

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Výběr vhodných materiálů pro zvýšení mechanických
vlastností v pásu plechu na zařízení DRECE

Selection of Suitable Materials for Enhancing the
Mechanical Properties of the Metal Strip
on a DRECE Device

Student:

Jiří Švec

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Stanislav Ruzs, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student:

Jiří Švec

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Výběr vhodných materiálů pro zvýšení mechanických vlastností v pásu
plechu na zařízení DRECE
Selection of Suitable Materials for Enhancing the Mechanical Properties
of the Metal Strip on a DRECE Device

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte rešerši v současné době využívaných technologiích zjemňování zrna.
- 2) Popište metodiku provádění experimentů na zařízení DRECE pro pás plechu.
- 3) Stanovte metodiku vyhodnocování experimentů na daném zařízení.
- 4) Proveďte měření tvrdosti po 2. 4. a 6. průchodu zařízením DRECE u vybraného materiálu.
Dále proveďte vyhodnocení dosažených mechanických vlastností. Výsledky srovnajte s výchozím stavem.
- 5) Proveďte celkové vyhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) BEYERLEIN, I. J. and TOME, C. N. Analytical modeling of material flow in equal channel angular extrusion (ECAE). *Materials Science Engineering*[], 2004, A 380, p. 171–190. ISSN 0921-5093.
- 2) GARCÍA-INFANTA, J. M.; ZHILYAEV, A. P., CEPEDA-JIMÉNEZ, C. M.; RUANO, O. A. and CARRENO, F. *Scripta Materialia*, 58 (2008) 138. ISSN 1359-6462.
- 3) CHOI, H. J.; HWANG, B. D. and LIM, J. Y. Numerical analysis on the dissimilar channel angular pressing by multi-pass rolling. *Rev. Adv. Material Science and Forum*, January 2007, vol. 493, p. 101–104. ISSN 1662-9752.
- 4) CHUNG, S. W.; SOMEKAWA, H.; KINOSHITA, T.; KIM, W. and HIGASHI, K. The non-uniform behavior during ECAE process by 3-D FVM simulation. *Scripta Materialia*, 2004, 50, p. 1079–1083. ISSN 1359-6462.
- 5) VALIEV, R.; Z., LANGDON, T. G. *Progress in Materials Science*, 51 (2006), p. 881-981. ISSN: 0079-6425.
- 6) WEI, L.; LIPING, B.; GUOYIN, X.; WENLI, Z.; HONGXIA, W. and SHUNQI, W. Transformation matrix analysis on the shear characteristics in multi-pass ECAP processing and predictive design of new ECAP routes. *Materials Science and Engineering: A*, 527 (2010), p. 5557–5564. ISSN 0921-5093.

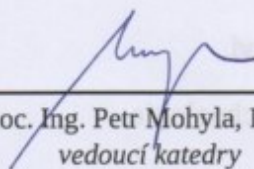
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Stanislav Ruzs, CSc.**

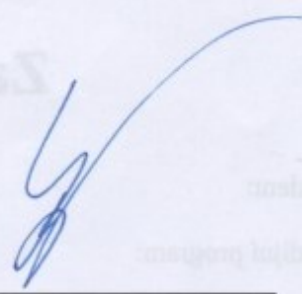
Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015





doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry

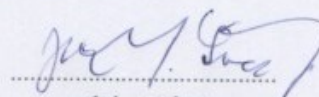


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2015

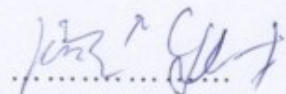

.....
podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18. 5. 2015



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Švec

Adresa trvalého pobytu autora práce: Stiborova 20, Olomouc, 779 00

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠVEC, J. *Výběr vhodných materiálů pro zvýšení mechanických vlastností v pásu plechu na zařízení DRECE : bakalářská práce.* Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 51s. Vedoucí práce: Stanislav Ruzs

Bakalářská práce se zabývá výběrem vhodných materiálů pro zvýšení mechanických vlastností v pásu plechu na tvářecím zařízení metodou DRECE. V úvodní teoretické části práce je vypracována rešerše v současné době využívaných technologií zjemňování zrna. Další část se zabývá vlastním tvářecím zařízením a popisem metodiky provádění experimentů. Praktická část je věnována experimentálnímu vyhodnocení zvýšení mechanických vlastností po průchodech tvářecím zařízením dosažených metodou DRECE.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠVEC, J. *Selection of Suitable Materials for Enhancing the Mechanical Properties of the Metal Strip on a DRECE Device: bachelor thesis.* Ostrava: VŠB-Technical University Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2014, 51 p. Thesis supervisor: Stanislav Ruzs

The bachelor thesis deals with selection of appropriate materials to enhance the mechanical properties in metal strip on the forming machinery by DRECE method. In the theoretical part is performed research of currently used technologies for grain refinement. Another section deals description of forming machinery and the method of experiments provide on this device. In the practical part is performed analyze of experimental results - enhanced of mechanical properties obtained after passes through forming machinery.

Obsah

Strana

Seznam použitého značení a symbolů	8
Úvod.....	10
Teoretická část.....	11
1 Přehled v současné době využívaných metod zjemňování zrna	11
1.1 High Pressure Torsion	11
1.2 Cyclic Extrusion Compression	12
1.3 Cyclic Channel Die Compression	13
1.4 Continuous Extrusion Forming.....	14
1.5 Accumulative Roll Bonding	15
1.6 Constrained Groove Pressing.....	16
1.7 Equal channel angular pressing	17
1.8 Dissimilar channel angular pressing	18
2 Metoda DRECE.....	20
Experimentální část	21
3 Metodika provádění a vyhodnocování experimentů pro zařízení DRECE.....	21
3.1 Metodika provádění experimentů na zařízení DRECE	21
3.2 Metodika vyhodnocování experimentů na zařízení DRECE.....	22
3.2.1 Hodnocení základních mechanických vlastností	22
3.2.2 Metalografické hodnocení	22
4 Rozbor materiálů použitých pro zvyšování mechanických vlastností na zařízení DRECE.....	23
4.1 Ocel CK55.....	23
4.2 Mosaz CuZn37	24
4.3 US Steel Košice - ocel S355 J2C.....	25
4.4 Hliníková slitina AW5754.....	25
5 Měření tvrdosti na vybraných materiálech.....	27
5.1 Měření tvrdosti - Mosaz CuZn37.....	27
5.2 Měření tvrdosti US Steel Košice – Ocel S355 J2C	28
5.3 Vyhodnocení výsledků měření tvrdosti	30
6 Mechanické vlastnosti vzorků protlačených zařízením DRECE.....	31
6.1 Mosaz CuZn37	31
6.2 US Steel Košice – Ocel S355 J2C	31

6.3	Porovnání výsledků tahové zkoušky	32
7	Porovnání výsledků mechanických vlastností oceli CK55 s původní a novou geometrií nástroje	33
7.1	Ocel CK55 (12 060) – mechanické vlastnosti po průchodu zařízením s původní geometrií nástroje	33
7.2	Ocel CK55 (12 060) – mechanické vlastnosti po průchodu zařízením s novou geometrií nástroje	34
7.3	Porovnání výsledků dosažených po průchodu oceli CK55 zařízením s nástrojem se starou a novou geometrií	35
8	Závěr	37
	Poděkování	38
	Seznam použité literatury	39

Seznam použitého značení a symbolů

Značka **Název**

Jednotka

A	Tažnost	[%]
ρ	Měrná hmotnost	[kg · m ⁻³]
F	Tvářecí síla	[N]
f	Součinitel tření	[-]
HB	Tvrдость dle Brinella	[-]
HV	Tvrдость dle Vickerse	[-]
p_{\max}	Tvářecí tlak	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
T	Teplota	[°C]
Ψ	Úhel zakřivení oblouku kanálu u metody ECAP (vnitřní úhel)	[°]
Φ	Úhel mezi kanály (vnější úhel)	[°]
SPD	Vícenásobná plastická deformace	
UFG	Velmi jemnozrné materiály	
VS	Výchozí stav materiálu	

Úvod

S rostoucími požadavky na mechanické vlastnosti v současné době používaných materiálů je stále důležitějším faktorem podrobné studium jejich vlastností. Jednou z možností, jak vyhovět rostoucím požadavkům na konstrukční materiály je výzkum a vývoj zcela nových materiálů. Druhou, a ve spoustě případů výhodnější cestou, je zlepšit vlastnosti stávajících, již používaných materiálů. Zvýšení mechanických vlastností je možno dosáhnout zjemněním mikrostruktury materiálu. Očekávaného zjemnění se dosahuje těmito nejčastěji používanými metodami:

- HPT - High Pressure Torsion (Krut spojený s vysokým tlakem)
- CEC - Cyclic Extrusion Compression (Cyklické protlačování a pěchování)
- CCDC - Cyclic (Equal) Channel Die Compression (Cyklické pěchování v kanále)
- CONFORM - Continuous Extrusion Forming (Kontinuální vytlačování spojené s pěchováním)
- ARB - Accumulative Roll Bonding (Vícenásobné dělení a válcování)
- CGP - Constrained Groove Pressing (Omezené tvarové lisování)
- ECAP - Equal Channel Angular Pressing (Protlačování rovnostranným pravoúhlým kanálem)
- DCAP - Dissimilar Channel Angular Pressing

U všech uvedených metod je využíván proces vícenásobné plastické deformace.

Cíle práce

Hlavním cílem této práce bylo analyzovat a porovnat materiály použité pro zvyšování mechanických vlastností metodou DRECE s novým tvářecím nástrojem. Kritériem pro vyhodnocování experimentů byly mechanické zkoušky – zkouška tvrdosti dle Vickerse a tahová zkouška. Dalším cílem práce bylo ověření vlivu změny geometrie nástroje na efektivitu tvářecího procesu.

Teoretická část

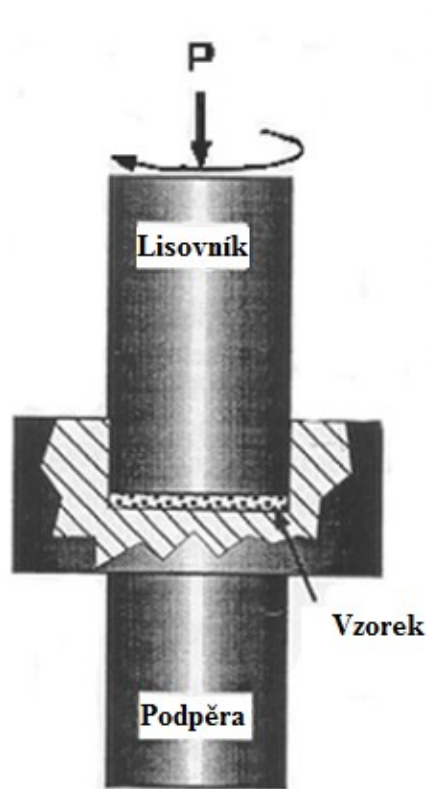
1 Přehled v současné době využívaných metod zjemňování zrna

Mezi uvedenými technologiemi existují rozdíly mezi procesy deformace a průběhy vlastního porušení tvářeného materiálu. Velikost rozdrobení zrn a místo porušení materiálu závisí kromě typu materiálu také na těchto důležitých faktorech - teplota, rychlost deformace a na typu deformačního procesu. U nově zavedených postupů, konkrétně High Pressure Torsion (HPT), Cyclic Extrusion Compression (CEC), (Cyclic) Equal Channel Die Compression (CCDC), Continuous Extrusion Forming (CONFORM) a Accumulative-Roll-Bonding (ARB) se zjišťuje závislost mezi maximálně dosažitelným stupněm deformace a porušením. Požadovaným výsledkem je dosažení maximálního stupně deformace aniž u něj dojde k porušení materiálu. Nejdůležitějším faktorem při tom je, dosáhnout optimálního zpevnění materiálů a zároveň rovnoměrného zjemnění struktury v celém objemu tvářeného materiálu. V další části práce jsou představeny jednotlivé metody zjemňování zrna [1].

1.1 High Pressure Torsion

Na obr. 1 je schematicky znázorněno, jakým způsobem zařízení HPT (High Pressure Torsion) pracuje. Vzorek kruhového průřezu je vložen mezi dva lisovníky. Při samotném procesu je vzorek stisknut oběma lisovníky, při čemž horní navíc koná rotační pohyb. Pomocí tření mezi lisovníkem a polotovarem je přenášen do materiálu vzorku krut. V tvářeném vzorku dochází k šíření tlaku a zároveň během konečného zkroucení vzorku k rozpěchování materiálu. Během procesu pěchování dochází k měnícím-se podmínkám tření v materiálu. Díky vybroušeným kuželovým plochám na lisovníku je tento nežádoucí efekt minimální [1, 2].

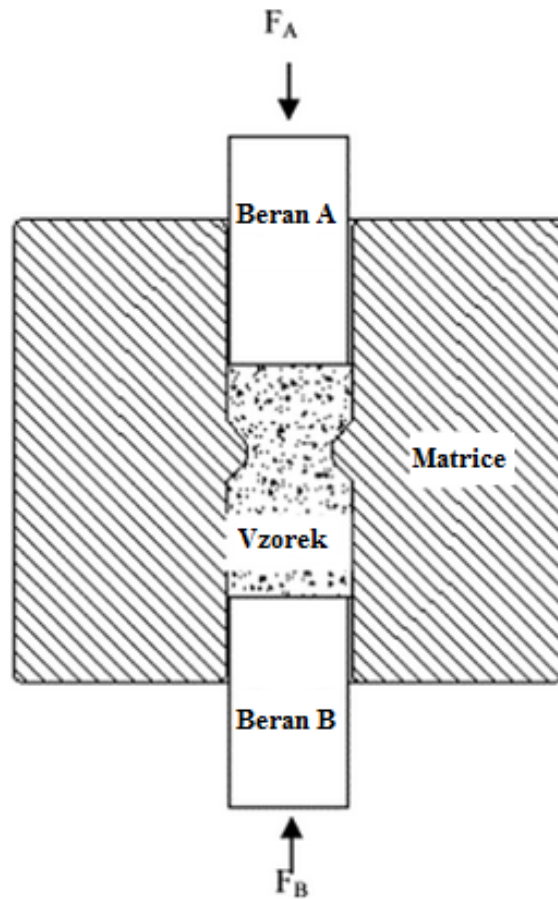
Při zkoušení deformace bylo dosaženo metodou HPT větší velikosti deformace než 1000% na všech rozdílných kovových materiálech. Ani v jednom případě nedošlo k porušení vzorku [1, 2].



Obr. 1 Princip technologie vysokotlakého kroucení [3].

1.2 Cyclic Extrusion Compression

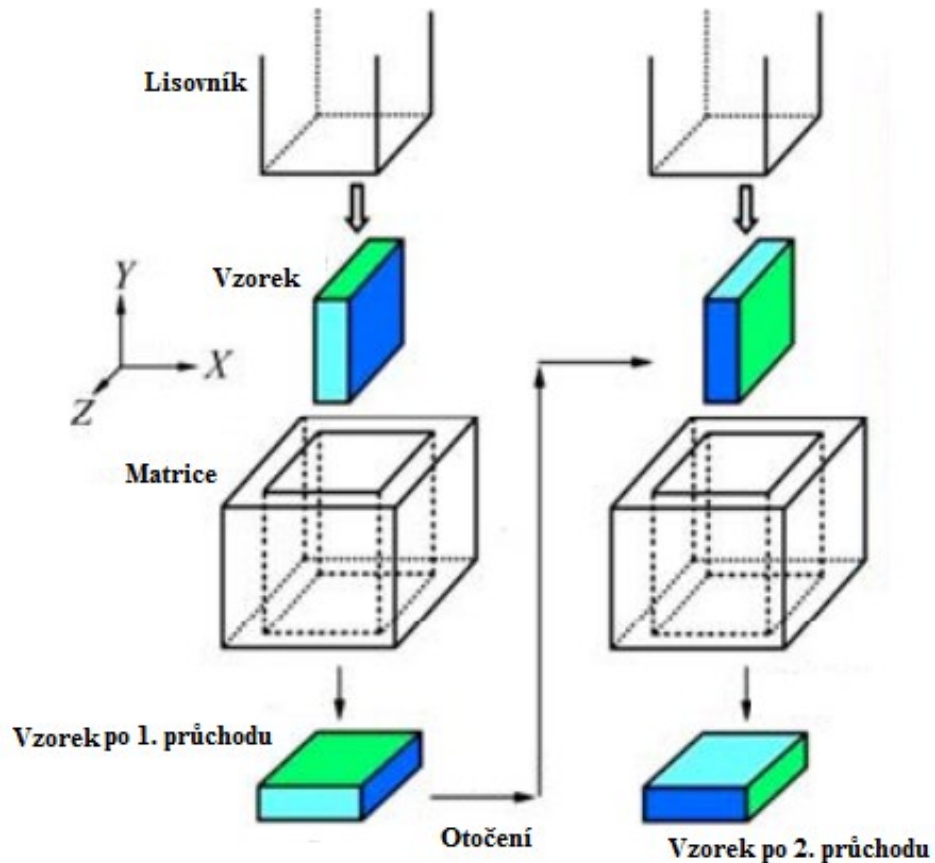
Princip metody CEC je cyklické protlačování a pěchování ve válcovém kanálu. Vzorek je umístěn do matrice, která se skládá z horní a dolní komory, které mají stejné průměry d_0 . Komory jsou propojeny kanálem o průměru d_m . Deformace je uskutečňována tím způsobem, že materiál opakovaně teče přes zúžení z jedné komory do druhé. Tím, že je tvářený materiál v první fázi protlačován skrz zúžení a v druhé konečné fázi pěchován s využitím protitlaku do velikosti původního průřezu, zachovává si svůj původní tvar. Tento postup je znázorněn na obr. 2. Před začátkem procesu deformace je vzorek stlačován přítlačnými šrouby, čímž je zabezpečena libovolně vysoká deformace bez rozvoje trhlin. Správné podmínky deformace jsou zaručeny kontinuálním sledováním tlakových a tahových sil[4].



Obr. 2 Schematické znázornění technologie CEC [4].

1.3 Cyclic Channel Die Compression

Schematické znázornění procesu technologie CCDC je uvedeno na obr. 3. Zařízení se skládá z dolní matrice čtvercového průřezu a horního nástroje stejného průřezu, zajišťujícího vnější zatížení. Vzorek je uložen v matrici a ohřát na tvářecí teplotu. V dalším kroku je vzorek vtlačován do matrice konstantní rychlostí. Po spěchování je vzorek vyjmut z matrice a otočen o 90° kolem osy Z (viz. obr. 3). Po prvním průchodu má vzorek heterogenní strukturu. Pro dosažení optimální struktury je potřeba celý proces několikrát opakovat[5].



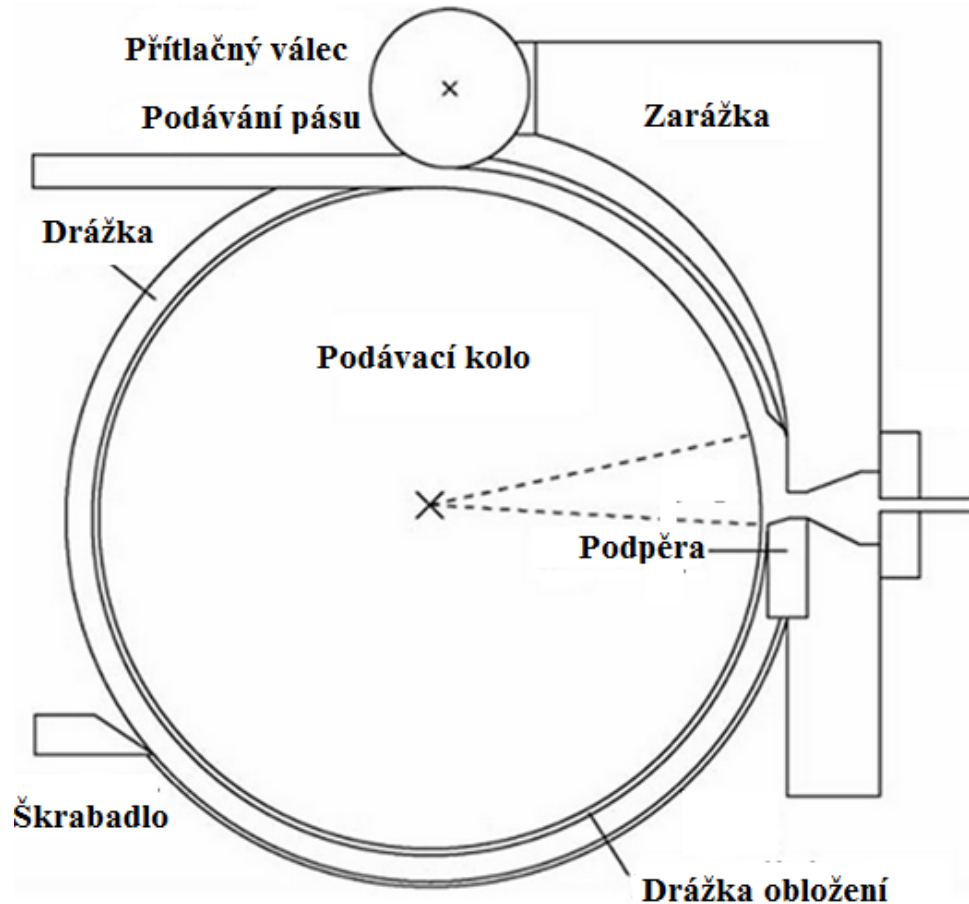
Obr. 4 Schematické znázornění procesu technologie CCDC [5].

1.4 Continuous Extrusion Forming

Proces na zařízení CONFORM byl původně určen k protlačování materiálu pomocí hnacího kola a přítlačného válce (kontinuální proces). Důvodem, proč nebyla technologie použita k tomuto účelu, bylo velké opotřebení nástroje. Jelikož během jednotlivých průchodů dochází k nízkému stupni deformace a tedy i nižšímu zjemnění zrna, pro dosažení vyšších mechanických vlastností je nutno provést více průchodů tvářecím zařízením. Schéma konstrukčního řešení technologie CONFORM je uvedeno na obr. 4[6].

Tvářecí nástroj je opatřen dvěma kanály s rozdílnými tloušťkami. Zatímco u venkovního je tloušťka kanálu 1,55 mm, u vnitřního je tloušťka menší a to 1,45 mm. Vzorek ve formě pásu o tloušťce 1,55 mm je za pomoci hnacího kola podáván do prostoru

nástroje a přetvářen na tloušťku vnitřního kanálu (1,45 mm) a následně je veden ke tvářecí zóně, kde se materiál pěchuje. Odtud je veden kanálem a přetvářen na počáteční tloušťku[7].

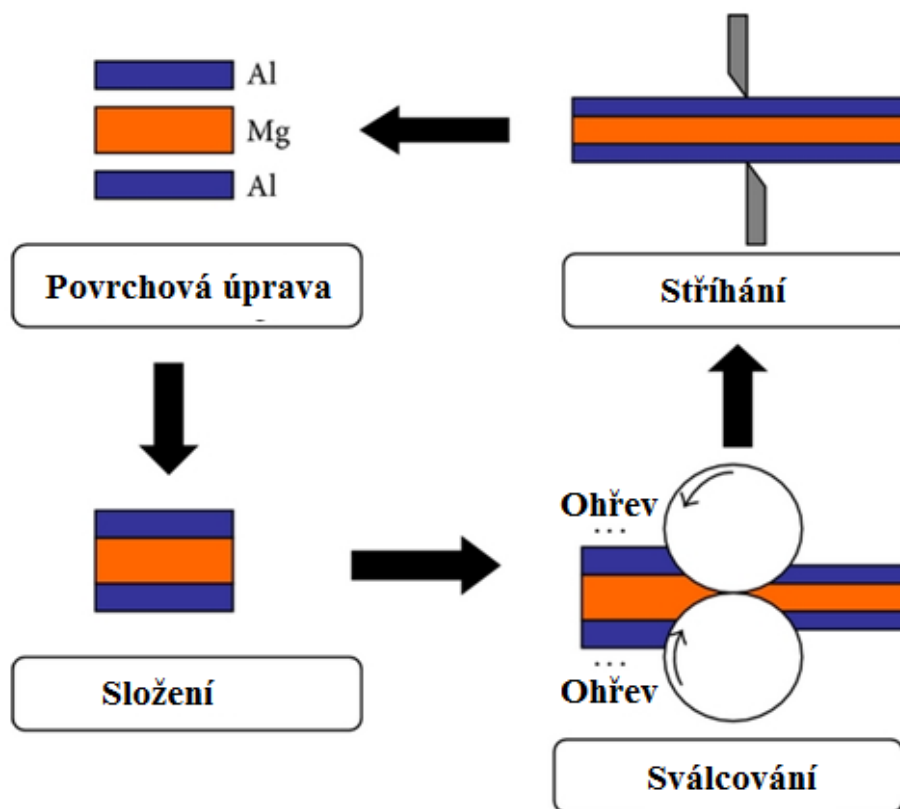


Obr. 4 Schématické znázornění technologie CONFORM [8].

1.5 Accumulative Roll Bonding

Při metodě ARB (vícenásobné dělení polotovaru spojené s válcováním) dochází k rozdělení tvářeného plechu na dvě shodné části, které je nutno v první fázi přesně opracovat – broušením a leštěním, po kterém následuje jejich opětovné spojení. Proces opětovného spojení je realizován válcováním, během kterého by mělo proběhnout difuzní svaření plechů. Pro tuto technologii se doporučují vyšší teploty deformace a nízké rychlosti deformace[1].

Hlavní nevýhodou této technologie představuje značná heterogenita struktury spojená s prodlouženým tvarem deformovaného zrna. Při technologii dochází ke spojení dvou plechů, je tedy třeba obě plochy důkladně očistit a odmastit, což vede ke zvýšení výrobních nákladů. Tato technologie je v současné době intenzívně vyvíjena v Japonsku. Schéma metody ARB je znázorněno na Obr. 5[1].

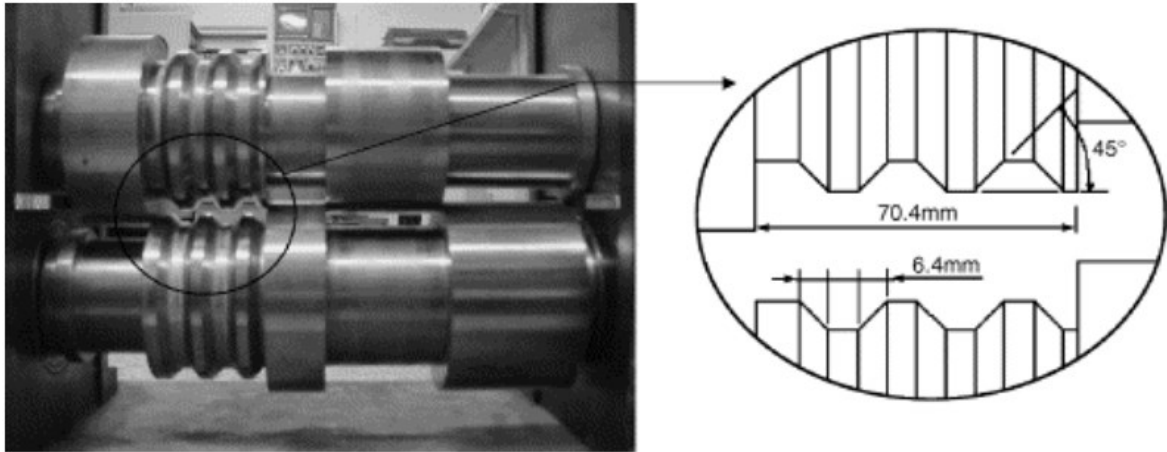


Obr. 5 Schématické znázornění technologie ARB [9].

1.6 Constrained Groove Pressing

Metoda CGP (omezené tvarové lisování) je technologickým postupem, při kterém jsou rovné polotovary vystaveny vysokým deformacím (vtlačování plechu do drážek a následné rovnání). Proces CGP je zobrazen na obr. 6. Materiál ve formě plechu je vložen mezi dva asymetrické lisovníky a deformován. Polotovar je v dalším kroku vyjmut, vyrovnán, otočen o 180° a celý proces se cyklicky opakuje s předem definovaným posuvem plechu. Asymetrickým tvarem lisovací formy lze

dosáhnout vysoké deformace a tím i vysoce jemnozrné struktury cyklickým způsobem. Podobně lze tímto způsobem vytvořit na rovném povrchu vysoce deformované okrajové vrstvy.[10]



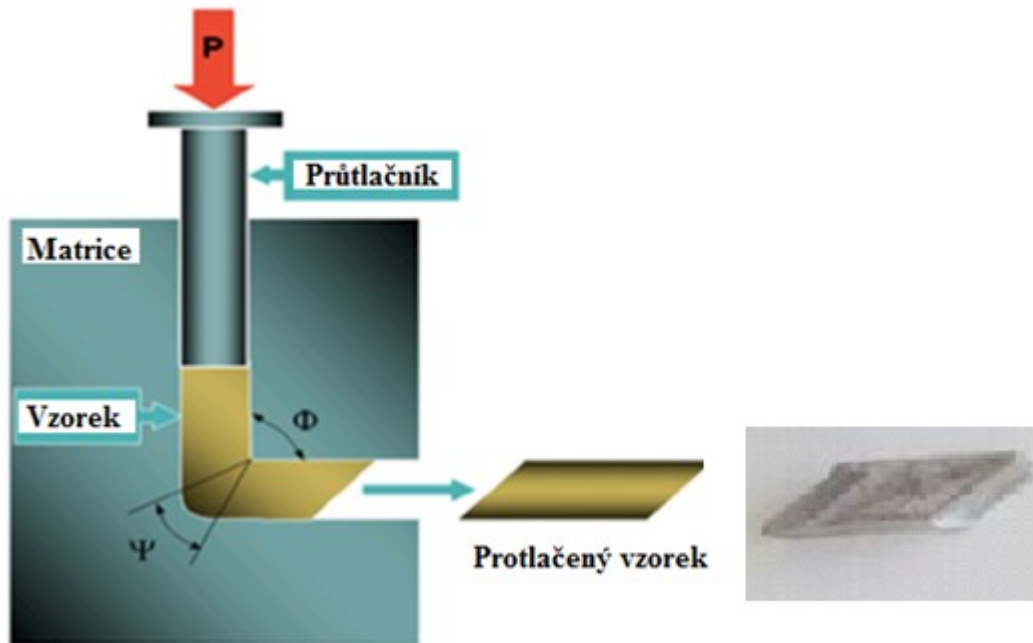
Obr. 6 Schematické znázornění technologie CGP [10].

1.7 Equal channel angular pressing

U metody ECAP (protlačování rovnostranným pravoúhlým kanálem čtvercového nebo kruhového průřezu). Daná metoda je založena na principu SPD (vícenásobná plastická deformace). V první fázi se vzorek pěchuje v zakřivené části kanálu a následně se protlačuje. Daným postupem dochází k vytvoření střižných rovin v celém objemu materiálu protlačovaného vzorku. Finálním výsledkem daného procesu je dosažení vysokého stupně deformace, který je zapotřebí pro vznik subzrn (postupného zjemňování struktury). Pro docílení co nejlepšího výsledku se celá technologie několikrát opakuje.

ECAP umožňuje výrobu UFG (ultrajemnozrných materiálů) ve větších objemech, kdy se při protlačování nezmenšuje výchozí příčný průřez. Deformace vzniklá v jednotlivých místech vzorku je zejména závislá na úhlu ϕ mezi dvěma oddělenými částmi kanálu. Dále jistou mírou závisí i na úhlu ψ zakřivení horního vnějšku místa, kde se oba kanály protínají.

Význam použití je zejména v automobilovém, vojenském a kosmickém průmyslu. Produkty vyrobené touto technologií splňují základní předpoklady pro jejich následné využití při superplastickém tváření[3].



Obr. 7 Schéma procesu protlačování metodou ECAP [11].

1.8 Dissimilar channel angular pressing

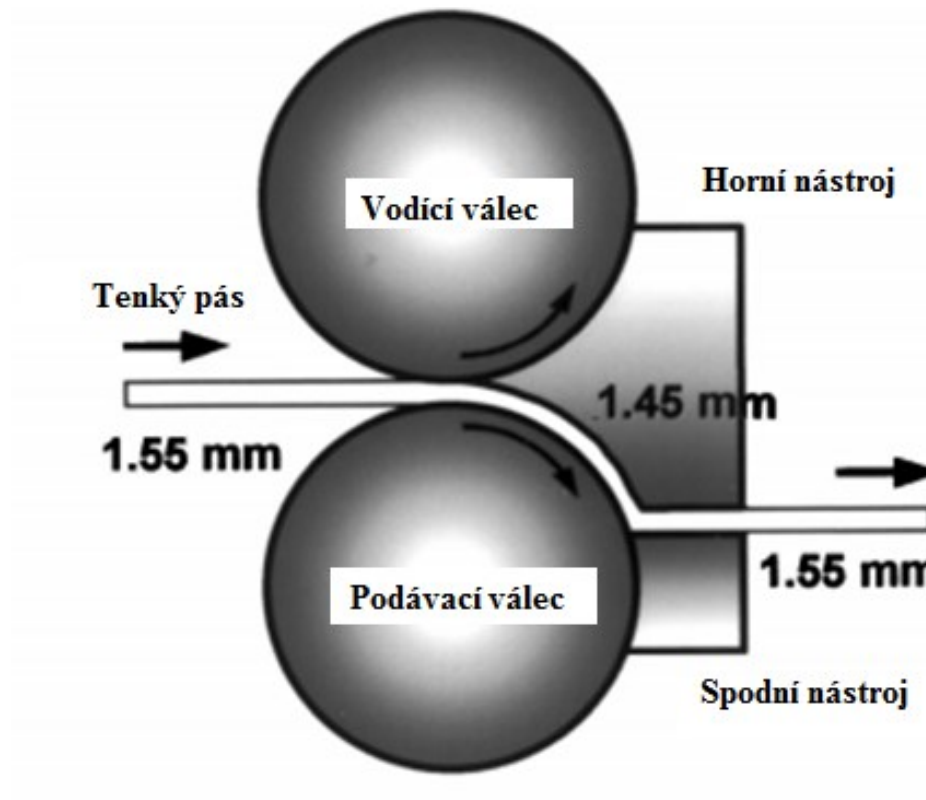
Na Obr. 8 je uvedeno schéma zařízení pro metodu DCAP. Používá se pro tváření plochých polotovárů. Tvářecí je složen z podávacího a vodícího válce a matrice.. Pro zlepšení podávací síly válců byla provedena úprava povrchů válců odebráním třísky 0,3 mm (podávání pásu plechu do zařízení DCAP). Důležitým faktorem při podávání je aplikace syntetického oleje na povrch pásu k redukování tření mezi pásem a stěnou matrice v průběhu tváření.

Ačkoli je podávací rychlost závislá na rozměrech vzorku a úhlu v kanálu, je obvykle nastavována od 5- 50 mm/min. Matrice je tvořena dvěma nástroji (horní a spodní, které jsou uchyceny v držáku nástroje) jejichž tloušťka se vzájemně liší. Tloušťka venkovního kanálu (1,55mm) je mírně větší než tloušťka vnitřního kanálu (1,45mm), jak je znázorněno

na obr. 9. Úhel kanálu Φ , který vznikne protnutím vnějšího a vnitřního kanálu může být zvětšen ze 100° na 140° s úhlem zakřivení $\Psi = \text{cca } 0^\circ$ [1].

Pás má počáteční tloušťku 1,55mm, je podáván podávacím válcem a je přetvářen na tloušťku 1,45mm, poté se dostává do matrice a následně do zóny deformace. Dále je pás vtlačován přes tvářecí zónu, následně pás plechu vychází výstupní části matrice při zachování počáteční tloušťky 1,55 mm.

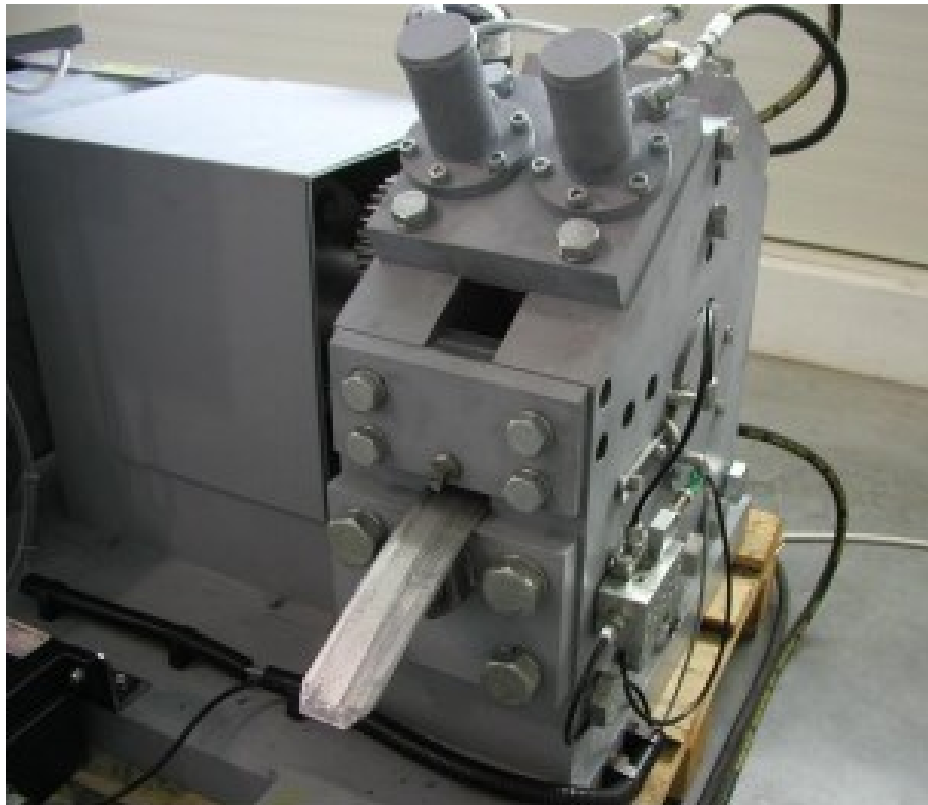
Podáváním vzorku pomocí podávacího válce, namísto podávání materiálu lisovníkem hydraulického lisu bylo dosaženo kontinuálního způsobu tváření[1].



Obr. 8 Schéma procesu DCAP [1].

2 Metoda DRECE

V průběhu roku 2008 byl na pracovišti VŠB-TUO uveden do zkušebního provozu prototyp tvářecího zařízení, které využívá principu vícenásobné plastické deformace. Na obr. 9 je uveden celkový pohled na vlastní tvářecí zařízení. Zařízení se skládá z těchto hlavních částí: převodovka typu Nord s el. motorem, lamelová spojka, podávací válec, přítlačné válce regulací přítlačné síly a vlastní tvářecí nástroj z oceli typu Dievar. Pás plechu o rozměrech 59x2x1000 mm je vložen do pracovního prostoru a podávacím válcem v součinnosti s přítlačnými válci je protlačován tvářecím nástrojem, bez změny příčného průřezu. Při takto prováděné vícenásobné plastické deformaci docílíme podstatného zjemnění struktury. Během zkušebního provozu byly provedeny první pokusy a jejich vyhodnocení. Na základě těchto prací byly navrženy další konstrukční úpravy. Jelikož se jedná o patentovou ochranu daného zařízení, není možno zveřejňovat podrobnější technické údaje[12].



Obr. 9 Tvářecí zařízení [12].

Experimentální část

Jelikož experimenty provedené v rámci této práce jsou provedeny s novým tvářecím nástrojem, jedná se o vstupní experimenty. Tyto experimenty budou dále pokračovat.

3 Metodika provádění a vyhodnocování experimentů pro zařízení DRECE

3.1 Metodika provádění experimentů na zařízení DRECE

Rozdílem mezi konvenčním válcováním a metodou DRECE je v různé podstatě tvářecího procesu. Při dané metodě je pás plechu vtlačován podávacím kolem do prostoru samotného nástroje (dva kusy tvořící funkční matici), kde probíhá proces protlačování. Na plech během vtlačování do nástroje působí přítlak dvou válců, mezi kterými je z důvodu zvlňování plechu umístěn vodící segment. Orientace střížných rovin, vznikajících během průchodu vzorku zařízením se mění, jelikož mezi průchody dochází k otočení polotovarů o 180° vzhledem k podélné ose. Úhel náběhu plechu (úhel mezi náběhem plechu z podávacího válce a horizontálním výstupem plechu z tvářecího nástroje) je jedním z nejdůležitějších faktorů. Tímto úhlem je ovlivněna velikost intenzity deformace v jednotlivých průchodech.

V průběhu uvedení tvářecího zařízení do provozní činnosti bylo nutno vyřešit některé nedostatky z hlediska jeho funkčnosti. Byly vyřešeny problémy s volbou vhodné drsnosti podávacích válců, snížena šavovitost a zasekávání vzorku v průběhu procesu. Dále byla provedena úprava geometrie tvářecího nástroje. V současné době je zařízení využíváno pro experimenty umožňující zdokonalit vlastní tvářecí proces za účelem zvýšení jeho efektivity a dosažení potřebné kvality finálního polotovaru[13].

3.2 Metodika vyhodnocování experimentů na zařízení DRECE

3.2.1 Hodnocení základních mechanických vlastností

Pro vyhodnocení základních mechanických vlastností vzorků po protlačení nástrojem DRECE je využíváno zkoušky tvrdosti dle Vickerse (HV10, HV5) v souladu s ČSN EN ISO 6507-1 a tahové zkoušky za okolní teploty v souladu s ČSN EN ISO 6892-1. Hodnoty tvrdosti použité v této práci byly naměřeny v laboratoři VŠB – TUO. Pro tahovou zkoušku byly použity vzorky o průřezu 2x75 mm a o počáteční délce 80 mm. Výsledky tahové zkoušky byly dodány laboratoří VÚHŽ Dobrá[13].

3.2.2 Metalografické hodnocení

Metalografické hodnocení vzorků protlačených zařízením DRECE je používáno k vyhodnocení výsledné struktury materiálu (určení velikosti a rozložení zrn). Snímky makrostruktury a mikrostruktury materiálu vzorků po průchodu zařízením DRECE jsou dodávány metalografickou laboratoří VŠB – TUO a spolupracujícím pracovištěm – divizí laboratoří a zkušeben VÚHŽ a.s.[13].

4 Rozbor materiálů použitých pro zvyšování mechanických vlastností na zařízení DRECE

4.1 Ocel CK55

Konstrukční ocel s nízkým obsahem uhlíku, nelegovaná, jakostní k zušlechťování. Uklidněná ocel vhodná na hřídele turbokompresorů, karuselů, zalomené a jiné hřídele, ozubená kola a věnce, plunžry lisů, pístnice, vřetena, čepy, lamely, spojky, pojistky, západky, držáky, šrouby, páky, destičky abnormálních řetězů, různé spojovací součásti, pružiny, konstrukční elementy lisovacího náradí. Na méně namáhané hřídele silničních vozidel. Na součásti strojů, které mají vzdorovat opotřebení (ozubené věnce, vřetena vrtaček). Svařitelnost obtížná. Konkrétní složení této oceli je uvedeno v tab. 1, mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 1 Chemické složení oceli CK55

Označení oceli	Chemické složení [%]							
CK55 (12 060)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
		0,52-0,6	0,5-0,8	0,15-0,4	> 0,04	> 0,04	> 0,25	> 0,3

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli CK55

Mechanické vlastnosti	Hodnota
Pevnost v tahu R_m [MPa]	750 - 900
Mez kluzu R_e [MPa]	480
Tažnost A [%]	-

4.2 Mosaz CuZn37

Mosaz je slitina mědi a zinku (binární mosaz), případně je část podílu zinku nahrazena jiným kovem (ternární mosaz). Má široké pole využití v jemné mechanice, elektrotechnice, při výrobě různého dalšího kovového zboží a také v modelářství. K přednostem mosazi patří dobrá obrobitelnost, korozivzdornost (pěkný vzhled) a dobrá vodivost. Pevnost není příliš vysoká, ale pro mnoho aplikací zcela dostačující. Mosazi se dobře spojují pájením a také pokovují. Nevýhodou je cena, daná hlavně vysokým podílem mědi. Ms63 je starší, ale dosud často používané označení pro mosaz CuZn37 (ČSN 423213, W.Nr.: 2.0321 atd.), kde číslo 63 přibližně vyjadřuje podíl mědi (podrobněji je chemické složení uvedeno v tab. 3). Je to nejběžnější mosaz používaná ve výrobě. Je dobře zpracovatelná za studena a je vhodná k pokovování. Má menší odolnost proti korozi, než mají mosazi s vyšším obsahem mědi. Měrná hmotnost 8430 kg/m³. Mechanické vlastnosti mosazi CuZn37 jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 3 Chemické složení mosazi CuZn37

Označení	Chemické složení [%]							
CuZn37	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Sn	Al	ostatní
	62-64	zbytek	> 0,3	> 0,1	> 0,1	> 0,1	> 0,1	> 0,03

Tab. 4 Mechanické vlastnosti mosazi CuZn37

Mechanické vlastnosti	Hodnota
Pevnost v tahu R_m [MPa]	370 - 440
Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	min. 200
Tvrdość dle Vickerse	95 - 140
Tažnost A_{50} [%]	max. 38

4.3 US Steel Košice - ocel S355 J2C

Ocel S355 J2C (dřívější označení dle ČSN - 11 503) je nelegovaná konstrukční ocel, vhodná ke svařování všemi obvyklými způsoby svařování. Určená pro výrobu součástí tlakových nádob a rozvody médií pracujících při teplotách -50 až 400 °C. Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 5 a mechanické vlastnosti v tab. 6.

Tab. 5 Chemické složení S355 J2C

Označení	Chemické složení [%]						
AW3534 (AlMg3)	C	Mn	Si	S	Al	Ti	P
	0,194	1,402	0,196	0,007	0,043	0,018	0,017

Tab. 6 Mechanické vlastnosti S355 J2C – výchozí stav

Mechanické vlastnosti	Naměřená Hodnota
Pevnost v tahu R_m [MPa]	587
R_{eL} [MPa]	470
R_{eH} [MPa]	509
Tažnost A_{80} [%]	21,5

4.4 Hliníková slitina AW5754

Jedná se o hliníkovou slitinu, která se vyznačuje vysokou odolností proti korozi. Díky její vysoké odolnosti proti mořské vodě se používá při stavbě lodí. Ocel je velmi dobře eloxovatelná (povrchová úprava, která zvýší korozní odolnost AW5754). K dalším výhodám, kromě nízké hustoty patří i dobrá svařitelnost slitiny. Je vhodná pro stavbu lodí, strojů, přípravků, dále se používá v potravinářském průmyslu, jelikož si zachovává si své vlastnosti i při zvýšení teploty okolí. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 7 a tab. 8.

Tab. 7 Chemické složení AW5754

Označení	Chemické složení [%]								
AW3534 (AlMg3)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
	0,5	0,4	0,1	0,05- 0,4	2,6- 4,0	-	0,2	0,2	zbytek

Tab. 8 Mechanické vlastnosti AW5754

Mechanické vlastnosti	Hodnota
Pevnost v tahu R_m [MPa]	190 - 240
Smluvní mez kluzu $R_{p0.2}$ [MPa]	min. 80
Tvrдость dle Brinella	52
Tažnost A_{50} [%]	12 - 18

5 Měření tvrdosti na vybraných materiálech

5.1 Měření tvrdosti - Mosaz CuZn37

Tab. 9 Tvrdost mosazi CuZn37 – výchozí stav

označení vzorku	měření	d1	(d1+d2)/2	tvrdost	tvrdost vypočtená
		d2			
VS_CuZn37	1	411	411,5		109,5
		412			
	2	422	421,5		104,4
		421			
	3	423	427,0		101,7
		431			
				Průměr	105

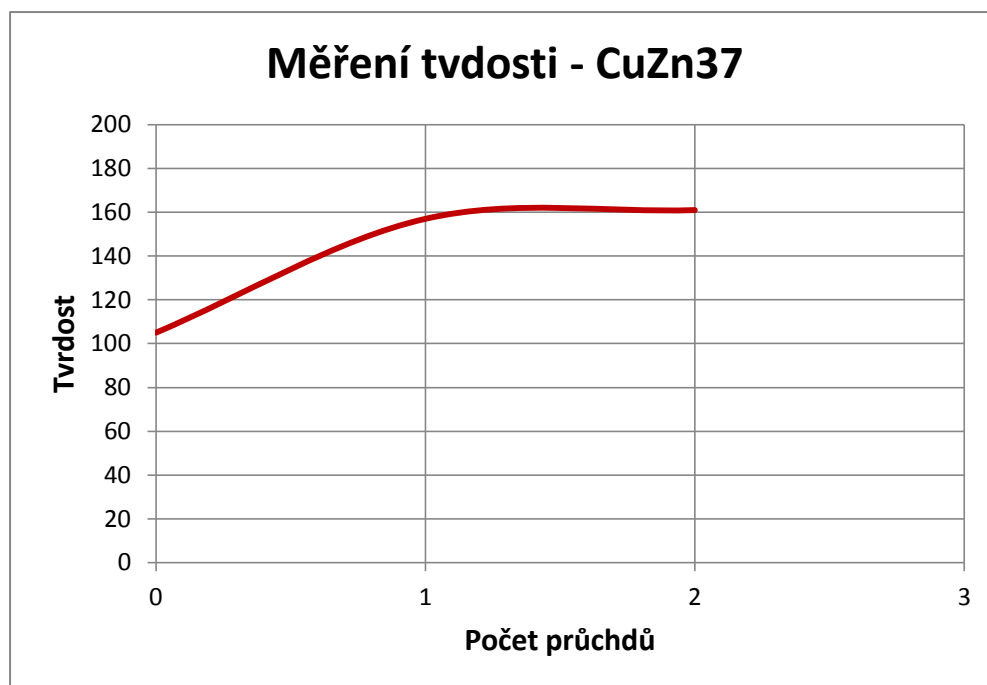
Tab. 10 Tvrdost mosazi CuZn37 po prvním průchodu

označení vzorku	měření	d1	(d1+d2)/2	tvrdost	tvrdost vypočtená
		d2			
1× CuZn37	1	344	346,5		154,4
		349			
	2	340	338,0		162,3
		336			
	3	345	345,5		155,3
		346			
				Průměr	157

Tab. 11 Tvrdost mosazi CuZn37 po druhém průchodu

označení vzorku	měření	d1	(d1+d2)/2	tvrdost	tvrdost vypočtená
		d2			
2× CuZn37	1	339	332,0		168,2
		325			
	2	349	345,0		155,8
		341			
	3	341	340,0		160,4
		339			
				Průměr	161

Z měření tvrdosti dle Vickerse na mosazi CuZn37 je vidět, že po prvním průchodu došlo k výraznému zvýšení tvrdosti - o 49,5%. Hodnoty z měření tvrdosti pro výchozí stav jsou uvedeny v tab. 9, pro vzorek po prvním průchodu v tab. 10. Po druhém průchodu vzorku z mosazi se tvrdost změnila o nižší hodnotu a to jen asi o 4% oproti původnímu stavu. Celkový nárůst tvrdosti oproti výchozímu stavu je 53,5%. Hodnoty z měření tvrdosti mosazi po druhém průchodu jsou uvedeny v tab. 11. Na obr. 10 je znázorněna závislost změny tvrdosti na počtu průchodů.



Obr. 10 Měření tvrdosti – CuZn37

5.2 Měření tvrdosti US Steel Košice – Ocel S355 J2C

Tab. 12 Tvrdost S355 J2C – výchozí stav

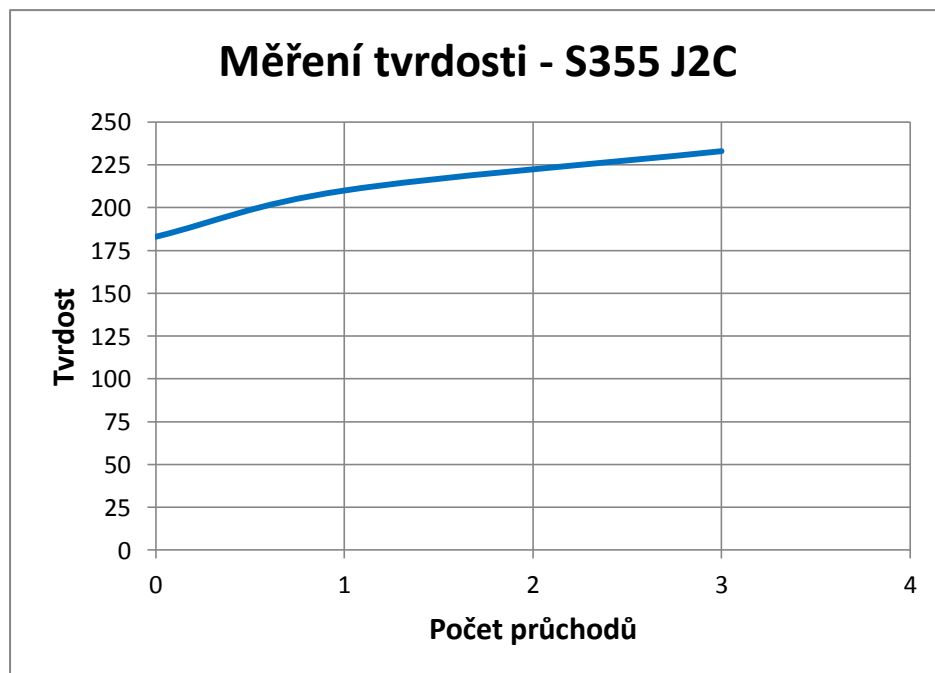
označení vzorku	měření	d1; d2	(d1+d2)/2	tvrdost	tvrdost vypočtená
VS_S355J2C	1	324	324,0		176,6
		324			
	2	311	313,0		189,2
		315			
	3	323	318,5		182,8
		314			
				Průměr	183

Tab. 13 Tvrdost S355 J2C po druhém průchodu

označení vzorku	měření	d1	$(d1+d2)/2$	tvrdost	tvrdost vypočtená
		d2			
2× S355J2C	1	291	300,5		205,3
		310			
	2	292	305,5		198,6
		319			
	3	278	287,0		225,1
		296			
				Průměr	210

Tab. 14 Tvrdost S355 J2C po třetím průchodu

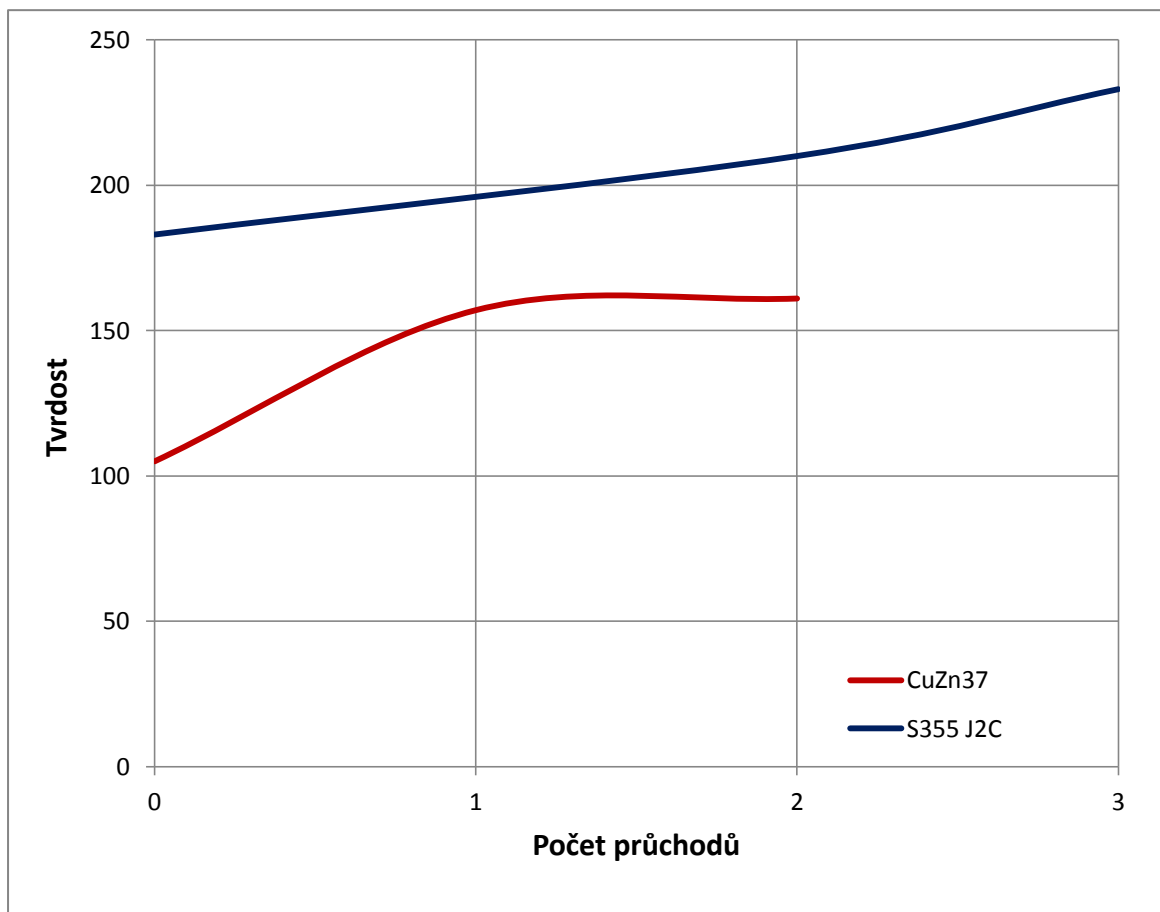
označení vzorku	měření	d1	$(d1+d2)/2$	tvrdost	tvrdost vypočtená
		d2			
3× S355J2C	1	278	282,0		233,1
		286			
	2	278	283,0		231,5
		288			
	3	281	282,0		233,1
		283			
				Průměr	233

**Obr. 10** Měření tvrdosti – CuZn37

Změřené hodnoty tvrdosti výchozího stavu oceli S355 J2C jsou uvedeny v tab. 12. Po druhém průchodu došlo ke zvýšení tvrdosti o 15%, po třetím průchodu o 7%. Celkový nárůst tvrdosti vzhledem k výchozímu stavu je 22 % oproti výchozímu stavu. Hodnoty tvrdosti po průchodech zařízení jsou uvedeny v tab. 13 a tab. 14.

5.3 Vyhodnocení výsledků měření tvrdosti

Měření tvrdosti bylo provedeno v laboratoři VŠB – TUO. Bylo využito zkoušky dle Vickerse HV10 v souladu s normou ČSN EN ISO 6892-1. Z obr. 11 lze vyčíst, jakým působem se změnila hodnota tvrdosti u mosazi CuZn37 a oceli S355 J2C. U mosazi bylo dosaženo podstatného zvýšení nárůstu tvrdosti již po prvním průchodu – 49,5% oproti původnímu stavu. U oceli k přibližně stejnému zvýšení nárůstu tvrdosti bylo zapotřebí provést 3 průchody.



Obr. 11 Porovnání změny tvrdosti u oceli S355 J2C a mosazi CuZn37

6 Mechanické vlastnosti vzorků protlačených zařízením DRECE

Ke zjištění hodnot meze kluzu a meze pevnosti protlačených vzorků byla využita tahová zkouška v souladu s ČSN EN ISO 6892-1. Byly zkoušeny vzorky o průřezu 2x75 mm a počáteční délce 80 mm. Zkoušení bylo provedeno strojem FPZ 100/1 v laboratořích VÚHŽ a.s.

6.1 Mosaz CuZn37

Tab. 15 Mechanické vlastnosti CuZn37 po průchodu zařízením DRECE

Označení vzorku	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost
			A ₈₀
			A
			%
VS_CuZn37	190	267	
1x_CuZn37	220	330	26,4
2x_CuZn37	217	360	

Vliv počtu průchodů tvářecím nástrojem na změnu hodnot meze kluzu a meze pevnosti jsou uvedeny v tab. 15. U mosazi CuZn37 byl zaznamenáno zvýšení meze pevnosti po dvou průchodech o 93 MPa. Od původní hodnoty se výsledek liší o 35%. Tažnost nemohla být změřena v důsledku defektů (předčasného lomu) vzorku.

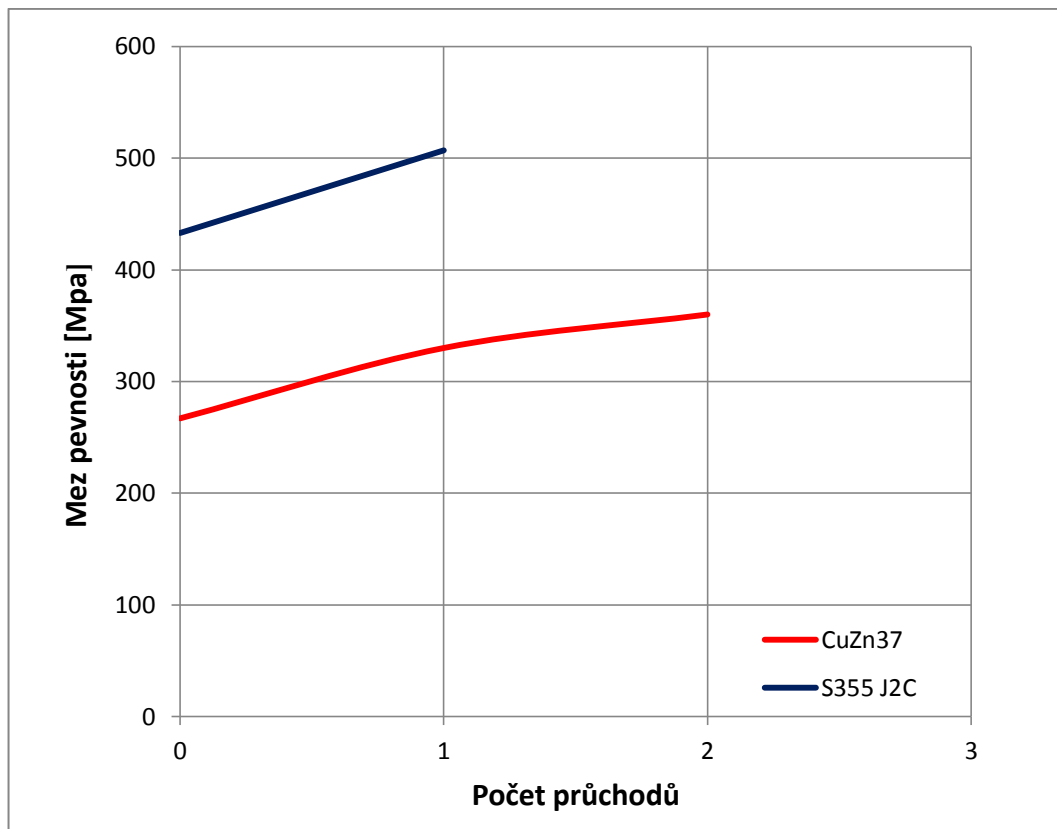
6.2 US Steel Košice – Ocel S355 J2C

Tab. 16 Mechanické vlastnosti S355 J2C po průchodu zařízením DRECE

Označení vzorku	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost
			A ₈₀
			A
			%
VS_S355 J2C	300	433	
1x_S355 J2C	387	507	8,1

U oceli S355 J2C bylo dosaženo po prvním průchodu zařízením zvýšení meze pevnosti o 17%. Konkrétní hodnoty, které byly naměřeny při tahové zkoušce, jsou uvedeny v tab. 16.

6.3 Porovnání výsledků tahové zkoušky



Obr. 11 Graf závislosti meze pevnosti zkoušeného materiálu na počtu průchodů

Z grafu na obr. 11 lze vyčíst, o kolik se zvýšila mez pevnosti zkoušených materiálů po průchodu zařízením DRECE. U oceli byla po prvním průchodu mez kluzu zvýšena o 74 MPa (17% z původní hodnoty). U mosazi byla zvýšena mez kluzu po prvním průchodu o 63 MPa (23,5% z původní hodnoty).

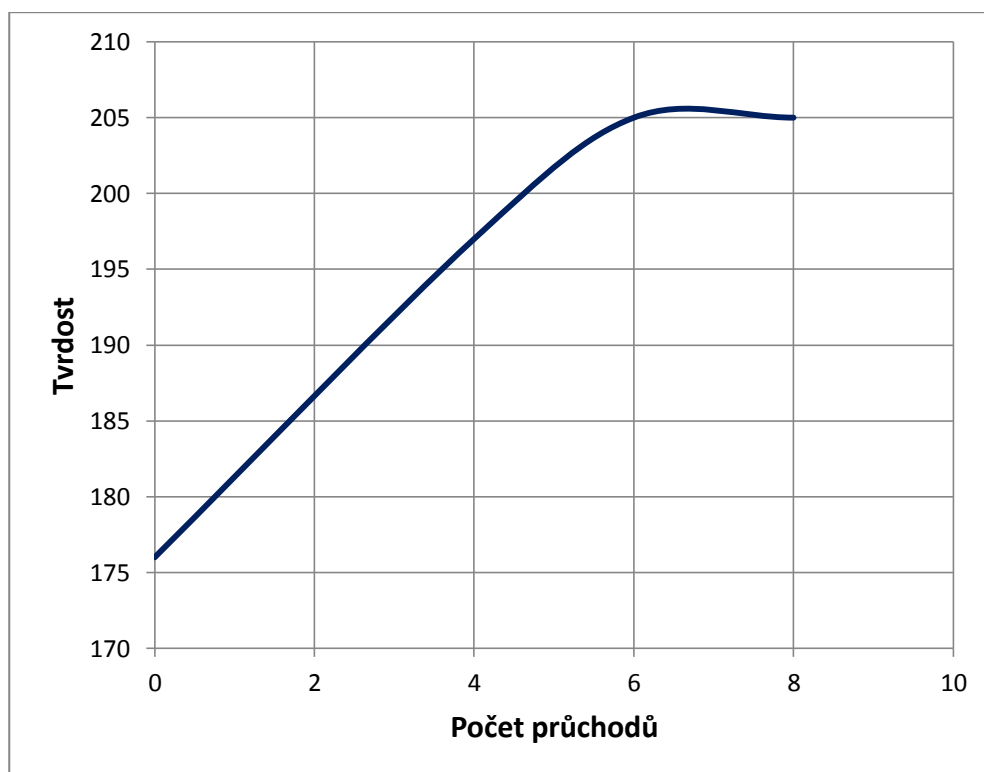
7 Porovnání výsledků mechanických vlastností oceli CK55 s původní a novou geometrií nástroje

Tahová zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 6892-1 na zkušebním stroji FPZ 100/1 v VÚHŽ Dobrá.

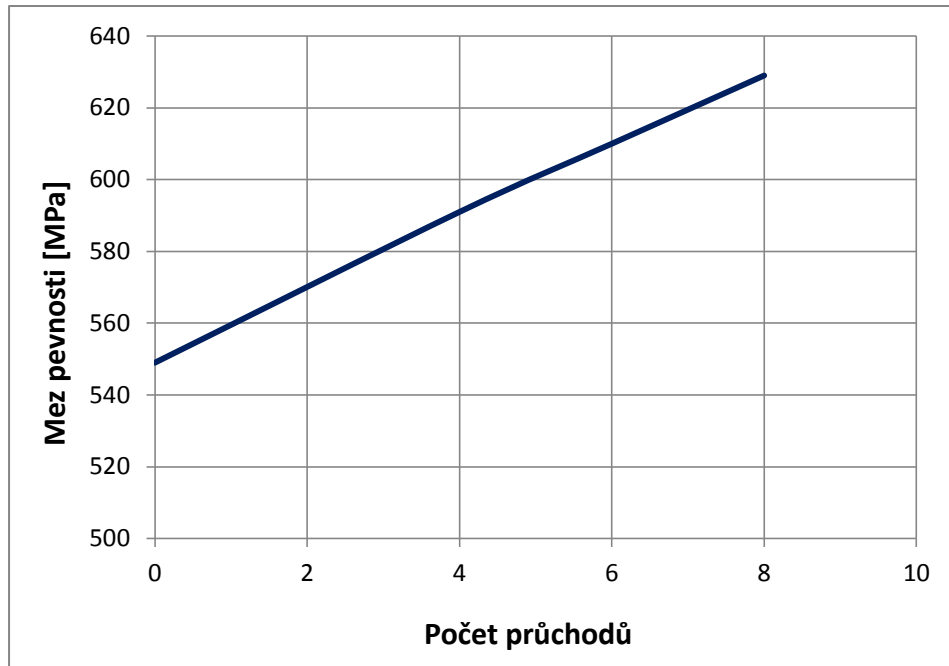
7.1 Ocel CK55 (12 060) – mechanické vlastnosti po průchodu zařízením s původní geometrií nástroje

Tab. 17 Mechanické vlastnosti CK55 – stará geometrie

Počet průchodů	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{80mm} [%]	HV10
VS	373	549	21,1	176
4	491	591	17,8	197
6	498	610	16,1	205
8	553	629	9,0	205



Obr. 12 Graf závislosti tvrdosti na počtu průchodů – stará geometrie



Obr. 13 Graf závislosti meze pevnosti na počtu průchodů – stará geometrie

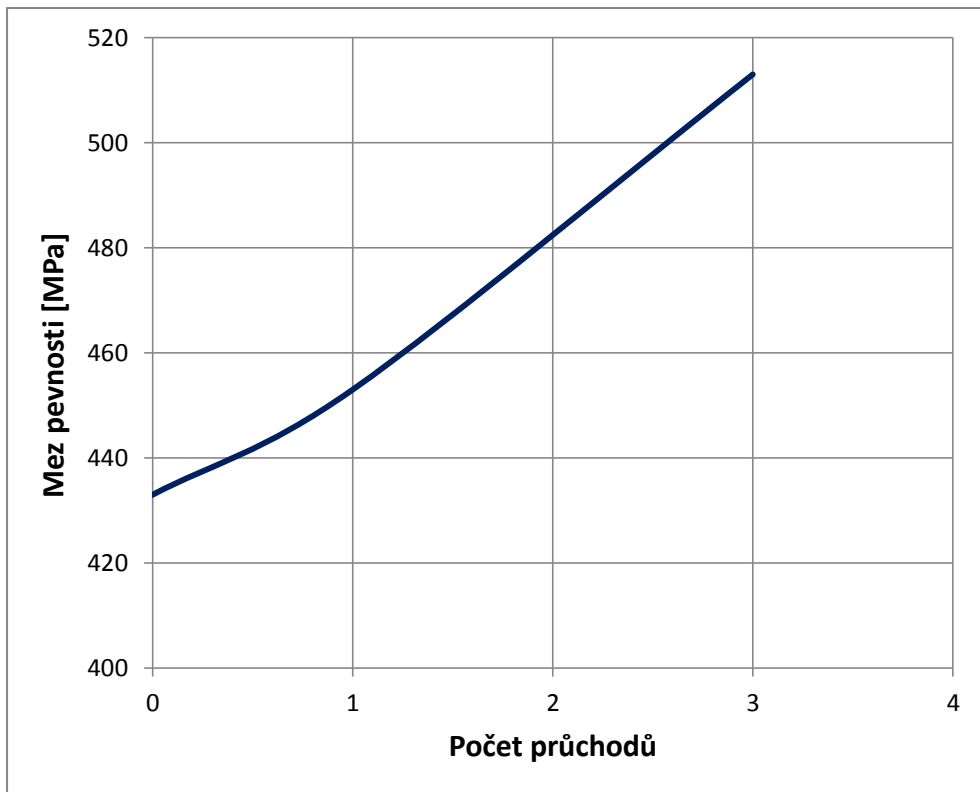
V tab. 17 jsou uvedeny mechanické vlastnosti oceli CK55 po průchodu zařízením s původní geometrií nástroje. Po osmi průchodech zařízením bylo dosaženo zvýšení hodnoty tvrdosti o 16,5%. Průběh nárůstu tvrdosti v závislosti na počtu průchodů je znázorněn na obr. 12.

Z hlediska mechanických vlastností bylo dosaženo zvýšení meze kluzu po čtyřech průchodech o 32% (118 MPa) a meze pevnosti o 15% (o 80 MPa) vzhledem k výchozímu stavu (viz tab. 17). Po osmi průchodech dosáhl nárůst meze kluzu 48% (180 MPa) a meze pevnosti 5% (80 MPa) oproti výchozímu stavu (viz tab. 17). Graf závislosti meze pevnosti na počtu průchodů je znázorněn na obr. 13.

7.2 Ocel CK55 (12 060) – mechanické vlastnosti po průchodu zařízením s novou geometrií nástroje

Tab. 18 Mechanické vlastnosti CK55 – nová geometrie

Počet průchodů	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{80mm} [%]
VS	293	433	21,3
1	387	453	20
3	467	513	3,8
4	(433)		



Obr. 13 Graf závislosti meze pevnosti na počtu průchodů – nová geometrie

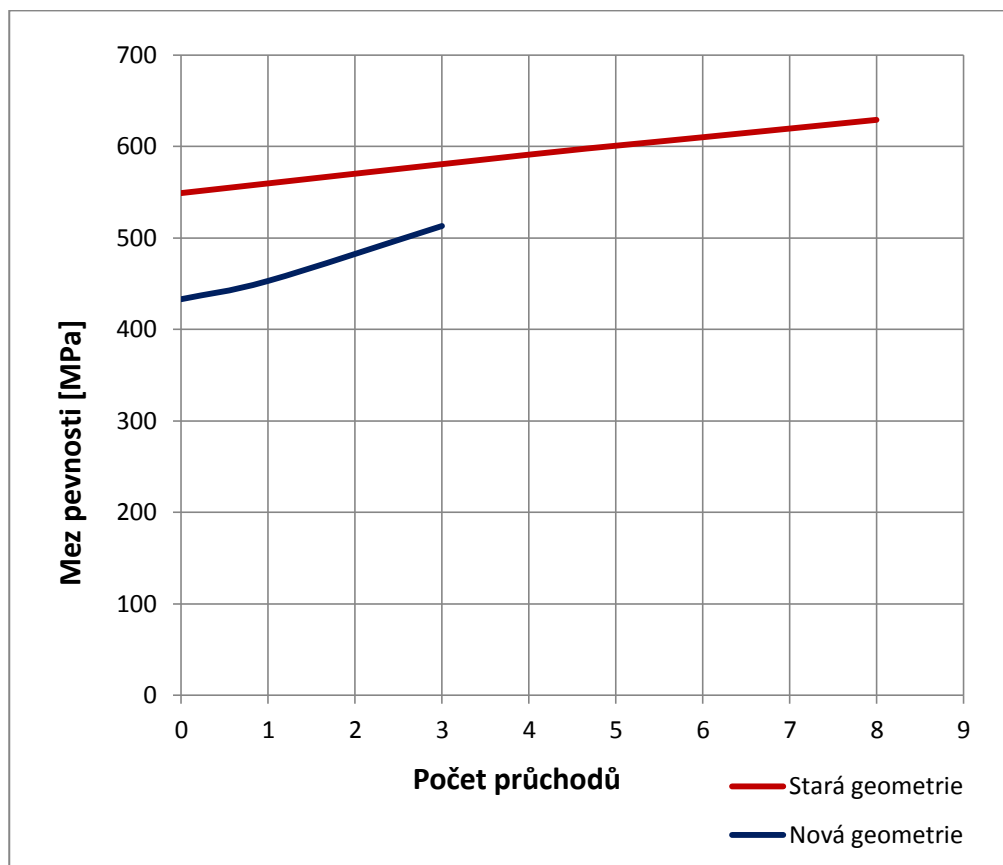
Mechanické vlastnosti oceli CK55 po průchodu zařízením s novou geometrií jsou uvedeny v tab. 18. Po prvním průchodu dosáhl nárůst meze kluzu 32% (94MPa) a meze pevnosti 5% (o 20 MPa) oproti výchozímu stavu. Po třech průchodech dosáhl nárůst meze kluzu 60% (174MPa) a meze pevnosti 19% (80MPa) oproti původnímu stavu (viz obr. 13). Při měření vzorků po druhém a čtvrtém průchodu došlo k předčasnému lomu, výsledky jsou tedy nekorektní. Uvedená mez kluzu po čtvrtém průchodu je pouze informativní.

7.3 Porovnání výsledků dosažených po průchodu oceli CK55 zařízením s nástrojem se starou a novou geometrií

Po čtvrtém průchodu oceli CK55 zařízením se starou geometrií bylo dosaženo zvýšení meze pevnosti o 42MPa (o 7,5% oproti původnímu stavu). Při použití nové geometrie nástroje stačily 3 průchody zařízením k navýšení meze pevnosti o 80Mpa (18,5% oproti původnímu stavu). Je zřejmé, že zavedením nové geometrie došlo k zefektivnění metody pro ocel CK55. Na obr. 14 je uveden pro porovnání graf závislosti změny meze pevnosti oceli CK55 na počtu průchodů zařízením se starou a novou geometrií.

Výsledky mechanických zkoušek jsou orientační v důsledku provedení menšího počtu experimentů.

Po průchodu oceli CK55 tvářecím zařízením s původní geometrií došlo k nárůstu meze kluzu o 31% (118MPa) oproti původnímu stavu. Po třech průchodech zařízením s novou geometrií nástroje bylo dosaženo zvýšení meze kluzu o 60% (174 MPa) oproti výchozímu stavu. Tímto byla prokázána oprávněnost použití nové geometrie tvářecího nástroje, kdy se nám jedná zejména o dosažení zvýšení meze kluzu po jednotlivých průchodech nástrojem. Dále se jedná o možnost snížení počtu průchodů pro dosažení potřebné velikosti zpevnění materiálu. Bude proto provedeno další rozšíření experimentů.



Obr. 14 Graf závislosti meze pevnosti na počtu průchodů pro novou a starou geometrii nástroje

8 Závěr

Bakalářské práce se zabývá výběrem vhodných materiálů pro metodu DRECE, s novou geometrií tvářecího nástroje, s cílem zvýšení jejich výchozích mechanických vlastností. Byl ověřován vliv počtu průchodů polotovaru (pásu plechu) tvářecím zařízením na změnu mechanických vlastností.

V první etapě experimentálních prací bylo provedeno měření tvrdosti na materiálu na mosaz ZnCu37 a oceli S355 J2C ve výchozím stavu a po jednotlivých průchodech. U mosazi došlo po prvním průchodu k podstatnému zvýšení hodnot tvrdosti – o 49% oproti původnímu stavu. U oceli bylo dosaženo zvýšení tvrdosti po třech průchodech o 22% oproti výchozímu stavu. Je nutno zdůraznit, že se jedná o vstupní (orientační) výsledky měření.

Provedením tahových zkoušek byly vyhodnoceny mechanické vlastnosti uvedených materiálů (ZnCu37, S355 J2C). Jedná se především o změnu meze kluzu po jednotlivých průchodech tvářecím zařízením. Z důvodu malého počtu experimentů nebylo provedeno vyhodnocení mechanických vlastností u tohoto typu oceli a mosazi.

V poslední části byl zkoumán vliv nové geometrie tvářecího zařízení na výsledné mechanické vlastnosti oceli CK55 jednotlivých průchodech. Bylo zjištěno, že po třech průchodech oceli CK55 zařízením s novou geometrií dochází k nárůstu meze kluzu o 60% (174 MPa). U nástroje s původní geometrií nebylo dosaženo uvedeného v ani po šesti průchodech tvářecím zařízením. Tímto je prokázána efektivita použití nástroje s novou geometrií.

Pro upřesnění dosažených výsledků bude zapotřebí provést další experimentální práce, které budou prováděny v laboratořích katedry mechanické technologie fakulty strojní VŠB – TUO.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Stanislavu Ruzovi, CSc., Ing. Michalovi Salajkovi a Ing. Ondřeji Hilšerovi z VŠB-TU Ostrava za pomoc při provádění experimentu a při řešení bakalářské práce.

Seznam použité literatury

- [1] KOBAYASHI, M. aj: Research and Development of Superplastic Materials ,Recent Progresses and Future Prospects,' In: Metallurgical Transactions 18A, 1987
- [2] Y.Inwahashi, J.Wang, Z.Horita, M.Nemoto, T. G. Langdon, *Principle of equal-channel angular pressing for processing of ultra-fine grainend materiále*, Scripta Materialica, vol.35,1995, pp.143-147
- [3] Technologie DRECE: CONFORM. *Nové nekonvenční technologie* [online]. [cit.2014-12-18]. Dostupné z: <http://www.novenekonvencitechnologie.cz/?id=2>
- [4] Microstructure evolution in magnesium alloy AZ31 during cyclic extrusioncompression. *Microstructure evolution in magnesium alloy AZ31 during cyclic extrusion compression* [online]. 2007 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838807016477>
- [5] Microstructure and mechanical properties of Mg–Si alloys processed by cyclic closed die forging. *Microstructural evolution over a large strain range in aluminium deformed by cyclic-extrusion* [online]. 2012 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: http://www.yxabcn.com/download/2014/01_en/09-p0066.pdf
- [6] RUSZ, S. - MALANÍK, K. - KEDROŇ, J. - SKOTNICOVÁ, I. *Nové poznatky z vývoje a zkušebního provozu prototypového zařízení DRECE: sborník příspěvků mezinárodní konference NANOCON, Rožnov pod Radhoštěm 20. - 22. října 2009* [online],Dostupné z: http://www.nanocon.eu/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/019.pdf
- [7] J.H. Lee, I.H. Son, Y.T. Im, Finite element investigation of equal channel angular extrusion process, *Materials Transactions*, The Japan Institute of Metals 45 (2004) 2165-2171.
- [8] Song, L. , Yuan, Y. and Yin, Z. (2013) Microstructural Evolution in Cu-Mg Alloy Processed by Conform.*International Journal of Nonferrous Metallurgy*, 2, 100-105. doi: [10.4236/ijnm.2013.23014](https://doi.org/10.4236/ijnm.2013.23014).
- [9] Chih-Chun Hsieh, Ming-Che Chen, and Weite Wu, “*Mechanical Property and Fracture Behavior of Al/Mg Composite Produced by Accumulative Roll Bonding Technique*,” *Journal of Composites*, vol. 2013, Article ID 748273, 8 pages, 2013. doi:10.1155/2013/748273

- [10] HYUK SHIN, Dong, Jong-Jin PARK, Yong-Seog KIM a Kyung-Tae PARK. Constrained groove pressing and its application to grain refinement of aluminum. *Constrained groove pressing and its application to grain refinement of aluminum* [online]. 2001, č. 1 [cit. 2014-12-18]. DOI: A328 (2002)98–103. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509301016653#>
- [11] Reactive powder metallurgy. *Institut Néel* [online]. 2012 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://neel.cnrs.fr/spip.php?article2816>
- [12] RUSZ S., MALANÍK, K., DUTKIEWICZ, J., ČÍZEK, L., DONIČ, T., KEDROŇ, and TYLŠAR, S. New design of the forming equipment DRECE for obtaining UFG structures in strip of sheet, *Archives of Materials Science and Engineering*, Vol. 42, April 2010, p. 111-118, ISSN 1897-2764
- [13] Vyhodnocení zpracování pásů slitin na bázi Cu procesem DRECE. *Vyhodnocení zpracování pásů slitin na bázi Cu procesem DRECE*. 2011, (1).
- [14] RUSZ S., MALANÍK, K., DUTKIEWICZ, J., ČÍZEK, L., DONIČ, T., KEDROŇ, J. and TYLŠAR, S. New design of the forming equipment DRECE for obtaining UFG structures in strip of sheet, *Archives of Materials Science and Engineering*, Vol. 42, April 2010, p. 111-118, ISSN 1897-2764