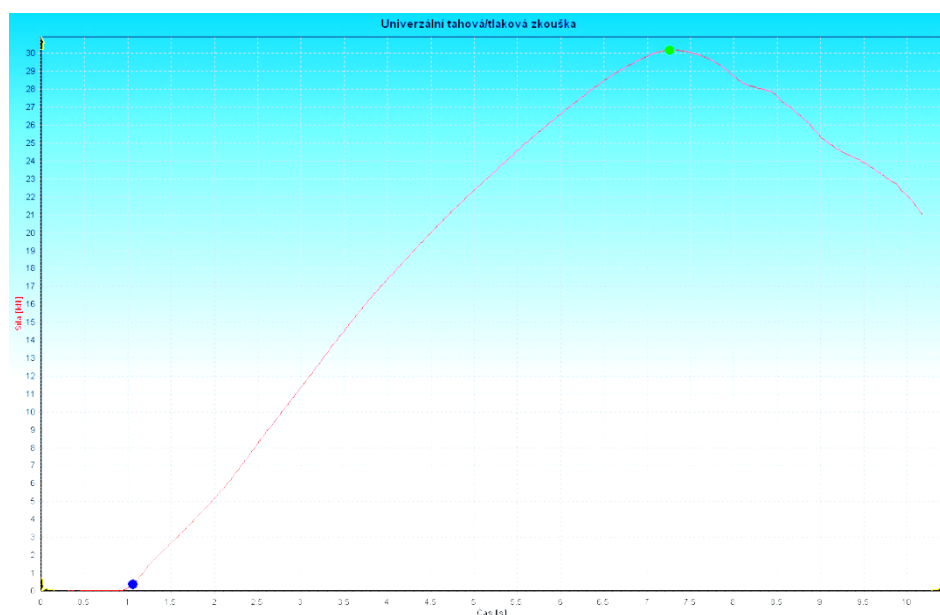
Typ stroje: LabTest 5.100SP1
Průtahoměr: 2mm
Zkušební prostor: Horní zkušební prostor

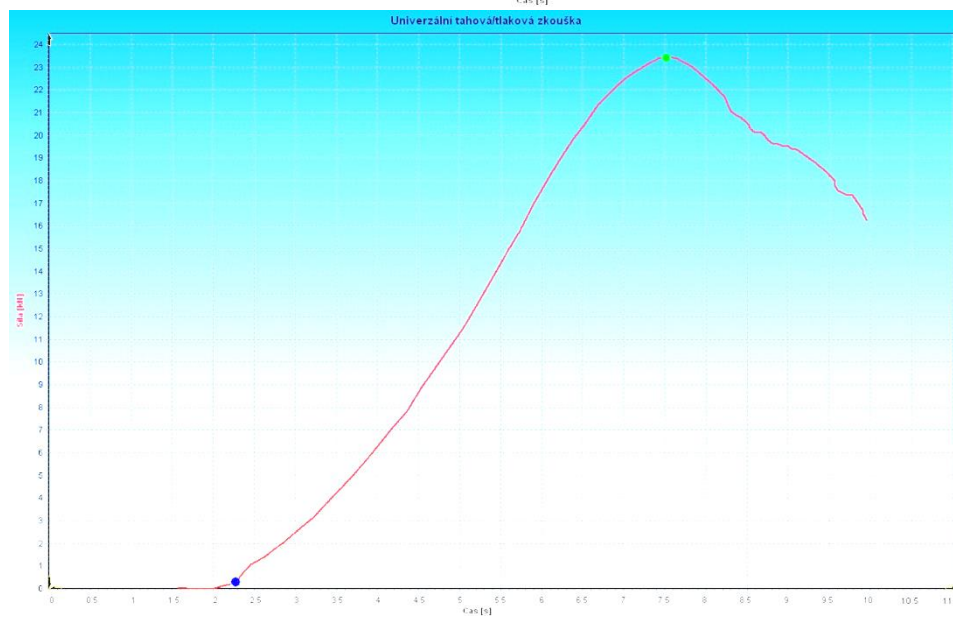
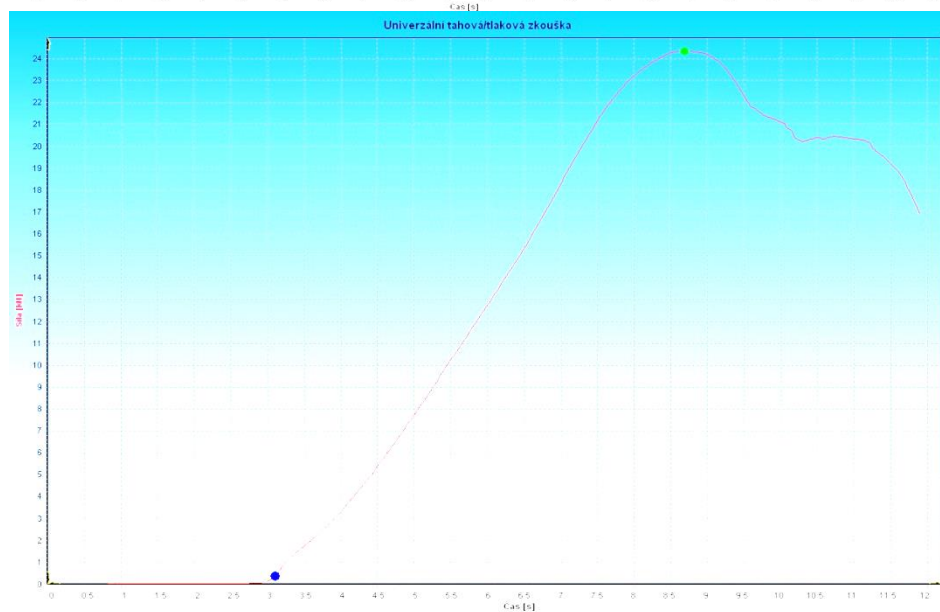
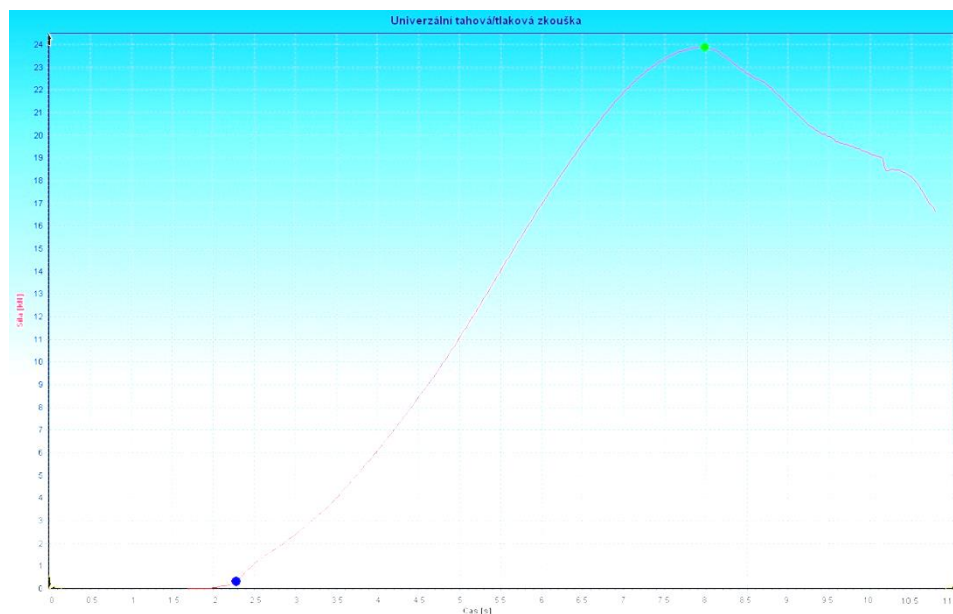


DP 980 Y700				
	E [kN/mm]	R _{px} [Mpa]	R _m [Mpa]	A [%]
1	195	805	1012	8,8
2	208	809	1011	8,8
3	199	810	1010	8,4
$\bar{x}$	200,7	808	1011	8,7



Příloha 6 Tahová zkouška M10 – Docol Roll 1000





Příloha 8 Tahová zkouška M10 – Docol Roll 800

