



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

MANUFACTURE OF DRAWN 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:

Manufacture 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 představitelé 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 přídržení 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
6 ZÁVĚRY	36

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků a tabulek

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.

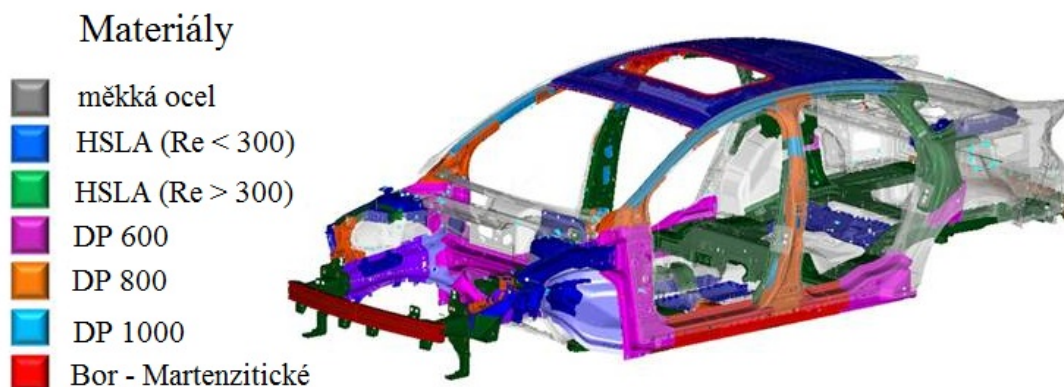


Obr. 1 Příklady průtaží na bočnicích sedaček

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).



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.

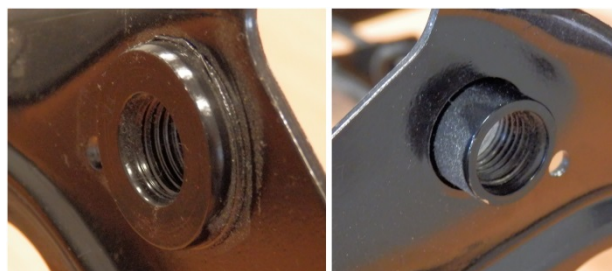
Úkolem pasivních bezpečnostních prvků vozu je tento pohyb nejdříve zpomalit a potom zastavit. Airbagy ve spolupráci s bezpečnostními pásy zaručují, že lidské tělo nezastaví náhle jako vozidlo, ale že bude před zastavením patřičně zpomaleno.

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).

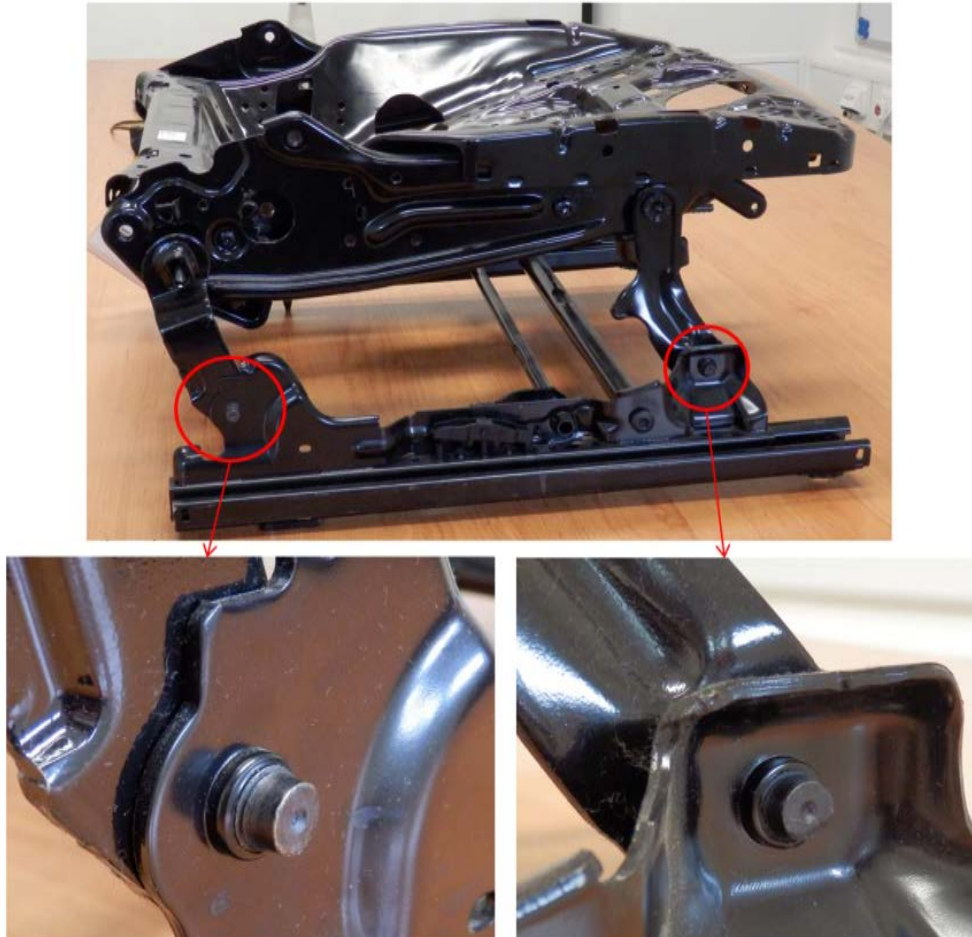


Obr. 3 konstrukce autosedačky [6]



Obr. 4 navařené matice

Další metodou je výroba vnitřního lemu otvoru tzv. průtaže a vyrobení závitů. 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.

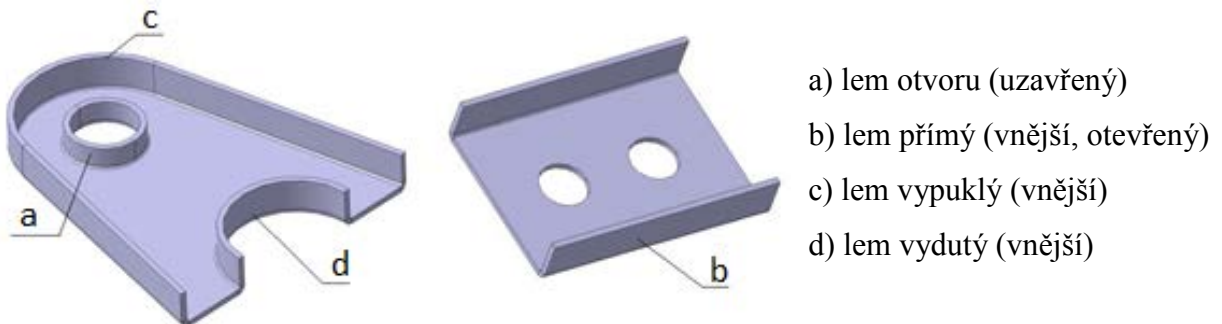
2 VÝROBA VNITŘNÍCH LEMŮ

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

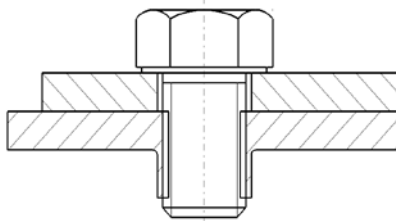
Lemování je technologie, která patří do oblasti plošného tváření. Při vytváření lemu na materiál působí kombinace tlakového a tahového napětí. Před samotným tažením se může do polotovaru prostříhnout menší otvor. Poté použitím tažníku a tažnice vzniká příruba nebo lem. Tyto lemy mohou být:

- 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:



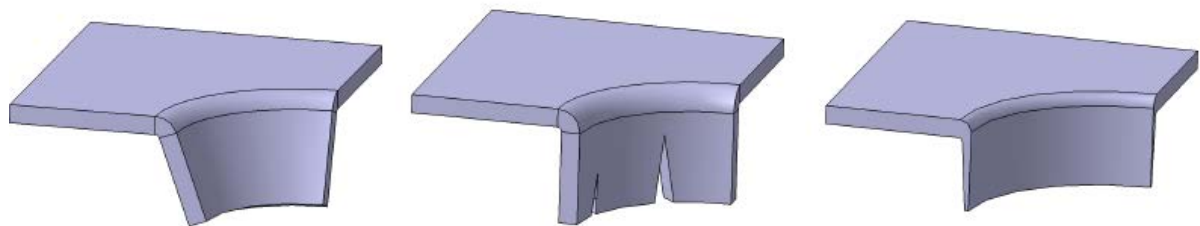
Obr. 6 Příklady lemů [27]



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 závitové 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).

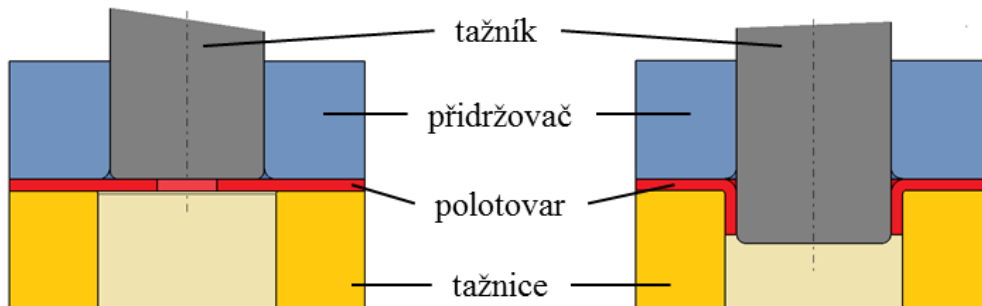


Obr. 8 Příklady defektů lemů

2.1 Lemování otvorů pevným nástrojem

[12], [19], [27]

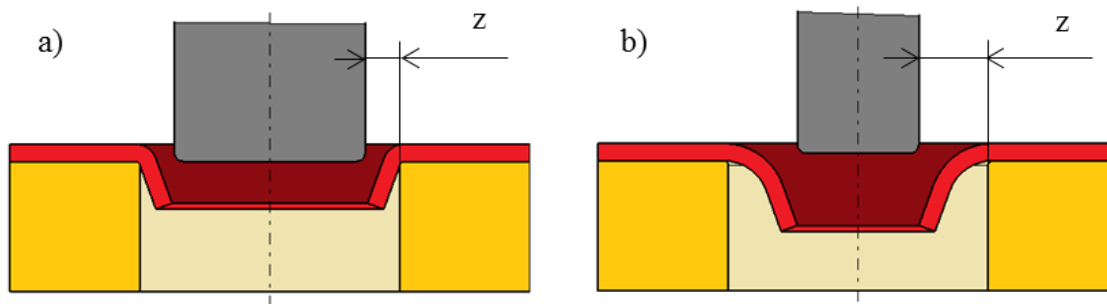
Předmětem této diplomové práce je testování lemů na vnitřních kruhových otvorech, tzv. průtaží. Jedna z metod je schematicky znázorněna na obr. 9.



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

Pro výrobu průtaží je zpravidla využíván tzv. sdužený 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). Polotovar 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]

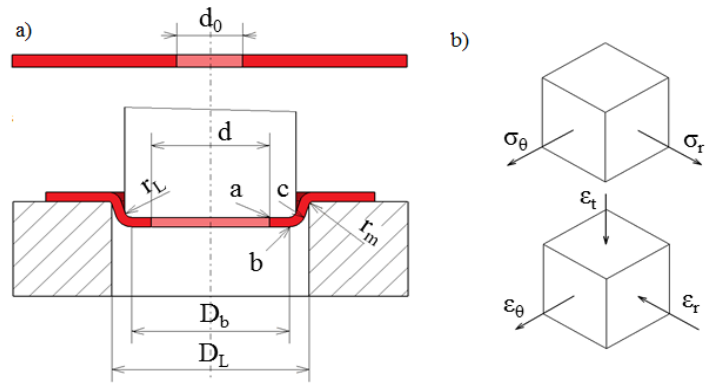
V obou případech je geometrie tažníku stejná a výchozí otvor má stejnou velikost. Rozdílná je však mezera – u varianty a) menší než u varianty b). Tím se změnila ohybová křivka. U varianty a) má menší poloměr než u varianty b).

2.1.1 Napět'ový stav

[12], [27]

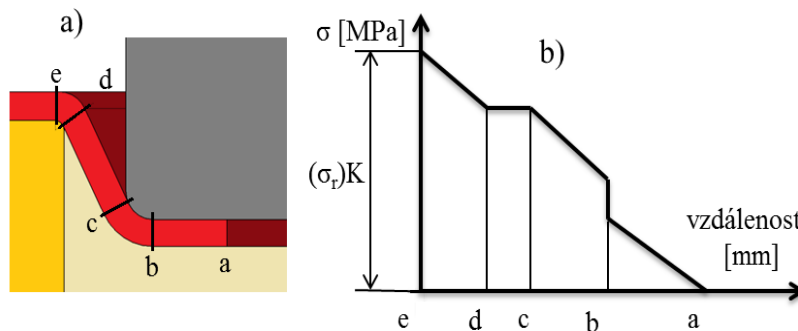
Pro výrobu závitů se používá válcový tvar lemu. Přechodové stádium při výrobě tohoto druhu lemu je znázorněno na obr. 11a). Mezi body „a – b“ se nachází teoretická oblast ohniska deformace, jehož napět'ový stav znázorňuje obr. 11 b), která má tvar mezikruží. Jedná se o biaxiální napjatost charakteru $(+\sigma_r, +\sigma_\theta)$. 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.

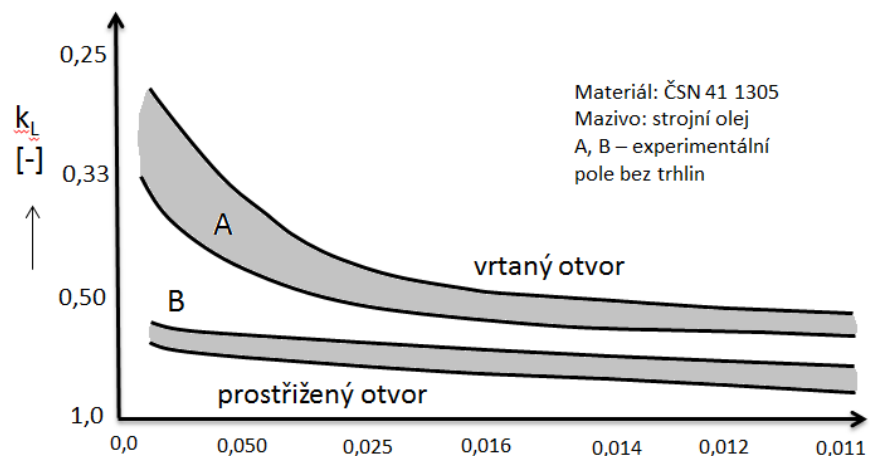
2.1.3 Ovlivňování deformačních parametrů procesu

[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.



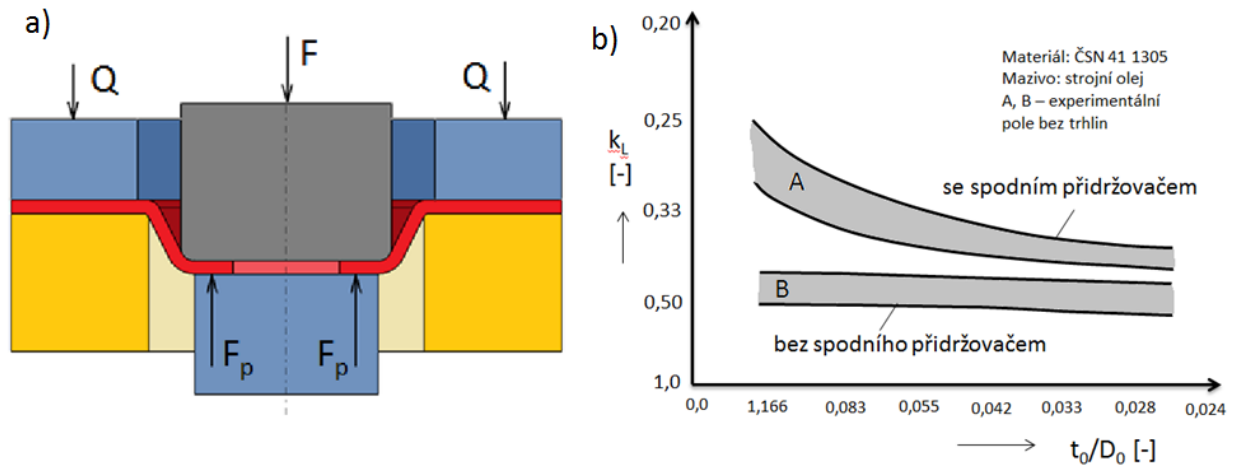
Obr. 13 Závislost k_L na t_0/D_0 zohledňující kvalitu otvoru [27]

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

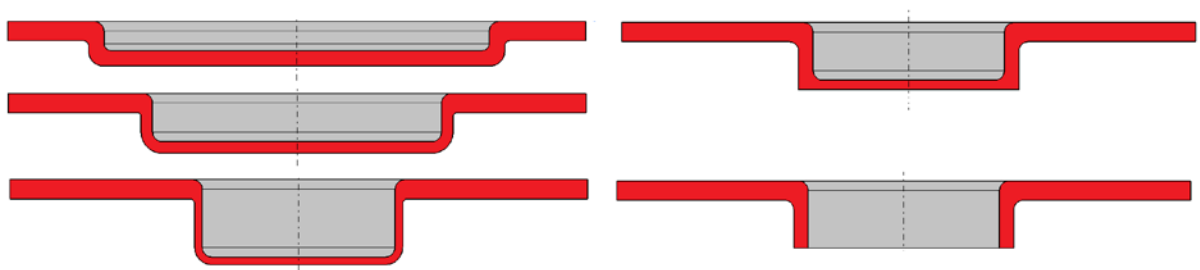
[23]

Metoda díra – ohyb

Je to metoda, která byla popsána již v kapitole 2.1. Nejprve se střížníkem prostříhne malý otvor a poté vytvoří průtaž ohybem zbývajícího materiálu kolem hrany tažnice, prakticky se jedná o ohyb. Výška průtaže je dána objemem zbylého materiálu po prostřížení 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 prostřížení dna a pěchování stěny, postup metody je zobrazen na obr. 15.



Obr. 15 Schéma postupu výroby pěchované průtaže

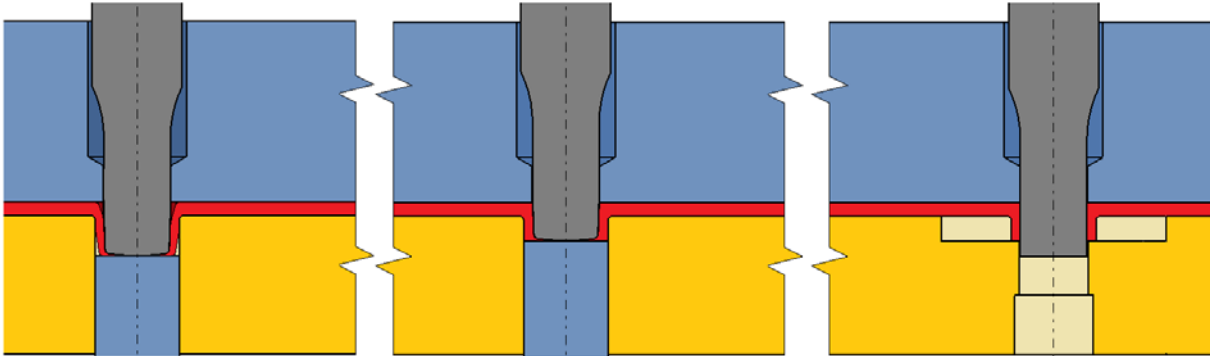
S pomocí miskového lemu

Tato metoda kombinuje mělké tažení a ohýbání. Nejprve se vytvoří mělká miskovitá průtaž a její dno se prostříhne. 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 prostříhneme dno. Při této metodě je nezbytné použít i spodní přidržovač. Ten vyvíjí tlak proti tažníku a vytlačuje

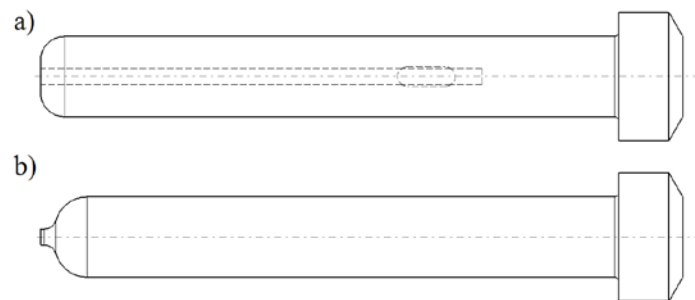
materiál ze dna průtaže do jeho stěn, čímž maximalizuje sílu stěny a výšku průtaže. Navíc tažník nemá dolní úvrat' v poloze, která odpovídá výslednému tvaru průtaže, ale je ještě zhruba o 2 mm níž (závisí na průměru průtaže). V tom okamžiku je průtaž vyšší a má menší tloušťku stěny. Při zpětném pohybu 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

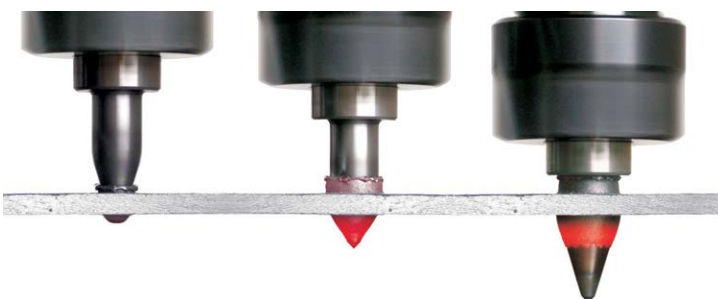
Průtaž lze vyrobit i v jednom zdvihu. Nutné je použít upravený nástroj, který v jednom zdvihu prostříhne díru a zároveň ohne průtaž. Na obr. 17 můžeme vidět příklady takových nástrojů, a) je to tažník se střížnou hranou a b) kombinace tažníku a střížníku. V případě a) se musí vyřešit odpad, který stoupá 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 závitů do průtaží z plechu z různých materiálů v rozmezí tlouštěk 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]

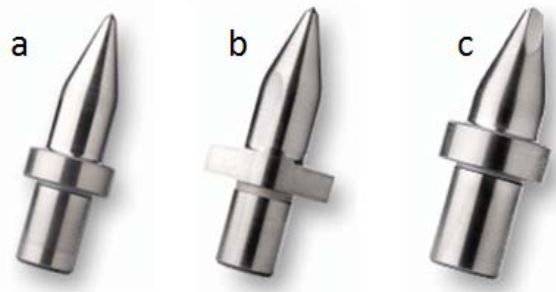
Závit	Průměr nástroje [mm]	Otáčky [s^{-1}]	Výkon stroje [kW]	Čas cyklu [s]
M5	4,5	2150	0,8	2
M6	5,4	2050	1,0	2
M8	7,3	1900	1,3	2
M10	9,2	1700	1,5	3

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 chladičnými kroužky, které chrání nástroje před vysokou teplotou a umožňují nepřetržitou produkci.

Používá se několik typů nástrojů, obr. 19:

- a) **Standartní** – vytvoří límeček ze stoupajícího materiálu, nevytváří třísky
- b) **Plochý** – zarovná povrch dílce odřezáním límečku
- 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]

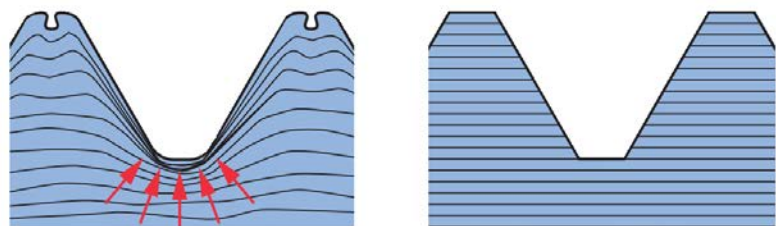
2.4 Výroba závitů

[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 následek zvýšení produktivity.



Obr. 21 Porovnání tvářených a obráběných závitů [28]

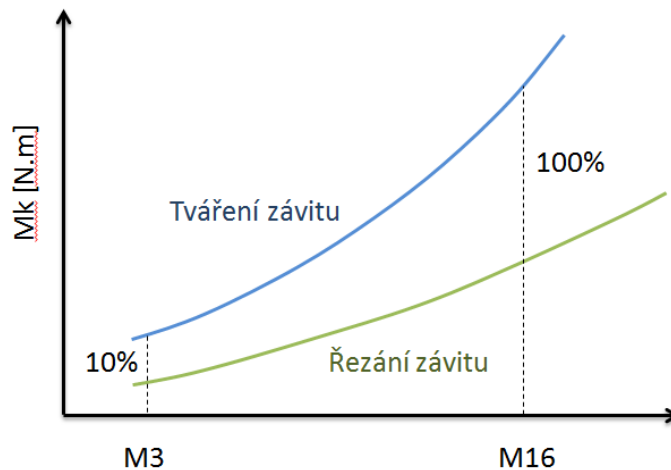


Obr. 20 Tváření závitu [28]

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 řezání závitu je na obr. 22. Na tyto hodnoty mají vliv i další parametry, např. pevnost materiálu a chlazení.



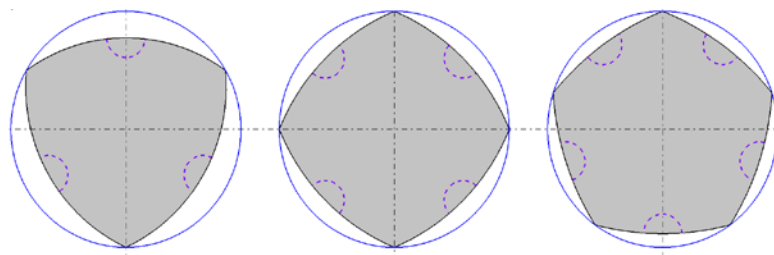
Obr. 22 Porovnání M_k u výroby závitů [28]

Porovnání potřebného krouticího momentu pro tvářením a řezání závitu je na obr. 22. Na tyto hodnoty mají vliv i další parametry, např. pevnost materiálu a chlazení.

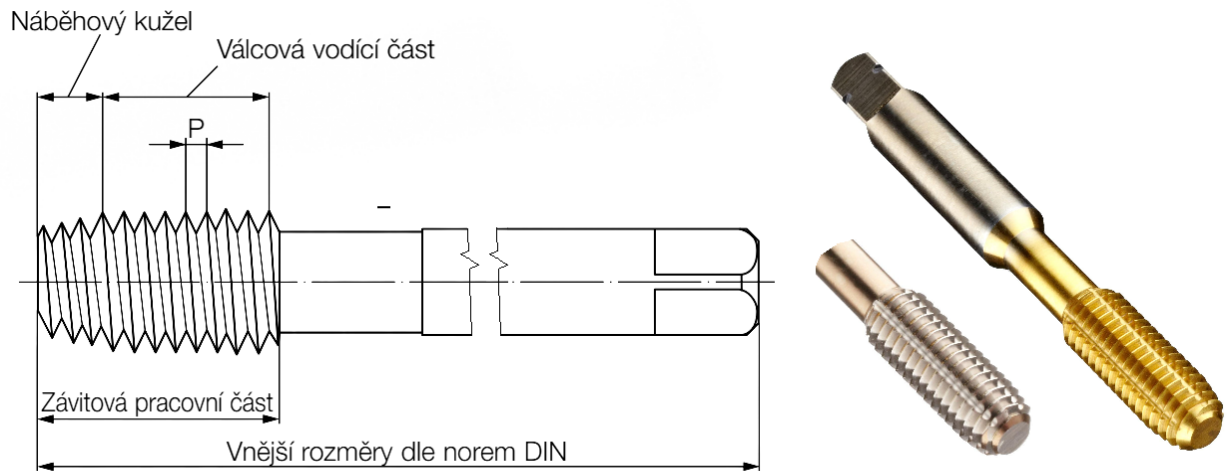
Tvářecí závitníky

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 přemístování 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 – tvářitelnost.

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

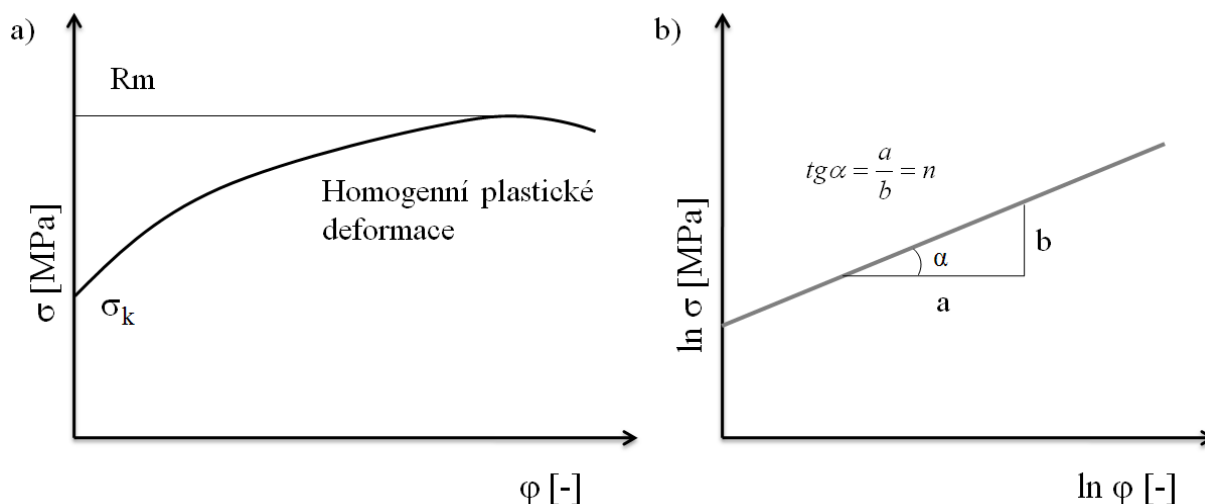
C ... materiálová konstanta

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

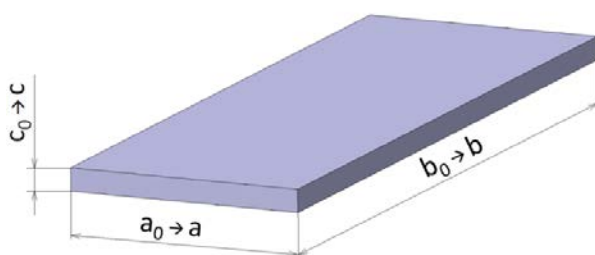
Anizotropie

Anizotropie je parametr, který popisuje nesejnoměrnost vlastností vzorku při namáhání v různých směrech. Je způsobena jejich výrobou – válcováním. Při válcování je polotovar 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



Obr. 26 Popis parametrů rovnice 2.1

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:

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

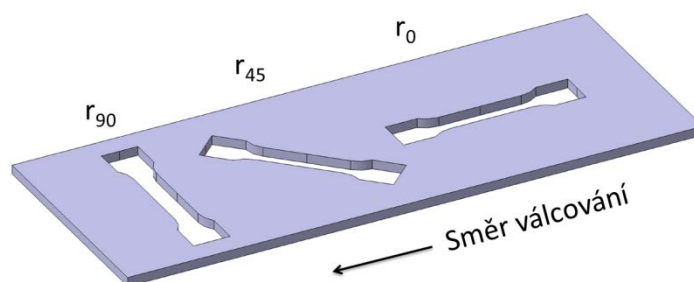
Úhel, pod kterým je součinitel plastické anizotropie „ r “ měřen je indikován jeho indexem. Při měření anizotropie se používají úhly r_0 , r_{45} a r_{90} , obr. 27. Pokud se tyto hodnoty pro daný materiál různí, mluvíme o plošné anizotropii materiálu. Ta je vyčíslena rovnicí (3.6). Její hodnota může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

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

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 zkusíme 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]

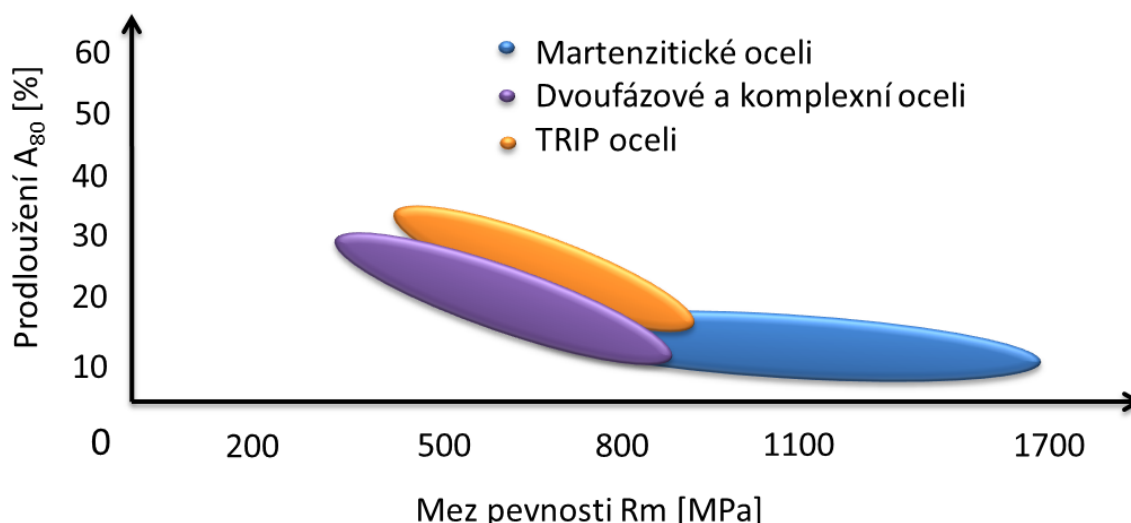
Před 15 lety skupina výrobců ocelí vytvořila projekt, jehož cílem bylo vytvořit ultralehkou ocelovou karosérii. Tento projekt byl úspěšný zejména díky nově vyvinuté skupině ocelí, kterou označili pokročilé vysokopevnostní oceli AHSS (Advanced High Strength Steels). Tato skupina ocelí se stala odpovědí 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 Rp _{0,2} [MPa]		Mez pevnosti Rm [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

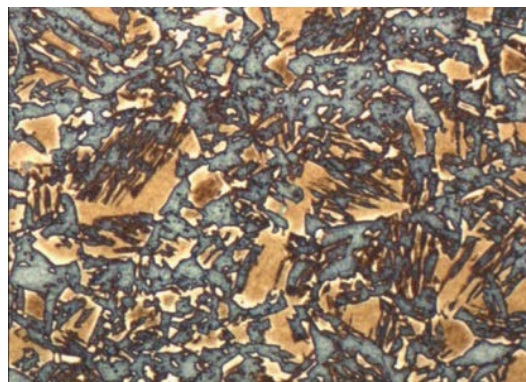
Jejich struktura (obr. 30 a) je tvořena feritickou maticí, která obklopuje tvrdé částice bainitu nebo martenzitu. Zvýšením objemu sekundárních tvrdých fází zvyšuje pevnost. Ocel s tak vysokým podílem martenzitu však způsobuje problémy při zajištění požadovaného prodloužení, které je požadováno pro tváření. 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 ochlazením 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 příčnický. Jsou to díly, které zabraňují deformacím prostoru posádky, ale jejich tvar nedovoluje použití pevnějších martenzických 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.



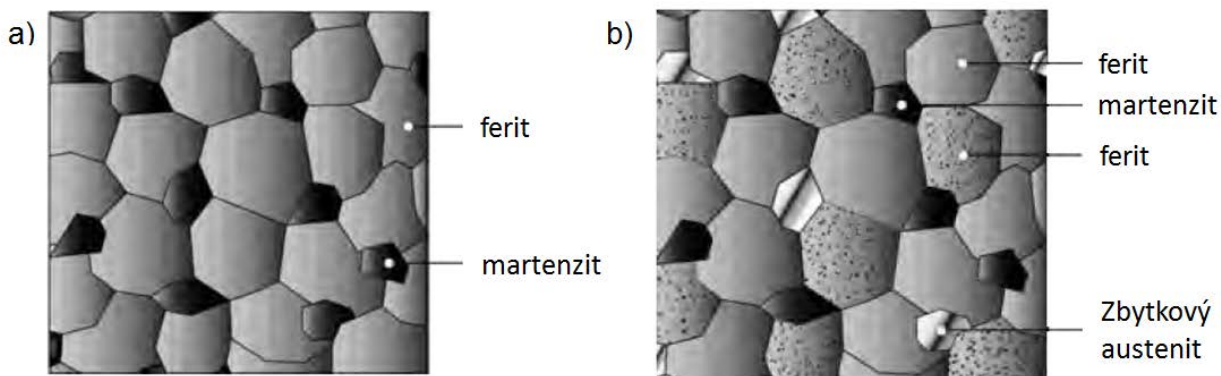
Obr. 29 Struktura DP980 Y700 [3]

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 martenzickou 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

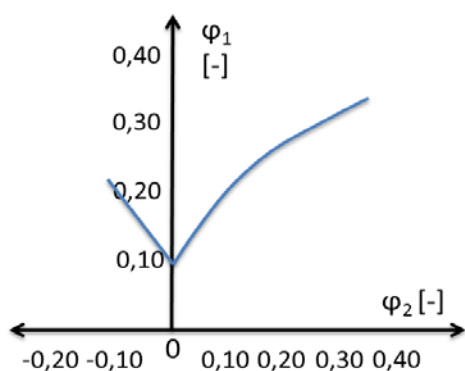
Jsou to oceli s vysokou mezí pevnosti. Mikrostruktura komplexních ocelí se skládá z martenzitu, zbytkového austenitu a perlitu ve feriticko-bainitické matrici. Extrémní zjemnění zrna je dosaženo zbrzděním rekystalizace nebo precipitací legujících prvků jako je Ti nebo Cb. V porovnání s dvoufázovými, 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 ohýbatelnost a snadná výroba přírub
- Dobrá absorpce energie a únavová pevnost

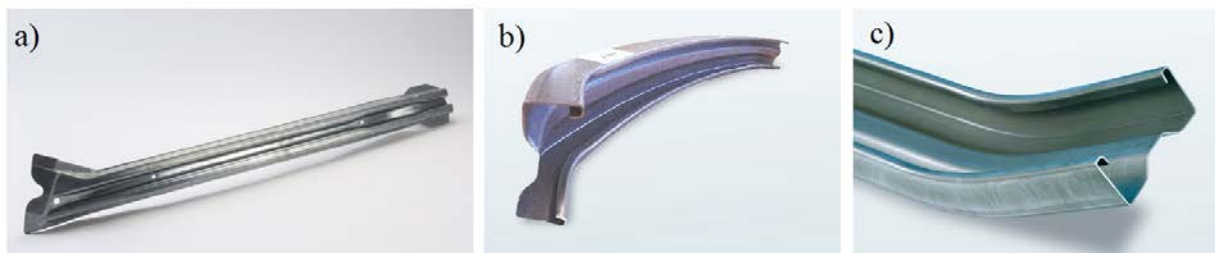


Obr. 31 Diagram mezní tvářitelnosti [3]



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]

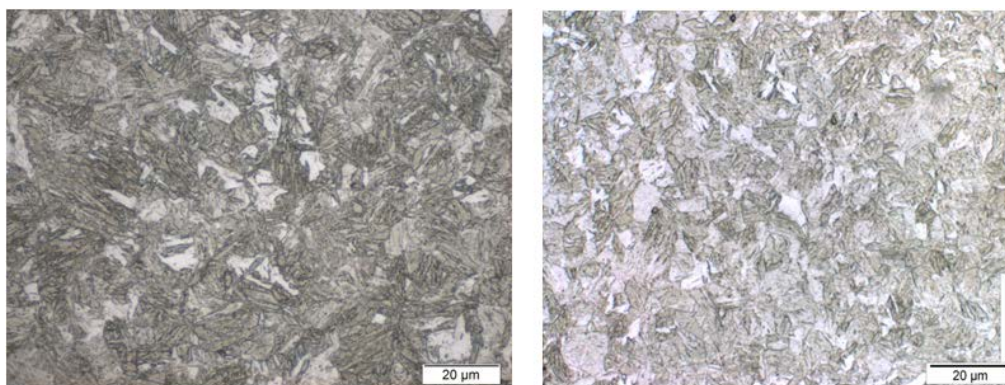
ocel	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Prodloužení [%]
CP 1000 CR	700 - 850	980 - 1200	≥ 8
CP 1000 SF	750 - 950	980 - 1200	≥ 7
CP 1000 Y800	800 - 950	980 - 1130	≥ 6
CP 1000 HR	800 - 950	≥ 950	≥ 10

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 tvažitelnosti 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 Rp _{0,2} [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]		Prodloužení [%]
		min	max	
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 vyrobiteľnosť pružnosti do určitého materiálu a také zkouškami, které se používají při kontrole vlastností vyrobených pružností.

4.1 Zkouška rozšiřováním otvoru

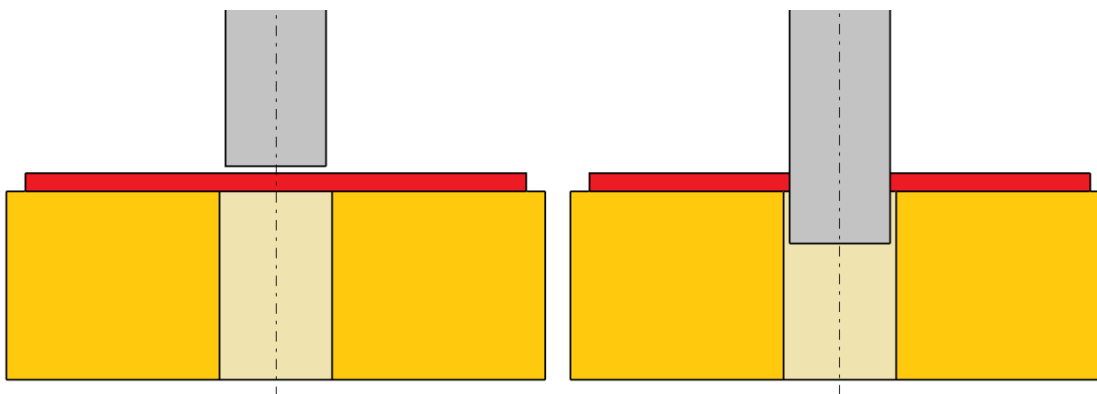
[7], [23]

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 pružností za výrobních podmínek.

Princip zkoušky:

Zkouška se skládá ze dvou kroků:

- vystřížení otvoru, jak ukazuje obr. 36.
- vlačování 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 pružnosti, 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:

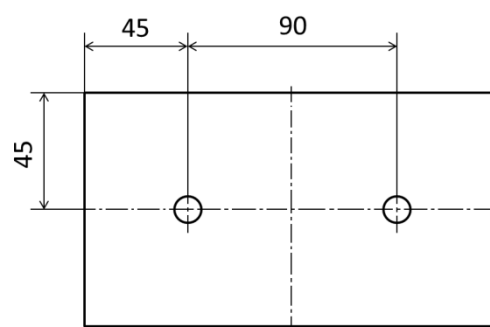
$$z = \frac{d_d - d_p}{2t_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.1)$$

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]

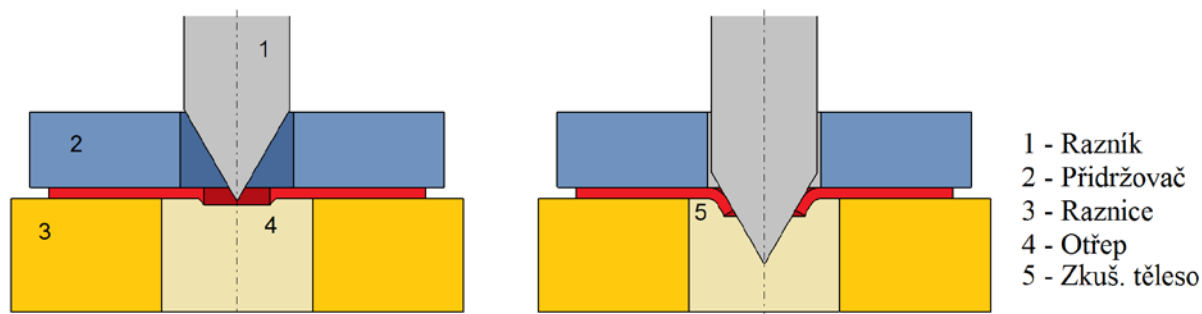
Zkouška se provádí v rozmezí teplot od 10 °C do 35 °C. Při řízených podmínkách musí být teplota 23±5 °C. Zkouška se pro jednotlivý materiál musí opakovat nejméně třikrát. Upnutí zkušebního tělesa musí zajistit:

- 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 vyražení 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 trhlinu 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 Znárodnění zkoušky rozšiřováním otvoru [7]

4.2 Zkouška maximálního kroučícího momentu

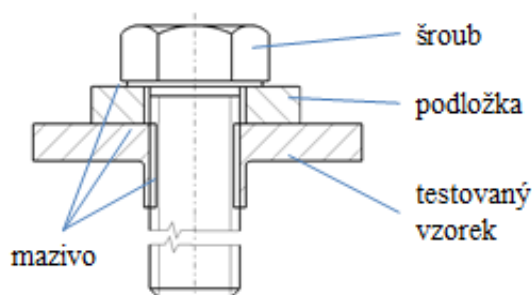
[23], [26]

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

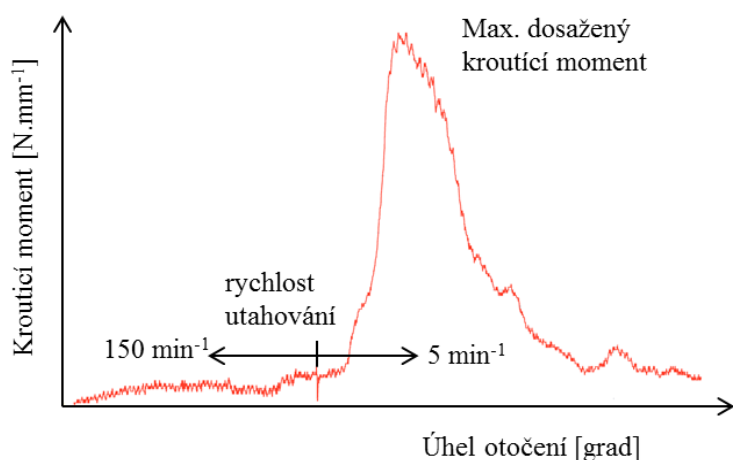
Testovaný vzorek musí být ustaven tak, aby byla osa závitů během testu ve svislé poloze. Uložení vzorku musí zaručit stálost polohy během celé zkoušky. Pokud je nutné, použije se přípravek. Situace před zkouškou je na obr. 39.

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 kroučícího momentu
- každý šroub a podložka se použijí pouze na jeden test



Obr. 39 Příprava zkoušky [26]



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

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

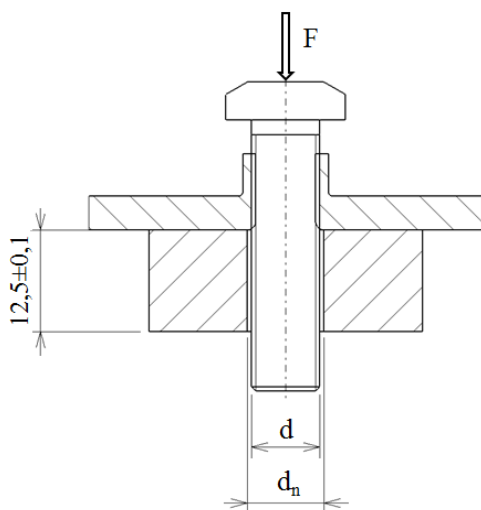
4.3 Peel – off test

[16], [23]

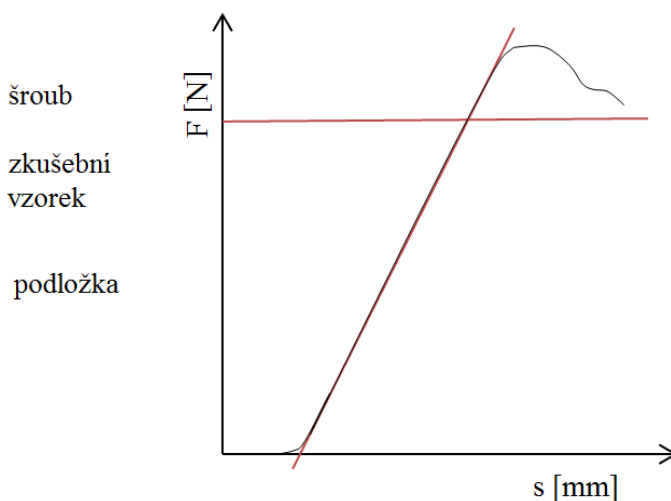
Do této kategorie patří dva testy. Nastavení zkoušky je v obou případech stejné, je ukázáno na obr. 41. Obě zkoušky se provádějí na trhacím stroji. Mění se pouze způsob zatěžování a vyhodnocování zkoušky. Šroub musí patřit do pevnostní třídy 12.9. Do spoje se zašroubuje rychlostí 20 mm.min^{-1} a zašroubovaný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

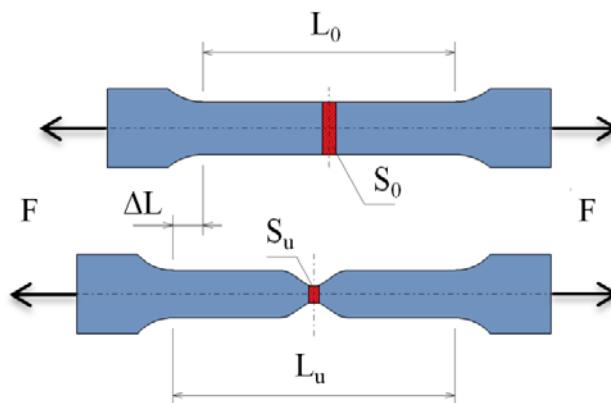
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4.1)$$

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).

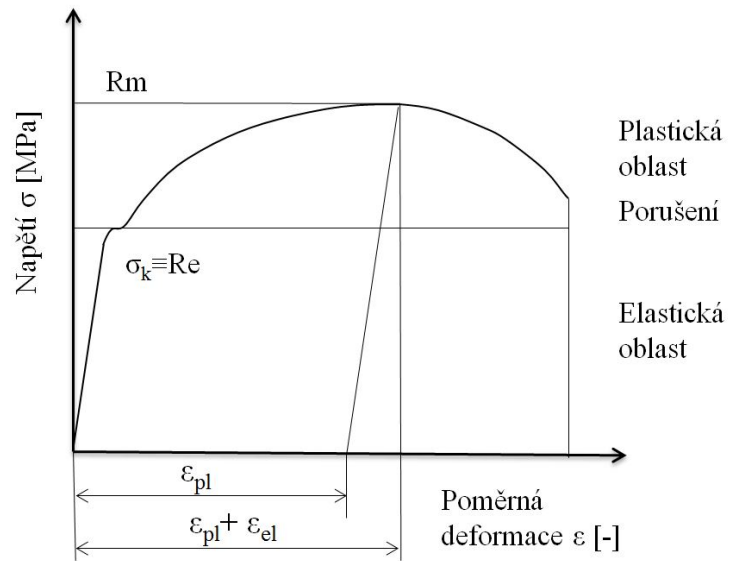


Obr. 43 Zkušební vzorek - tahová zkouška [12]

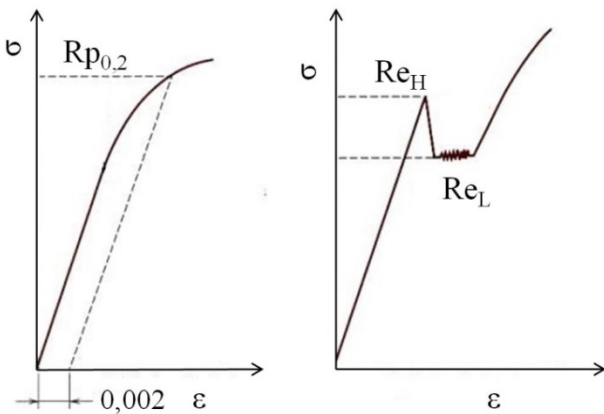
Po překročení meze kluzu dochází ke ztenčování příčného průřezu a dochází k rovnoměrnému prodlužování na celé délce zkušební vzorku. Toto prodlužování pokračuje až do vzniku krčku, v tomto okamžiku se mění způsob zatížení – vzorek je namáhán trojosým napětím. V místě krčku dochází k zeslabení průřezu 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

Následující kapitoly podléhají utajení, proto nemohou být zveřejněny.

6 ZÁVĚRY

Závěry podléhají utajení, proto nemohou být zveřejněny.

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. *Metallic materials - 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 absorbéru laserovým svařováním a nízkotlakým hydroformingem. *Kovárenství*. 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/Doco11/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/thredfloer-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 tváření. *MM průmyslové spektrum* online. 11. Dubna 2001, MM 2001/4, cit. 2014-03-11. Dostupný z www: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrich-zavitu-tvarenim.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
a, a ₀	Šířka zkušební vzorku	[mm]
b, b ₀	Délka zkušební vzorku	[mm]
c, c ₀	Tloušťka zkušební 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 prostřižené 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 navažené 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 pěchované 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 Vystřížení 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

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