

Výroba a simulace plechových dílů plošným tvářením

Bc. Jan Řezníček

Diplomová práce
2023

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jan Řezníček
Osobní číslo:	T21811
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Výroba a simulace plechových dílů plošným tvářením

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii na dané téma.
2. Výběr plechů pro hluboké tažení.
3. Provedení výroby dílů s různými podmínkami hlubokého tažení plechů.
4. Simulace tváření v programu Autoform.
5. Vyhodnocení získaných výsledků.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 9788021447479.

HU, Ping, Ning MA a Yi-guo ZHU. Theories, methods and numerical technology of sheet metal cold and hot forming: analysis, simulation and engineering applications. London: Springer, [2013], xiv, 210 s. Springer series in advanced manufacturing. ISBN 978-1-4471-4098-6.

WANG, Darren, ed. Handbook of metal forming process. New York: NY research press, [2015], vi, 212 s. ISBN 978-1-63238-253-5.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem v diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta: Jan Řezníček

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá technologií plošného tváření se zaměřením na hluboké tažení plechů. V teoretické části jsou uvedeny základní principy a vznikající děje při tváření. Dále je zde rozdělení tváření podle jednotlivých kritérií. Z pohledu plošného tváření jsou popsány jednotlivé technologie s důrazem na hluboké tažení včetně přiblížení základní problematiky hlubokého tažení. Další důležitou částí jsou mechanické zkoušky plechů, kde jsou uvedeny jednotlivé zkoušky včetně principů a využití. Poslední část teorie pojednává o materiálech se zaměřením na skupiny použité v měřeních a základní aplikace simulací hlubokého tažení.

V praktické části je pomocí zkoušky dle Erichsena a nástrojů ze zkoušky dle Nakajimi zjišťována tvářitelnost vybraných materiálů a průběh deformací při jejich tažení. Dále jsou na základě těchto zkoušek vybrány dva materiály, u kterých je zkoumán vliv přidržovací síly a použití brzdící drážky. Průběh zkoušky je poté simulován v programu AutoForm R8. Po zhotovení simulací jsou jejich výsledky porovnány s výsledky reálných měření.

Výstupem této práce je vyhodnocení chování jednotlivých materiálů a jejich tloušťek při zkouškách tvářitelnosti. Jsou popsány změny, které vytváří rozdílná nastavení přidržovací síly a brzdící drážka na tvářený materiál. Následuje srovnání výsledků z reálných zkoušek a simulací.

Klíčová slova: hluboké tažení, Erichsen, Nakajima, AutoForm, FLD diagram, přidržovací síla

ABSTRACT

This work deals with the technology of sheet metal forming, with a focus on deep drawing. The theoretical part presents the basic principles and processes involved in forming, as well as the classification of forming based on various criteria. From the perspective of sheet metal forming, various technologies are described with an emphasis on deep drawing including an overview of the basic issues related to deep drawing. Another important part of the work concerns the mechanical testing of sheets, where various tests are described, including their principles and applications. The final part of the theory deals with materials, with a focus on groups used in measurements and basic applications of deep drawing simulations.

In the practical part, the formability of selected materials and the deformation behavior during their drawing are determined using the Erichsen test and tools from the Nakajima test. Furthermore, based on these tests, two materials are selected for studying the influence of holding force and the use of a brake pad. The testing process is simulated using the AutoForm R8 program. After conducting simulations, the results are compared with the results of real measurements.

The output of this work is an evaluation of the behavior of individual materials and their thickness during formability tests. The changes created by different holding force settings and the use of a brake pad on the formed material are described. This is followed by a comparison of the results from real tests and simulations.

Keywords: deep drawing, Erichsen, Nakajima, AutoForm, FLD diagram, holding force

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a ochotu při zpracování mé diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TVÁŘENÍ	13
1.1 NAPĚTÍ.....	13
1.2 PLASTICKÁ DEFORMACE.....	14
1.2.1 Průběh plastické deformace	14
1.3 ROZDĚLENÍ TVÁŘENÍ.....	15
1.3.1 Dělení dle teploty tváření	16
1.3.2 Dělení dle působení vnějších sil.....	17
2 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ	18
2.1 STRÍHÁNÍ.....	18
2.2 OHÝBÁNÍ.....	19
2.3 HLUBOKÉ TAŽENÍ	21
2.3.1 Defekty při hlubokém tažení	21
2.3.2 Výroba rotačních výtažků	22
2.3.3 Výroba nerotačních výtažků	24
2.3.4 Drsnost povrchu a mazání	25
2.4 PROGRESIVNÍ A TRANSFEROVÉ TVÁŘENÍ	25
3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ PLECHŮ	26
3.1 ZKOUŠKA TAHEM	26
3.1.1 Princip zkoušky	26
3.1.2 Zkušební těleso.....	27
3.1.3 Anizotropie materiálu.....	27
3.1.4 Exponent deformačního zpevňování.....	27
3.2 ZKOUŠKY ANIZOTROPIE PLECHŮ (KALÍŠKOVACÍ)	28
3.2.1 Zkouška kalíškovací.....	28
3.3 STANOVENÍ KŘIVKY MEZNÍ TVÁŘITELNOSTI.....	29
3.3.1 Princip vytvoření FLC křivky	29
3.3.2 Zkouška dle Nakajimy a Marciniaka	30
3.4 ZKOUŠKA HLOUBENÍM DLE ERICHSENA	30
4 MATERIÁLY	31
4.1 NÍZKOUHLÍKOVÉ PLECHY	31
4.1.1 Chemické složení	31
4.1.2 Vliv jednotlivých prvků	32
4.1.3 Mikrostruktura.....	32
4.2 KOROZIVZDORNÉ OCELI	32
4.2.1 Mikrostruktura korozivzdorných ocelí.....	33

4.3	SLITINY HLINÍKU	33
5	SIMULACE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ.....	34
5.1	APLIKACE SIMULAČNÍHO SOFTWARE	34
5.1.1	Proveditelnost.....	34
5.1.2	Aplikovaná technologie	35
5.1.3	Optimalizace probíhající výroby.....	36
5.2	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	36
5.2.1	Materiálové vstupy	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
6	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	39
7	VÝBĚR PLECHU PRO HLUBOKÉ TAŽENÍ	40
7.1	OCEL DC01	40
7.2	KOROZIVZDORNÁ OCEL 1.4301	40
7.3	HLINÍK EN AW-1050A H24.....	41
7.4	SLITINA HLINÍKU EN AW-5754 H111.....	41
8	MĚŘÍCÍ VYBAVENÍ	43
8.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ BUP 600	43
8.2	ZKUŠEBNÍ NÁSTROJE	43
8.2.1	Zkušební nástroj pro zkoušku dle Erichsena.....	44
8.2.2	Nástroje pro měření FLD	44
9	PRŮBĚH ZKOUŠEK.....	45
9.1	PRVNÍ FÁZE: ZKOUŠKA DLE ERICHSENA A S POMOCÍ NÁSTROJŮ NA ZKOUŠKU DLE NAKAJIMI	45
9.1.1	Upnutí nástrojů.....	45
9.1.2	Nastavení stroje pro zkoušku dle Erichsena.....	46
9.1.3	Nastavení pro zkoušku s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi.....	46
9.1.4	Průběh měření u zkoušky dle Erichsena	47
9.1.5	Průběh měření s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi.....	47
9.2	DRUHÁ FÁZE: ZKOUŠKY NA NÁSTROJÍCH PRO ZKOUŠKU DLE NAKAJIMI S BRZDICÍ DRÁŽKOU A BEZ NÍ	49
9.2.1	Nástroje	49
9.2.2	Nastavení stroje	49
9.2.3	Průběh zkoušky s brzdící drážkou.....	49
9.2.4	Průběh zkoušky bez brzdící drážky.....	51
10	VÝSLEDKY ZKOUŠEK.....	52
10.1	VÝSLEDKY ZKOUŠKY DLE ERICHSENA	52
10.1.1	Naměřené hodnoty	52
10.1.2	Vizualizace dat	55
10.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ S POMOCÍ NÁSTROJŮ ZKOUŠKY DLE NAKAJIMI.....	58
10.2.1	Vizualizace dat	59

10.3	ZKOUŠKA NA NÁSTROJI S BRZDICÍ DRÁŽKOU A BEZ NÍ SE ZMĚNOU PŘIDRŽOVACÍ SÍLY	61
10.3.1	Naměřené hodnoty s použitím brzdící drážky	61
10.3.2	Vizualizace dat měření s brzdící drážkou	62
10.3.3	Naměřené hodnoty bez použití brzdící drážky.....	63
10.3.4	Vizualizace dat měření bez brzdící drážky	65
11	SIMULACE TAŽENÍ V PROGRAMU AUTOFORM R8.....	67
11.1	NASTAVENÍ PODMÍNEK V SIMULACI	67
11.1.1	Model simulované součásti	67
11.1.2	Volba materiálu	68
11.1.3	Výběr stroje a rozvržení jednotlivých operací	68
11.1.4	Nastavení přidržovače	69
11.1.5	Výběr polotovaru	70
11.1.6	Definování brzdící drážky	70
11.2	VÝSLEDKY SIMULACÍ	70
11.2.1	Vyhodnocení simulace materiálu 1.4301 s brzdící drážkou	71
11.2.2	Vyhodnocení simulace materiálu DC01 s použitím brzdící drážky.....	73
11.2.3	Vyhodnocení simulace materiálu DC01 bez použití brzdící drážky.....	74
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	77
	ZÁVĚR	80
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	85
	SEZNAM OBRÁZKŮ	86
	SEZNAM TABULEK.....	89
	SEZNAM PŘÍLOH.....	90

ÚVOD

Plošné tváření, potažmo hluboké tažení, jsou velmi rozšířenými technologiemi v dnešním průmyslu. Mezi jejich výhody patří možnost výroby velkých skořepinových dílů s nízkou hmotností a relativně vysokou přesností a tuhostí. Uplatnění lze hledat zejména v sériové a velkosériové výrobě, kde jsou tyto technologie rozšířeny díky své vysoké produktivitě. Nevýhodou však mohou být vysoké pořizovací náklady na nástroje, potažmo čas jejich výroby, který prodlužuje dobu uvedení výrobku na trh.

Kvůli nevýhodám plošného tváření začaly v druhé polovině 20. století vznikat technologické zkoušky, na základě kterých je možné predikovat chování materiálu při plošném tváření. Tyto zkoušky výrazně pomohly při konstrukci jak nástrojů, tak i samotných dílů, avšak stále byl celý proces velmi závislý na praktických zkušenostech konstruktéra získaných metodou „pokusů a omylů“.

Z tohoto důvodu se na přelomu tisíciletí začaly zejména v automobilovém průmyslu využívat simulační softwary, které napomáhají k zefektivnění nejen v konstrukci nástrojů a výrobě dílů, ale pomáhají také optimalizovat díl při jeho konstrukci. Díky těmto softwarům a vývoji nových skupin materiálů dokázaly automobilové společnosti navzdory snižování hmotnosti karoserie zvýšit její bezpečnost.

I. TEORETICKÁ ČÁST

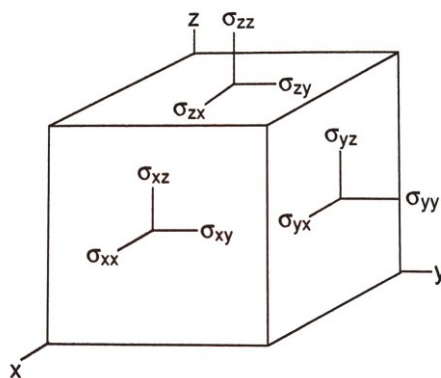
1 TVÁŘENÍ

Tváření je proces, který je charakteristický velkými plastickými deformacemi. Tyto deformace jsou způsobeny vlivem vnějších sil, které působí na tvářený materiál a mění tak trvale jeho tvar a rozměry. Dochází k překročení meze kluzu bez porušení soudržnosti, což způsobí trvalou deformaci v požadovaném směru a velikosti. Tento děj je doprovázen fyzikálními a strukturálními změnami, které se dále projevují v mechanických vlastnostech materiálu. U tváření se předpokládá, že díl mění tvar při zachování stejného objemu. [1]

Technologie tváření je využívána zejména díky své vysoké produktivitě výroby a možnosti měnit mechanické vlastnosti dílu při zachování hmotnosti, což jsou důležité aspekty v době, která klade vysoký důraz na ekologii a ekonomiku výroby. Kvůli relativně vysokým vstupním nákladům na výrobu náradí je technologie nejčastěji využívána pro sériovou a hromadnou výrobu. [2]

1.1 Napětí

Napětí je definováno jako intenzita síly v bodě. Existuje 9 složek napětí (Obr. 1). V normálových složkách napětí působí síla kolmo k rovině, tedy namáhání v tahu nebo tlaku. U složky smykového napětí působí síla rovnoběžně s rovinou. Složky jsou označeny symbolem σ a dále pak definovány dvěma indexy. První označuje rovinu, na kterou síla působí a druhý směr síly. Opakované indexy (např. σ_{xx} , σ_{yy}) označují normálové napětí. Smíšené indexy označují smykové napětí. V případech, kdy není vyžadována tenzorová rotace, se používá pro normálová napětí jeden dolní index a pro smyková napětí označení τ , tedy například σ_x místo σ_{xx} a τ_{xy} oproti σ_{xy} . [3]



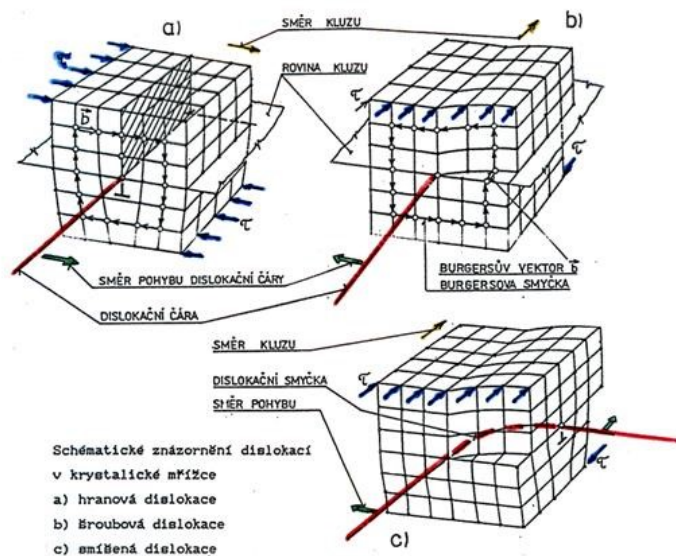
Obr. 1 Složky napětí působící na nekonečně malý prvek [3]

1.2 Plastická deformace

Vůči vnějším silám, které působí na těleso, působí síly vnitřní. Tyto síly brání materiál proti přetvoření. Výsledek tváření tak neovlivňují pouze vnější síly, ale také vlastnosti materiálu, které ovlivňují vnitřní síly (např. teplota, krystalická mřížka). Při plastické deformaci na rozdíl od pružné dochází k trvalé deformaci, které se vyznačuje posunutím atomů o větší vzdálenost, než je mřížková konstanta. Plastická deformace nelze způsobit normálovým napětím σ , ale pouze napětím smykovým τ . K trvalému posunutí atomů dojde až v případě překročení hodnoty kritického smykového napětí. [4]

1.2.1 Průběh plastické deformace

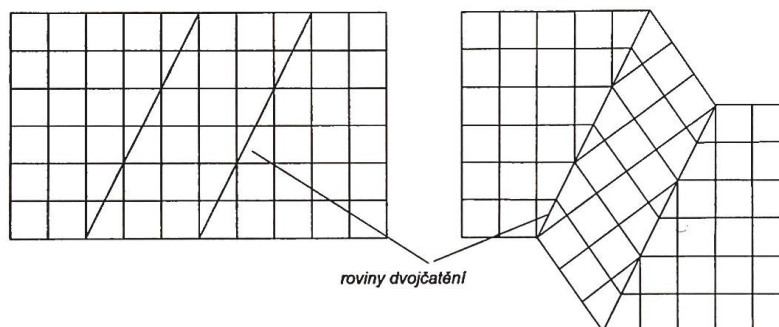
K plastické deformaci nedochází přesunem všech atomů v aktivní rovině, což by vyžadovalo vysoké hodnoty smykových napětí. Ve struktuře reálných kovů krystalická mřížka obsahuje velké množství poruch (např. dislokací), které se působením kritických smykových napětí uvedou do pohybu po kluzné rovině (Obr. 2). Ke kritickému smykovému napětí dojde ve chvíli, kdy osová napětí docílí meze kluzu a dojde k němu v rovině pod úhlem 45° vůči působícímu napětí. [4, 5]



Obr. 2 Roviny kluzu na základě typu dislokace [6]

Při jednoduchém (translačním) kluzu v počátečním stádiu vzniká plastická deformace probíhající podle jednoho systému kluzových čar. Dochází k minimálnímu porušení krystalové mřížky a malému zpevnění. Při vzniku dalšího zatěžování dochází k složitějšímu kluzu, kdy dochází k natažení kluzových rovin, zvýšení deformačního odporu, zpevnění, vzniku mikroskopických trhlin a fragmentaci krystalů. [5]

Další způsob, při kterém dochází k plastické deformaci je takzvané dvojčatění (Obr. 3). Dochází zde k přesunutí atomů pouze o meziatomární část vzdálenosti a prokluzem vznikne oblast mřížky zrcadlově souměrná s neposunutou mřížkou podle roviny dvojčatění. K tomuto mechanismu dochází nejčastěji při nižších teplotách a vysokých rychlostech deformace. U vysokolegovaných ocelí a slitin mědi k dvojčatění dochází i při běžných rychlostech. [4, 7]



Obr. 3 Schéma krystalické mřížky při dvojčatění [7]

1.3 Rozdělení tváření

Tváření je definováno normou DIN 8580 jako výroba prostřednictvím trojrozměrné nebo plastické úpravy tvaru při zachování jeho hmoty a soudržnosti materiálu. Procesy tváření jsou kategorizovány jako procesy bez třísek. [8]

Tabulka 1 Rozdělení výrobních technologií dle DIN 8580 [9]

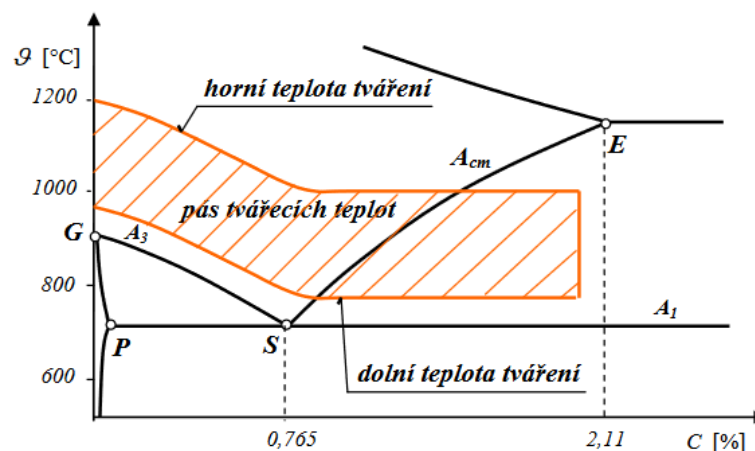
Vztah k soudržnosti částic materiálu				
Vytváření	Uchování	Snižování	Zvyšování	
Primární tvarování	Změna tvaru			Povlakování
	Tváření	Obrábění	Spojování	
	Změna vlastností materiálu			
	Přeskupování částic materiálu	Odstranění částic materiálu	Přidání částic materiálu	

Dále jsou dle norem DIN 8582 děleny jednotlivé typy tváření dle podmínek, ke kterým v tvářeném materiálu dochází (tlak, tah a tlak, ohyb, smyk). Nejčastěji je však tváření členěno dle dvou hledisek. První typ rozdělení je dle teploty, druhý typ dle působení vnějších sil. [6, 8]

1.3.1 Dělení dle teploty tváření

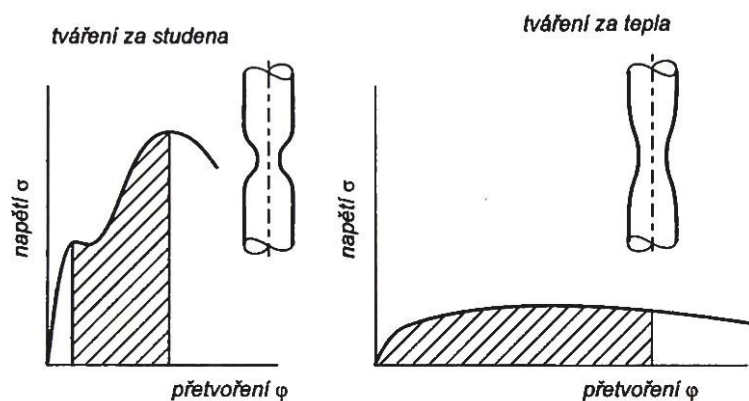
Dle teploty je tváření rozděleno na tváření za studena, kdy je teplota nižší než teplota rekrytalizační a tváření za tepla, kdy je teplota vyšší než teplota rekrytalizační. Při této charakteristice tedy primárně nezáleží na skutečné teplotě v procesu, ale rekrytalizační teplotě materiálu. Díky tomu je tváření olova při běžné pokojové teplotě tvářením za tepla a wolframu při teplotě 1200 °C stále tvářením za studena. [10]

U uhlíkových ocelí se materiál ohřívá na 250 °C až 300 °C pod solidem. Díl musí být tvářen v rozpětí tvářecích teplot (Obr. 4), má-li být proces klasifikován jako tváření za tepla. [11]



Obr. 4 Rozsah tvářecích teplot [11]

Při tváření za studena je materiál deformován do meze kluzu pružně a po jejím překročení nastává plastická deformace. Na Obr. 5 je vyznačená šrafovaním oblast využitelná pro tváření. Při tváření s významným podílem tahové složky lze oblast využít do meze pevnosti, po které se začne tvořit významný krček. U tváření za tepla je téměř zanedbatelná pružná deformace a lze využít oblast za mezí pevnosti díky tvorbě tzv. difuzního krčku. [7]



Obr. 5 Vztah při zkoušce tahem mezi napětím a přetvořením [7]

Při tváření za studena napětí po překročení meze kluzu stále roste. U tváření za tepla je však po docílení meze kluzu při malých rychlostech napětí téměř konstantní, nebo se velmi rychle ustálí na určité hodnotě. [7]

Tváření za tepla je výhodné díky menší potřebné přetvárné práci. Naopak nevýhodou je menší rozměrová přesnost vlivem procesu chladnutí a nekvalitní povrch způsobený okujemi, což ve většině případů vyžaduje další operace (obrábění, tryskání). Tyto operace se značnou mírou podílejí na ceně výrobku. Typickými zástupci tváření za tepla jsou kování, protlačování či válcování za tepla. Díly tvářené za studena mají zvýšenou pevnost a sníženou houževnatost. Rozměrová přesnost a jakost výrobku je dobrá. Mezi zástupce tváření za studena patří válcování za studena, nebo tažení plechu za studena. [12, 13]

1.3.2 Dělení dle působení vnějších sil

Tváření se tak dělí na tváření plošné a objemové. Objemové tváření je charakteristické deformací ve všech třech hlavních směrech a polotovarem pro tyto operace bývá přístřih z tyče nebo sochoru. Mezi charakteristické operace objemového tváření patří válcování, kování, nebo protlačování. U plošného tváření převládají deformace ve dvou směrech. Polotovarem je přístřih z plechu. Základní operace plošného tváření jsou tažení, stříhání, ohýbání apod. [6, 10]

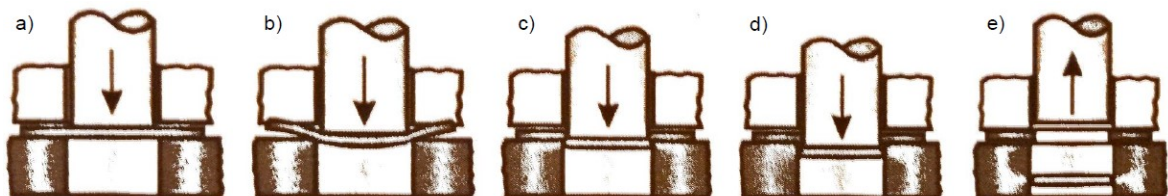
2 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ

Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, v plošném tváření je třetí hlavní deformace zcela zanedbatelná. To znamená, že dochází u polotovarů, který bývá u plošného tváření ve většině případů plech nebo tenkostěnný profil, k podstatné změně tvaru polotovaru při malé změně tloušťky. [1, 10]

Plošné tváření je nedílnou součástí dnešní výroby. Vyrábějí se tak díly s nižším namáháním a přesnějšími rozměry, které získávají svou tuhost prostorovým členěním. Díky tomu jsou díly lehké a přispívají tak ke snížení hmotnosti koncového výrobku. Velkou výhodou plošného tváření je možnost kombinovat jednotlivé typy operací do sdružených nástrojů nebo linek a docílit tak výrazné efektivity procesu.

2.1 Stříhání

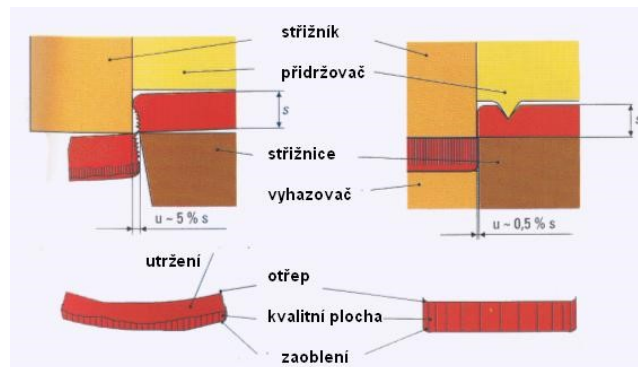
Stříhání spočívá v dělení materiálu protilehlými noži. Proces stříhání zahrnuje jednotlivé fáze (Obr. 6), kdy se nejprve střížník dotkne stříhaného materiálu (a), dále je působena razníkem elastická a následně plastická deformace (b). Při postupující deformaci dochází ke stříhu (c), který následuje dolomení vznikající z obou stran plechu (d). Po oddělení materiálu střížník vyjíždí ze střížnice (e). [14,15]



Obr. 6 Schéma procesu stříhání [15]

Při konstrukci nástroje je nutné brát v úvahu, zda je prostřihnutá část materiálu výrobek nebo odpad. Obě části plechu po stříhání vykazují jiné parametry střížné hrany a jinou deformaci materiálu. Například při výrobě dílů s vysokými požadavky na rovinnost je nutné tvar dílu postupně obstrihnout, jelikož by byl díl v případě prostřihnutí do střížnice vypouklý. Tento jev je dán pýchováním materiálu do střížnice v prvních fázích procesu. Hlavní faktory ovlivňující kvalitu stříhu jsou střížná vůle, geometrie břitů, opotřebení břitů, metoda stříhání, koncepce nástroje.

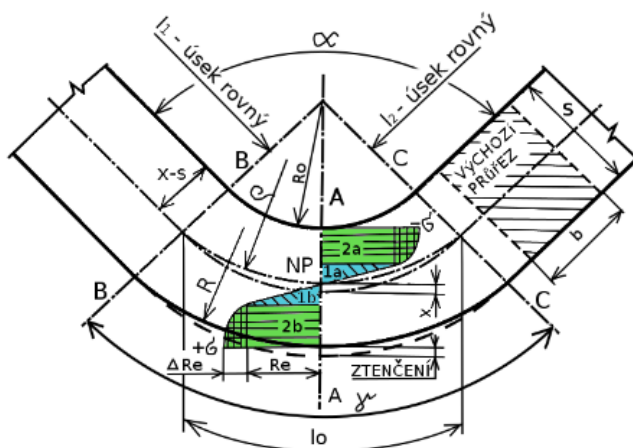
Další možností výroby dílů bez deformace je tzv. přesné stříhání s tlačnou hranou (Obr. 7), kdy je před samotným stříhem vtlačena do materiálu tlačná hrana, která způsobí oddělení smykem v celé tloušťce materiálu. Tato technologie je vhodná pro plechy o větší tloušťce. Díly mají velmi rovný a jemný povrch střížné hrany. Dále lze tímto způsobem docílit lepších přesnějších rozměrů. Nevýhodou této technologie je větší investice do nástroje, větší odpad při výrobě a vyšší pořizovací cena strojů. [1]



Obr. 7 Stříhání s nátláčnou hranou [6]

2.2 Ohýbání

Ohýbání je tváření dílů, kdy se z plechů, pásů, trubek, drátů a tyčí vyrábí i několika ohyby úhlové či prstencové výrobky. Plastický stav zakreslen na Obr. 8 je u ohybu vyvolán ohybovým zatížením. Materiál je na jedné straně natahován v ohybnici, zatímco na druhé straně je ohybníkem stlačován. Přibližně uprostřed se nachází neutrální osa, kde se délka materiálu nemění. Poloha této osy se mění s poloměrem ohybu a profilem materiálu. Znalost této polohy hraje velký vliv při zjišťování velikosti polotovaru. [14, 16]



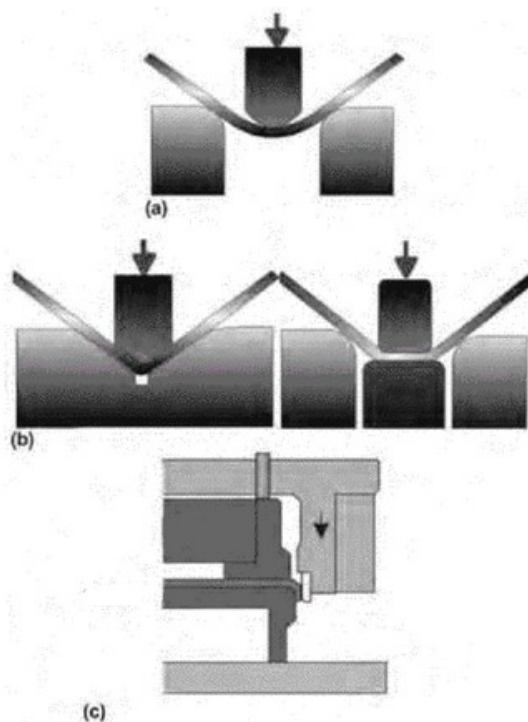
- 1a, 1b - oblast pružné deformace,
- 2a, 2b - oblast plastické deformace se zpevněním ΔRe ,
- x - součinitel posunutí neutrální plochy (NP),
- Ro - poloměr ohybu,
- lo - délka ohnutého úseku v NP
- ρ - poloměr neutrální plochy,
- γ - úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180^\circ - \alpha^\circ$),
- α - úhel ohybu,
- s - tloušťka materiálu,
- b - šířka materiálu

Obr. 8 Schéma procesu ohýbání [17]

Velkým problémem při ohýbání je odpružení materiálu, které má zásadní vliv na finální přesnost výrobku. Velikost odpružení je dána různými faktory jako je typ materiálu, jeho tloušťka, poloměr ohybu, úhel ohybu, směr vláken, nebo typ ohýbacích nástrojů. [1]

Rozdělení typů ohýbání je dle kontaktu materiálu s nástrojem na Obr. 9:

- Volný ohyb (a) – Zde je materiál podepřen pouze na okrajích a úhel ohybu je dán zdvihem beranu. Při tomto způsobu zpravidla dochází k největšímu zpětnému odpružení.
- Ohýbání se zpevněním (b) – Materiál je v počáteční fázi ohýbán volně, avšak následně je vtlačen do dutiny ohybnice. Dojde ke zpevnění materiálu a odpružení lze tak minimalizovat.
- Ohýbání přes okraj (c) – Materiál je z velké části silou přidržen na ploše nástroje, zatímco okraj je nucen ohýbat se přes okraj ohybnice. Tento způsob se často využívá ve sdrúžených nástrojích. [2, 16]



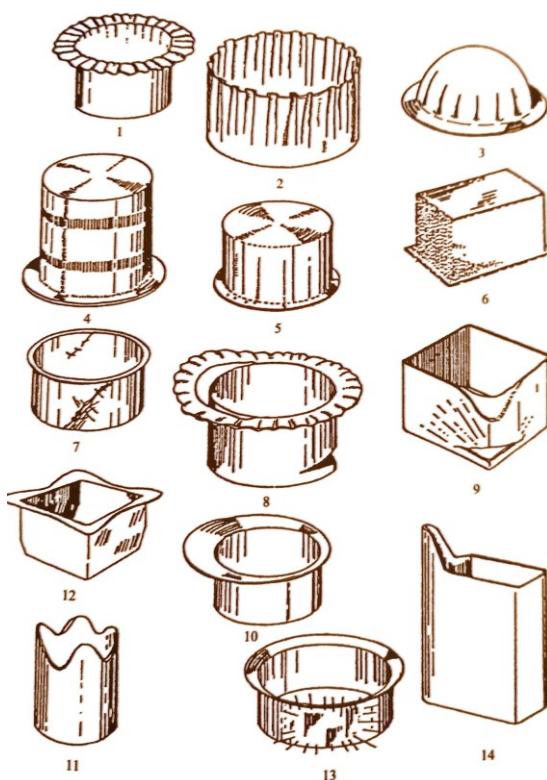
Obr. 9 Schéma typů ohybu [2]

2.3 Hluboké tažení

Při hlubokém tažení je polotovar v podobě přístřihu plechu tlačěn tažníkem do a skrze tažnici tak, aby vytvořil dutou součást, která má v podstatě stejnou tloušťku jako měl původní plech. Pro všechny procesy hlubokého tažení je charakteristické nepřímé působení tažné síly na deformační zónu. Tažná síla působí přes tažník na dno taženého dílu a následně je přenesena stěnami do zóny deformace. Ve stěnách výrobku působí tedy velké napětí. [19, 20]

2.3.1 Defekty při hlubokém tažení

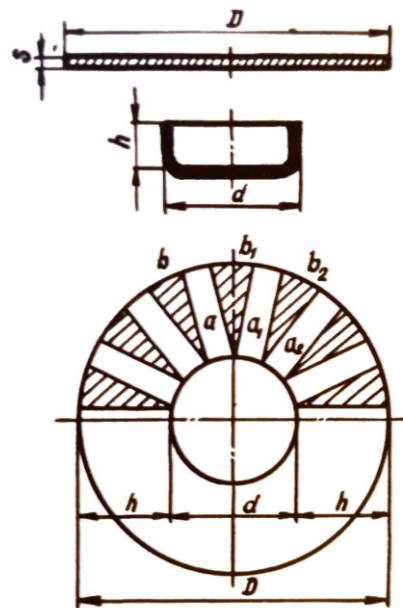
Vlivem velkého namáhání, kterému je materiál vystaven, mohou vznikat na výrobcích, ale i na nástroji různé typy vad (Obr. 10). Tyto vady nesouvisí pouze s protahovacími procesy, které mají podstatný vliv na typ vady 3, 4 a 8, ale mohou být způsobeny špatnou geometrií dílu (1, 2, 3, 6, 7), nebo špatnou konstrukcí nástroje (5, 9, 10, 14). Pro získání dílů bez defektu je nutné typy těchto defektů znát včetně jejich příčiny a pokud možno jim předcházet již při konstrukci dílu a nástroje. [18]



Obr. 10 Typy vad při hlubokém tažení [18]

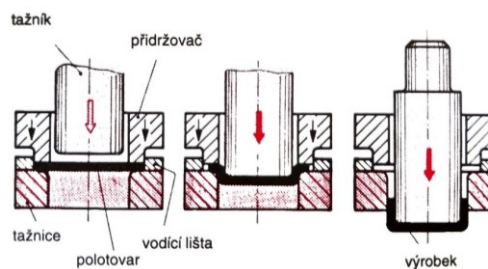
2.3.2 Výroba rotačních výtažků

Na Obr. 11 lze vidět výtažek válcové nádoby, který je tažen metodou volného tažení. Ploché přístřih plechu o průměru D a tloušťky s se mění na válcovou nádobu o průměru d a výšce h . Při tažení dochází k velkému přemístování materiálu. Objem materiálu z vyšrafovaných trojúhelníků b je třeba přesunout, což ovlivňuje následnou výšku celého výtažku. Ve většině případů způsob volného tažení vede k tvorbě vln a přeložek, které je nutné eliminovat. [1, 16]



Obr. 11 Válcový výtažek při prostém tahu

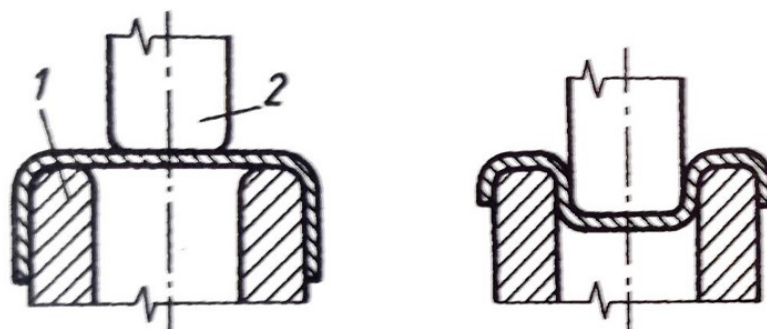
K eliminování tohoto jevu je použit přidržovač (Obr. 12). Přidržovač tlačí materiál směrem k tažnici a zamezuje tak zvlnění materiálu. Je nutné, aby byla síla, kterou působí přidržovač na materiál, vypočítána pro každou aplikaci zvlášť. Špatné dimenzování této síly hrozí, že se materiál bude stále vlnit nebo dojde k prasknutí dílce. Díky tomu výrobci hydraulických lisů velmi často do stolu lisu zabudovávají sloupky napojené na hydraulický okruh, které umožňují měnit sílu přidržení i v průběhu operace. [2]



Obr. 12 Schéma tažení s přidržovačem [13]

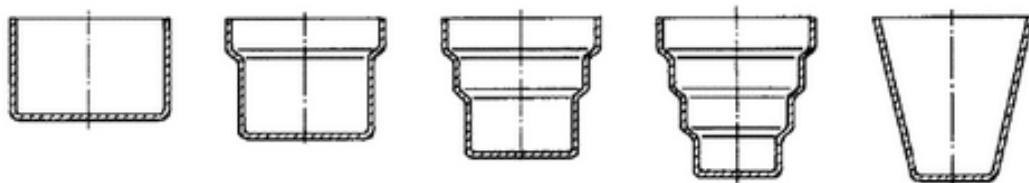
K největšímu tváření dochází v objemu na obvodě polotovaru, kde mez kluzu velmi rychle roste a s tím prudce klesá tažnost. Je nutné brát v úvahu, že je možné vyrobít na jeden tah pouze výrobky s mělkým dnem. Ve většině případů je nutné tažení rozdělit do více operací tak, aby poměr mezi počátečním a konečným průměrem výtažku nebyl příliš vysoký. V některých případech je nutné mezi operacemi provést rekrystalizační žíhání. [21]

Běžně se výrobek při následující operaci dá do nástroje s tažníkem a tažnicí o menším průměru a větší hloubce, kde je výrobek přetažen do potřebného tvaru. Jednou z dalších metod pro další operace tažení je zpětné tažení (Obr. 13). Při této operaci nahrazuje tažnice (1) přidržovač, kdy poloměr zaoblení tažné hrany tažníku (2) se doporučuje trojnásobně až pětinasobně větší, než je zaoblení hrany tažnice. Větším poloměrem se dosáhne lepšího tažení a menší pravděpodobnosti protržení dna. Tento způsob je vhodný pro tenké plechy a ve specifických případech lze provést zároveň s první operací, což umožňuje na jeden zdvih lisu výrobu dvou tažných operací. [21, 22]



Obr. 13 Schéma zpětného tažení [21]

Při tažení kuželových výrobků s úhlem menším než 20° je také časté využití jednoduchých válcových tažníků, postupně je tak vytažen přibližný tvar (Obr. 14), který je následně překalibrován v poslední operaci. Výsledný výrobek má proměnlivou tloušťku materiálu kvůli jednotlivým tažným operacím, avšak tento způsob je velmi výhodný z pohledu výroby tažníků. [19]



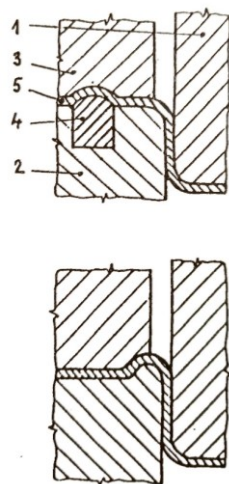
Obr. 14 Tažení kuželových výtažků [19]

2.3.3 Výroba nerotačních výtažků

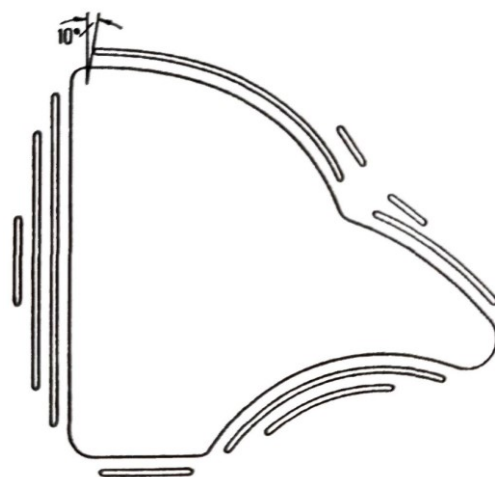
Zatímco u rotačních výtažků je snaha, aby podmínky při tahu byly konstantní po celém obvodu dílu, u nerotačních výtažků je nutné zvolit opačný postup. Kvůli nerovnoměrnosti deformace nepravidelných výtažků, jako jsou například karosářské díly, dochází často ke ztrátě stability a v některých místech se tvoří zvlnění. Díky tomu provádí úpravy nástroje pro tzv. přibrždění a urychlení toku materiálu. [16]

Mezi tyto úpravy patří například:

- lokální, nebo celkové zvýšení tlaku přidržovače,
- zvětšení plochy polotovaru pod přidržovačem,
- zastavění nebo výroba brzdících žebor do tažnice nástroje (Obr. 16). [14]



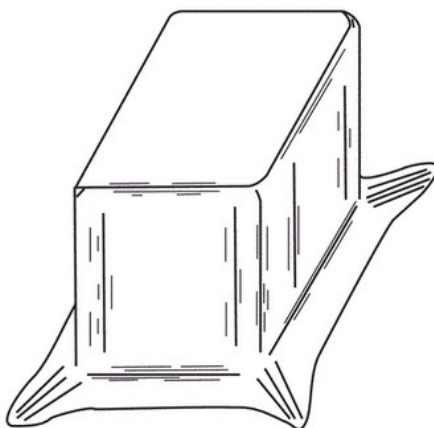
Obr. 16 Brzdící žebra (1- tažník, 2 - tažnice, 3 - přidržovač, 4 - žebro, 5- výrobek) [14]



Obr. 15 Rozložení žebor v nástroji [14]

Na Obr. 15 je ukázáno možné rozložení žebor. Je patrné, že nejvíce je potřeba materiál brzdít u rovných ploch, zatímco v rozích a malých zaobleních je materiál tažen bez žebor.

Je také nutné vhodně zvolit tvar polotovaru, jelikož v případě tažení například obdélníkové nádoby by při zvolení obdélníkového polotovaru docházelo u ostrých hran k tvorbě zvlnění a trhlin, jako je tomu na Obr. 17. Ostré rohy je tedy potřeba při tvorbě polotovaru eliminovat a nahradit je zaoblenou geometrií. Je také žádoucí, aby měl navržený díl co největší zaoblení rohů a postupné přechody mezi plochami tak, aby nedocházelo k příliš velkým lokálním pnutím. [20]



Obr. 17 Výtažek obdélníkové nádoby [23]

2.3.4 Drsnost povrchu a mazání

Drsnost povrchu nástroje a materiálu je jeden z klíčových parametrů pro tažení, který ovlivňuje tečení materiálu v nástroji. Do značné míry je drsnost ovlivněna správným výběrem mazání, které zvyšuje životnost nástroje a tvářitelnost materiálu. Při opotřebení nástroje a tvorbě defektů na jeho povrchu dochází ke změně koeficientu tření, což má za následek změny rozměrů u dílů. Dalším pozitivem vhodného mazání je rovnoměrnější rozložení tloušťky materiálu. Vhodné mazání se volí dle zpracovávaného materiálu, tvaru výrobku a dalších požadavků na díl. [24]

2.4 Progresivní a transferové tváření

V průběhu tváření při každém zdvihu lisu nebo soustavy lisů probíhá několik tvářecích operací naráz. Po provedení zdvihu se díl posune na další operaci. Tento posuv je vyvozen buď to posunem pásu, ve kterém je výrobek uchycen, nebo pomocí tzv. transferového posunutí, kdy pomocí speciálního mechanismu s úchopy, roboty či manipulátory je výrobek přemístěn do další operace. Transferový posuv se používá v případech, kdy se díly tváří z přístřihů nebo z nějakého důvodu nelze díl v pásu uchytit. V nástroji také mohou být volné operace, při kterých nedochází ke změně výrobku, ale pomáhá to při konstrukci nástroje k dobrému vedení pásu nebo dostatku místa pro všechny komponenty. [15]

3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ PLECHŮ

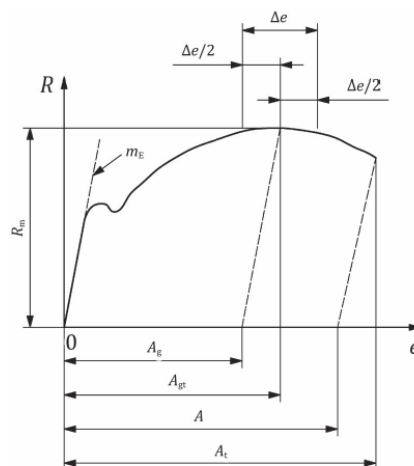
V současné praxi jsou kladeny čím dál větší nároky na predikci průběhu tváření. Díky tomu existuje mnoho zkoušek pro různé aplikace. Ty dále umožňují získat důležité vlastnosti taženého materiálu, které lze aplikovat analogicky nebo v simulačních softwarech. Je tak možné zjišťovat vhodnost materiálu pro tváření, ale také ověřovat správnost konstrukce tvářecího nástroje nebo samotného dílu.

3.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem je destruktivní zkouškou, při které je zjištěna zejména tažnost, mez pružnosti, kluzu a mez pevnosti v tahu, což jsou základní informace potřebné k hodnocení vlastností i vhodnosti materiálu pro tvářecí operace. Tato zkouška je definována normou ČSN EN ISO 6892-1, která platí pro pokojové teploty. [25]

3.1.1 Princip zkoušky

Při zkoušce se deformuje zkušební těleso obvykle do lomu za účelem stanovení jednotlivých vlastností. Tyto vlastnosti jsou běžně vyhodnoceny pomocí zkoušecího stroje, který snímá hodnoty působící síly v tahu a prodloužení zkušebního tělesa. Hodnoty jsou současně zakreslovány do diagramu (Obr. 18).



Legenda

- A tažnost [stanovená průtahoměrem nebo přímo na zkušebním tělese (viz 20.1)]
- A_p plastické prodloužení v procentech měřené průtahoměrem při maximálním zatížení
- A_{Gr} celkové prodloužení v procentech měřené průtahoměrem při maximálním zatížení
- A_t celková tažnost
- e prodloužení měřené průtahoměrem
- m_E směrnice pružné části závislosti napětí-prodloužení v procentech měřené průtahoměrem
- R napětí
- R_m mez pevnosti v tahu
- Δe rozsah plata (pro stanovení A_p , viz kapitola 17, pro stanovení A_{Gr} , viz kapitola 18)

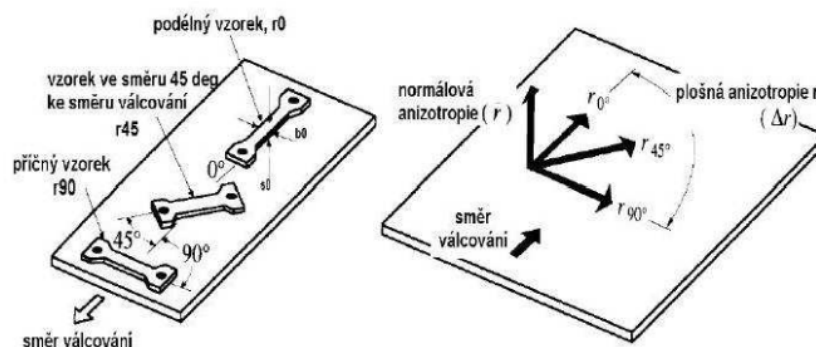
Obr. 18 Diagram tahové zkoušky [25]

3.1.2 Zkušební těleso

Zkušební tělesa jsou v případě zkoušení plechu plochá. Definována jsou dle normy ČSN 42 032, která udává zkušební tělesa pro tloušťky plechu od 0,1 do 4 milimetrů.

3.1.3 Anizotropie materiálu

U plechů platí, že získáváme rozdílné vlastnosti materiálu podle směru vláken, což je dáno postupy výroby plechů. Je proto nutné pro zjištění plošné anizotropie odebrat vzorky ve třech směrech v závislosti na směru vláken (Obr. 19), tedy pod úhly $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, v souladu s normou pro umístění a přípravu vzorků dle ČSN EN ISO 377. Následně je provedena tahová zkouška dle ČSN EN ISO 6892-1. Z těchto zkoušek lze následně zjistit hodnoty plošné a normálové anizotropie. Plošná anizotropie je důležitá pro určení tzv. cípovitosti, která ovlivňuje kraje výtažku a tvar je tak nepravidelný. Může dojít k nedodržení rozměrových tolerancí. Velikost hodnoty normálové anizotropie určuje odolnost plechu vůči ztenčení. [14, 26]



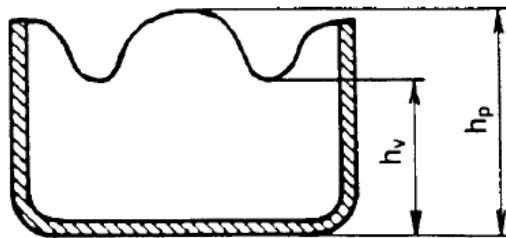
Obr. 19 Schéma vzorků pro určení anizotropie materiálu [26]

3.1.4 Exponent deformačního zpevnění

Jedná se o vyjádření schopnosti zpevnění materiálu při působení plastické deformace. Tento exponent se určuje z tahové zkoušky. Běžný diagram tahové zkoušky však není vhodný pro jeho určení, jelikož plně nevystihuje závislost skutečného napětí na deformaci. Díky tomu bylo vytvořeno několik metod zjištění exponentu deformačního napětí. Vyhodnocení zkoušek je dáno dle normy ČSN EN ISO 10275. Exponent je velmi důležitý pro případ hlubokého tažení. Zpevnění se také čím dál častěji využívá k odlehčení konstrukcí bez úbytku tuhosti zejména v automobilovém průmyslu. [14]

3.2 Zkoušky anizotropie plechů (kalíškovací)

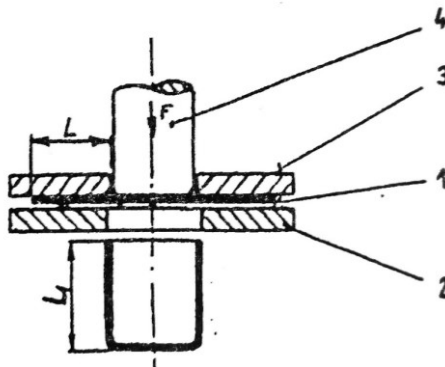
Tato zkouška se používá ke zjištění výšky cípů. Princip metody je v tažení válcových kalíšků z kruhových polotovarů, kdy se po zkoušce hodnotí výšky cípů dle Obr. 20 na jednotlivých zkušebních tělesech. Zkoušku je nutné provést na takovém zařízení, aby nedocházelo k zeslabení stěny tělesa vlivem vysoké přidržovací síly. Také musí být dodržena rychlost a velikost přidržovací síly. Pro zkoušku se používají různé typy tažnic a tažníků dle zkoušeného polotovaru. Důležité je, aby byla mezera mezi tažníkem a tažnicí minimálně 1,15násobek jmenovité tloušťky plechu a maximálně 1,8násobek. Zkouška se provádí dle normy ČSN EN 1669. [27]



Obr. 20 Schématický řez kalíškem
(h_v - Výška prohlubně mezi cípy, h_p - výška vrcholu cípu) [27]

3.2.1 Zkouška kalíškovací

Zkouška využívá stejné podmínky a nástroje, jako při zkoušce anizotropie plechu. Z tohoto důvodu schéma na Obr. 21 platí pro obě zkoušky. Principem je experimentálně zjistit, jaký je maximální průměr kruhového přístřihu, kterým lze získat kalíšek bez porušení materiálu za stálého průměru nástrojů. Zkouška je zdoluhavá a náročná na přípravu kvůli postupnému zkoušení jednotlivých průměrů. [14]



Obr. 21 Schéma kalíškovací zkoušky
(1 - zkušební těleso, 2 - tažnice, 3 - přidržovač, 4 - tažník) [14]

3.3.2 Zkouška dle Nakajimy a Marciniaka

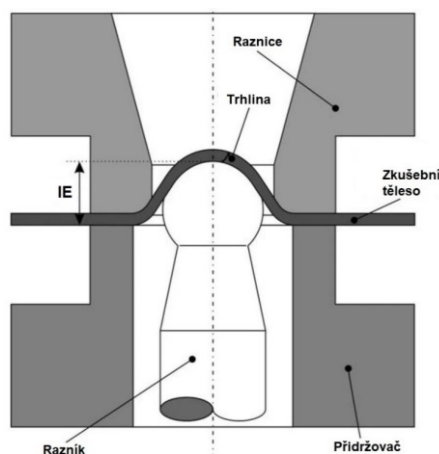
Obě zkoušky slouží pro získání FLC křivky. Základním rozdílem je odlišný tvar razníku (Obr. 24), kdy Nakajima využívá razník ve tvaru kopule (vpravo) a Marciniakova zkouška válcový tvar (vlevo). U obou zkoušek jsou také použity brzdící žebra. Díky rozdílnosti tvaru razníků každá zkouška udává nepatrně jiné výsledky, které je nutné eliminovat korekcemi. [28, 31]



Obr. 24 Nástroje pro zkoušky dle Nakajimy a Marciniaka [30]

3.4 Zkouška hloubením dle Erichsena

Jedná se o první test tvářitelnosti, který navrhl Erichsen. Tento test spočívá v protlačování kulového razníku do zkušebního tělesa, které je upevněno mezi přidržovačem a raznicí. Zkouška končí vytvořením praskliny v tělese. Měřena je hloubka prohloubení, která je založena na pohybu razníku. Následně se vyhodnocuje Erichsenův index (IE). Tato zkouška byla díky své nepřesnosti několikrát modifikována. Je definována dle ČSN EN ISO 20482. [18, 32]



Obr. 25 Schéma zkoušky dle Erichsena [33]

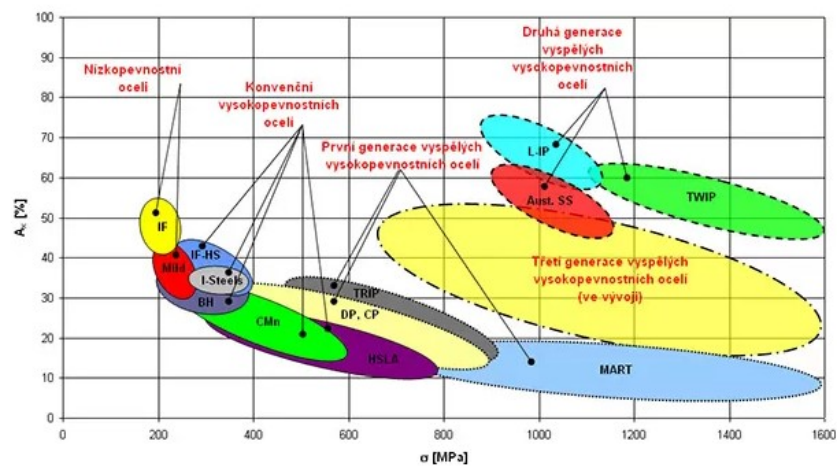
4 MATERIÁLY

Výběr vhodného materiálu je jednou ze základních činností při konstrukci každého dílu. Z konstrukčního hlediska je materiál vybírán podle vlastností, které musí výsledný díl mít. Patří zde například mechanické vlastnosti, elektrická a tepelná vodivost, odolnost vůči okolním podmínkám apod. V druhé řadě je nutné posoudit výběr materiálu z hlediska technologického, tedy jakou technologií bude díl vyráběn, nebo v jakém množství.

Při výběru materiálu pro díly zpracovávané tvářením je jedním ze základních faktorů tvářitelnost. Tvářitelnost je schopnost plechu být deformován do požadovaného tvaru při zachování strukturální integrity bez roztržení, vyboulení, vrásnění, nebo nadměrného ztenčení. Mezi základní složky ovlivňující tvářitelnost patří chemické složení, mikrostruktura a textura materiálu. Jak bylo řečeno v předchozích kapitolách, technologie plošného tvářením je rozdělena do jednotlivých operací jako je ohýbání nebo tažení. U každé z těchto operací je jiná povaha tvářením s jinými požadavky na materiál. [2, 14]

4.1 Nízkouhlíkové plechy

Využití nízkouhlíkových plechů je exponováno zejména v automobilovém průmyslu. Díky tomu vznikají nové druhy hlubokotažných a vysokopevnostních ocelí, které jsou vhodné na výrobu karosérií a jejich bezpečnostních prvků



Obr. 26 Třídy ocelí používaných v automobilovém průmyslu [34]

4.1.1 Chemické složení

U ocelových hlubokotažných plechů válcovaných za studena má největší vliv na mechanické vlastnosti obsah uhlíku. Ten je u hlubokotažných plechů v obsahu max. 0,07 %.

Hlubokotažné oceli se dále rozdělují na oceli neuklidněné (DC01, DC03) a uklidněné, do kterých jsou přidávány stabilní prvky jako hliník, titan, nebo vanad (DC04, DC05). [14]

4.1.2 Vliv jednotlivých prvků

Mangan – Zvyšuje pevnost a tvrdost na úkor houževnatosti plechu. Jeho zastoupení u nízkouhlíkových ocelí je nutné skrze vázání síry do sulfidů manganu, které jsou dobře tvářitelné. Maximální objem manganu se doporučuje max 0,40 %.

Křemík – Obsažen pouze v uklidněných ocelích kvůli jeho vlastnostem zpevňování materiálu, které vede ke zhoršení plastických vlastností. Doporučený obsah je max 0,03 %.

Fosfor a síra – U hlubokotažných prvků patří k nežádoucím prvkům a jejich obsah by měl být co nejmenší, tedy max. 0,025 %

Dusík a kyslík – Tvoří oxidy a nitridy, což jsou nekovové vměstky způsobující stárnutí oceli a snížení plastických vlastností plechů. Patří mezi nejškodlivější prvky a u běžných ocelí tvoří dohromady obsah do 0,006 %.

Doprovodné prvky – Jejich původ je převážně z ocelového odpadu a většina z těchto prvků má vliv na zpevnění materiálu. Patří mezi ně měď, chrom, nikl a další. [14]

4.1.3 Mikrostruktura

Základní složkou u hlubokotažných plechů jsou ferit a cementit. Velikost feritického zrna, jeho tvar, rozložení cementitu a vměstků ve struktuře má největší vliv na tvářitelnost. Nejvýhodnější stav feritického zrna u uklidněných ocelí je zploštělý a cementit vyloučený v globulích rovnoměrně rozložený ve feritické fázi, naopak uspořádání cementitu v rádcích je nejméně výhodné. Velikost feritického zrna a rozdíly ve velikostech mají největší vliv na drsnost dílu a nerovnoměrnou deformaci dílů. [14]

4.2 Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli mají obsah minimálně 10,5 % chromu, který zabraňuje korozi díky tvorbě neviditelné oxidové vrstvy bohaté na chrom. Některé korozivzdorné oceli mají schopnost odolávat vysokým teplotám. V porovnání s uhlíkovými a nízkouhlíkovými oceli mají větší mechanické zpevnění a vyšší mez kluzu, což vede k většímu zpětnému odpružení materiálu. Dále pak větší náchylnost k zadření a nižší vodivost tepla, která má za následek menší odvod tepla z deformace a tření. [2]

4.2.1 Mikrostruktura korozivzdorných ocelí

Struktura v těchto ocelích se rozděluje do pěti kategorií. První skupinou jsou austenitické slitiny, které mají tvárnou plošně středěnou kubickou krystalovou strukturu. Jejich cena je nejvyšší kvůli legování niklem, ale jsou nejvíce tvárné. Opakem jsou feritické korozivzdorné oceli, které mají nejmenší obsah legur a jsou hůře tvarovatelné. Třetí skupinou jsou duplexové oceli, které mají smíšenou austenitickou a feritickou mikrostrukturu. Poslední dvě skupiny precipitační a martenzitické oceli se tváří v měkkém stavu před kalením. [2]

4.3 Slitiny hliníku

Tyto slitiny jsou používány zejména díky svému dobrému poměru mezi pevností a hmotností. Slitiny se vyrábí v širokém spektru vlastností díky různým legovacím prvkům. V dnešní době jsou hojně používány nejen v leteckém, ale také automobilovém průmyslu a obecném strojírenství. Označení ocelí bývá čtyřmístné, které označuje legující prvky. Dále za pomlčkou je písmeno udávající typ zpracování a číslo, které udává temperování, například T označuje tepelné zpracování a H zpevňování. [2]

Slitiny hliníku mají při pokojové teplotě nízkou tvarovatelnost a tvarová rozmanitost výrobků je tak značně omezena. Tyto omezení se velmi často překonávají tvářením za tepla, kdy jsou tvářecí nástroje rozeřáté na teploty mezi 200 °C až 300 °C. Lze tak docílit až několikanásobného prodloužení oproti pokojové teplotě. [2]

5 SIMULACE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ

Dlouho dobu byly technologie tváření založené na zkušenostech každého konstruktéra. Simulace procesu probíhaly bez počítačové podpory metodou „pokus-omyl“ nebo pomocí geometrické metody povrchového lícování. Tato skutečnost výrazně ovlivňovala časovou a finanční stránku výroby nástrojů. V 90. letech minulého století začaly vznikat první výpočtové modely pro tváření plechů a následně simulační softwary. Zejména v automobilovém průmyslu byl vysoký tlak na rozvoj těchto technologií, tudíž se výpočetní modely velmi rychle vyvíjely. V dnešní době existuje celá řada programů vytvářejících FEM analýzy zabývající se touto problematikou. [37]

V této diplomové práci bude použit pro simulace program AutoForm R8, což je program od švýcarské společnosti AutoForm Engineering GmbH. Vzhledem k této skutečnosti budou popis a funkce rozebírány zejména na příkladu tohoto programu, avšak mnoho informací platí i pro ostatní softwary.

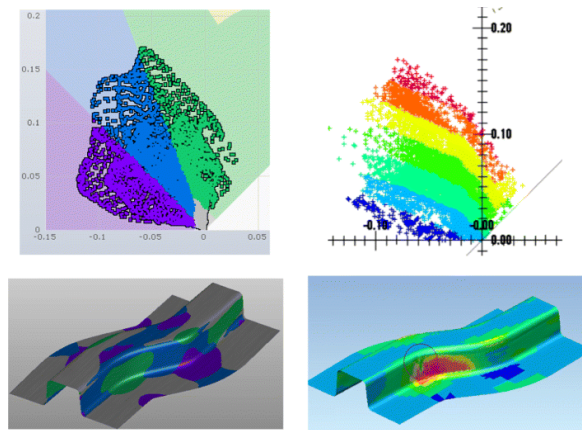
5.1 Aplikace simulačního softwaru

Současné softwary mají mnoho funkcí od základních tvářecích simulací po výpočet ceny nástroje a spotřeby materiálu. Každá z typů analýz se může v postupu lišit a provádějí se v různou dobu cyklu dílu.

5.1.1 Proveditelnost

Simulace proveditelnosti je jednou ze základních simulací prováděnou při samotné konstrukci dílů. Její provedení je relativně v krátkém čase a slouží k posouzení geometrie dílu. Základními vstupními daty jsou 3D model dílu a materiál, ze kterého je díl vyrobený. Pomocí automatického rozložení jednotlivých operací a zadání základních parametrů procesu, jako je přidržení nebo velikost a tvar polotovaru, jsou získány základní informace o proveditelnosti. U dílu lze pozorovat jeho tzv. kritická místa, kde je velká pravděpodobnost porušení nebo zvlnění materiálu. [18]

Jednotlivé body FEM analýzy jsou zaznamenány v FLD diagramu (Obr. 27). Na základě výsledků lze změnit parametry a provést analýzu opakovaně. Při typu této analýzy se pracuje s jednokrokovým řešením, což znamená například tažení dílu v jedné operaci. Je proto nutné tuto analýzu nezaměňovat s analýzou vyrobiteľnosti. Určitou analogií může být vyrobení prototypového nástroje, na kterém je dosaženo požadovaného výrobku, avšak pro sériovou výrobu s neakceptovatelnými náklady. [18]

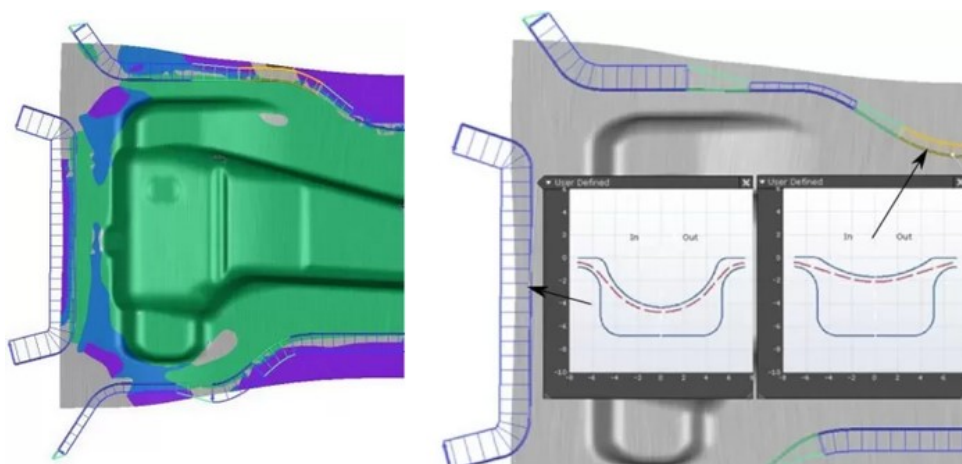


Obr. 27 Výsledky analýzy proveditelnosti [38]

5.1.2 Aplikovaná technologie

Z hlediska výrobního cyklu součásti se tato analýza provádí při konstrukci nástroje pro sériovou výrobu, kdy je znám výsledný tvar a vlastnosti dílu. V tuto chvíli je nutné se zabírat vyrobiteľností dílu. Samotná vyrobiteľnost je posuzována nejen z pohledu technologického, ale i z pohledu ekonomického, kdy při vysokých nákladech se může stát díl nevyrobiteľným.

Vstupními parametry jsou již konkrétní stroje, na kterých bude výroba probíhat. Vzniká jednotlivé rozložení výrobních operací. Je prováděna analýza velikosti, tvaru a nákladů na polotovary, která při velkosériových výrobách může dalece přechýlit náklady na samotné nástroje. Díky tomu dochází k optimalizaci přidržení a brzdících žebek (Obr. 28), které kromě zamezení nežádoucích jevů v procesu mohou být použity k úspoře materiálu. [18, 39]



Obr. 28 Analýza brzdících žebek [39]

Po provedení analýzy vyrobiteľnosti není výjimkou, že je nutné opět změnit konstrukci samotného dílu, jelikož by kompromisy ve výrobě představovaly vysoké náklady nebo nestabilní proces. [18]

5.1.3 Optimalizace probíhající výroby

Kvůli vysokým nákladům na materiál a provoz tvářecích linek je kladen důraz na neustálé zlepšování procesů i v průběhu výroby. V zásadě je tedy snaha co nejvíce omezit potřebný čas linky a zároveň minimalizovat materiálové vstupy. Do potřebných časů linky je nutné počítat již čas, který je potřebný k testování nového nástroje, ale také testování jeho úprav.

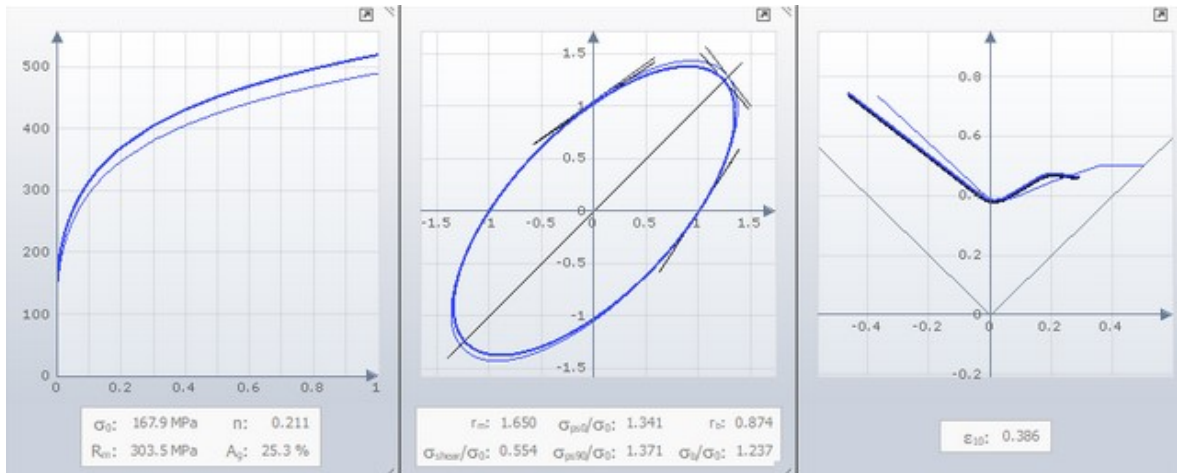
I když je mnoho případů, kdy se výsledný díl velmi podobal výsledku simulací, často dochází ke vzniku problémů a odchylek od požadovaného výsledku. Tento stav je dán tím, že simulační software pracuje s pevně danými parametry, které se však v reálném světě mohou lišit. Stačí velmi malé odchylky drsnosti povrchu, nebo geometrie nástroje a reálný výsledek je odlišný od simulace. Pro co nejpřesnější vstupní parametry se dnes skenují celé nástroje a díly. [18]

5.2 Materiálové charakteristiky

S potřebou stále upřesňovat výsledky simulací jsou vyvíjeny stále nové výpočtové modely, které dokážou lépe popsat reálné chování. Jedny z těchto modelů jsou materiálové modely, které mají velký vliv na výsledek simulace. Těchto modelů existuje mnoho typů a bohužel mezi nimi neexistují souvislosti, aby se daly vzájemně zaměnit. Starší modely, jako je Hill 48 jsou také zastaralé a vykazují velké odchylky, obzvláště v případě nových vysokopevnostních typů ocelí. Model BBC 2005 se ukazuje jako nejvhodnější model pro hliníkové slitiny a Vegter 2017 pro oceli. [40]

5.2.1 Materiálové vstupy

Při výběru materiálu z knihovny materiálů nebo vytváření nového materiálu vychází výpočtové modely ze třech diagramů (Obr. 29). Prvním z nich je křivka zpevnění (vlevo), která je zjištěna na základě tahové zkoušky. Ve druhém diagramu (prostřední) je znázorněna mez elasticity u dvojosé napjatosti a po jejím překročení dochází k plastické deformaci materiálu. Hodnoty se zjišťují při zjišťování anizotropie materiálu u tahové zkoušky. Poslední diagram je FLD se znázorněnou FLC křivkou. Zkoušky pro zjištění všech materiálových informací jsou uvedeny v předchozích kapitolách.



Obr. 29 Diagramy materiálových vstupů

Dále je nutné v programu uvést, jaký z výpočtových materiálových modelů má vycházet. Každý z nich vyžaduje jiné vstupní parametry u jednotlivých diagramů a výpočet by tak nemusel být přesný.

K častým chybám dochází při žádném nebo nesprávném nastavení lubrikace materiálu. Snížení koeficientu tření má zásadní vliv na proces tváření a lze tak dojít k diametrálně odlišným výsledkům.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

1. Výběr plechů pro hluboké tažení.
2. Provedení výroby dílů s různými podmínkami hlubokého tažení plechů.
3. Simulace tváření v programu AutoForm R8.
4. Vyhodnocení získaných výsledků.

V první fázi zkoušek byly vybrány dvě oceli a slitiny hliníku v tloušťkách od 0,5 mm do 1,5 mm. Byly na nich provedeny zkoušky dle Erichsena a pomocí nástrojů pro zkoušku dle Nakajimi. Následně došlo k porovnání výsledků mezi jednotlivými tloušťkami materiálu, typy materiálu vůči sobě i mezi typy zkoušek. Tyto výsledky posloužily k výběru materiálu do druhé fáze zkoušek.

V druhé fázi byly zvoleny dva materiály z předchozích měření o tloušťce 0,5 mm. Zde byly použity nástroje pro zkoušku dle Nakajimi s brzdící drážkou a bez drážky. Hlavním cílem bylo zjistit vliv brzděné drážky a změny síly přidržení na průběh tažení. Výsledky byly mezi sebou porovnány.

V posledním kroku byla vytvořena simulace v programu AutoForm R8, kde byly simulovány podmínky ze zkoušek ve druhé fázi. V simulaci bylo výsledkem zjistit tvářitelnost za daných podmínek. Tyto výsledky byly následně porovnány s výsledky zkoušek.

7 VÝBĚR PLECHU PRO HLUBOKÉ TAŽENÍ

Materiály byly voleny s ohledem na jejich mechanické vlastnosti, vhodnosti pro tváření za studena a dostupnost. Ke zvolení dvou ocelí a dvou hliníkových slitin došlo kvůli srovnání rozdílného chování oproti oceli.

7.1 Ocel DC01

Z ocelí válcovaných za studena byl zvolen materiál DC01-A-m (1.0330) dle ČSN EN 10130. Tento materiál je jedna z nejběžnějších a snadno dostupných ocelí pro plošné tváření. Má dobrou tažnost a lze ji dobře tvarovat. Dále se dobře svařuje nebo pájí. Díky jejímu snadnému zpracování se používá v celé řadě aplikací, avšak není vhodná pro aplikace s vyžadovanou větší pevností. Válcováním dochází u materiálu ke zpevnění, které je rozděleno do stupňů C290, C340 a další, nejběžněji se však dodává ve stavu A, tedy žíhaný. Mechanické vlastnosti u zkoušeného materiálu, jeho stav a chemické složení jsou předepsané normou EN 10130 v Tabulka 1. [35, 36]

Tabulka 2 Vlastnosti DC01-A-m (1.0330) dle ČSN EN 10130 [35]

Značka oceli	Číselné označení oceli	Rozdělení podle EN 10020	Jakost povrchu	Nepřítomnost deformačních čar	$R_e^{a)}$	R_m	$A_{80}^{b)}$	$r_{90}^{c)}$	$n_{90}^{c)}$	Chemické složení pro rozbor tavby				
					MPa	MPa	min. %	min.	min.	C max. %	P max. %	S max. %	Mn max. %	Ti max. %
DC01 ^{a)}	1.0330	Nelegovaná ocel ^{b)}	A	–	–280 ^{d)}	270/410	28	–	–	0,12	0,045	0,045	0,60	–
			B	3 měsíce										

7.2 Korozi vzdorná ocel 1.4301

Korozi vzdorná ocel 1.4301 (X5CrNi18-10) dle EN 10088-2 je austenitická ocel, která nachází uplatnění nejvíce v potravinářském průmyslu. Austenitická se nazývá podle struktury, kterou vykazuje za normálních teplot a pod bodem mrazu. Vyznačuje se relativně nízkou mezí kluzu okolo 250 MPa a vysokou houževnatostí. Je vhodná pro tváření za studena, čímž lze rapidně posunout mez kluzu. Vlastnosti dle normy EN 10088-2 jsou uvedeny v Tabulka 3. [41]

Tabulka 3 Vlastnosti 1.4301 (X5CrNi18-10) dle EN 10088-2 [41]

Material			Chemické složení (%)							Mechanické vlastnosti		
Materiálové č.	Označení dle EN	ASTM / AISI	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	ostatní	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [min. %]
Technické dodací podmínky podle EN 10 088-2 & EN 10 151 / Rozměrová norma - EN ISO 9445 : 2010												
1.4301	X5 CrNi18-10	304/304S	≤ 0,07	≤ 1,00	≤ 2,00	17,5 - 19,5	8,0 - 10,5	-	N ≤ 0,11	≥ 230	540 - 750	45

7.3 Hliník EN AW-1050A H24

Hliník EN AW-1050 A je slitinou, ve které je hliník v nejcistější podobě. Ostatní prvky jsou zde ve stopovém zastoupení. Je to nejběžněji používaný hliníkový materiál, který se používá v průmyslu díky své vysoké odolnosti vůči korozi, reflexnímu chování a vodivosti. Vykazuje velmi nízkou pevnost v tahu. Nejvíce je vhodný pro svařování a ohýbání, obrobitelnost je velmi špatná. Všechny slitiny hliníku jsou dodávány v různých pevnostních stavech. Pro tyto zkoušky byl vybrán stav H24, což je polotvrký stav vhodný pro tváření. Chemické a mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce Tabulka 4 a Tabulka 5. [42, 43]

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti hliníku EN AW-1050A H24 dle ČSN EN 573-3+A1 [42]

Označení slitiny		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Poznámky	Ostatní ²		Hliník min.
číselným označením	chemickými značkami													jednotlivě	celkem ²	
EN AW-1050A	EN AW-Al 99,5	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	–	–	0,07	0,05	–	–	–	0,03	–	99,50 ²

Tabulka 5 Chemické vlastnosti hliníku EN AW-1050A H24 dle ČSN EN 485-2+A1 [43]

Stav materiálu	Stanovená tloušťka mm		Pevnost v tahu R_m MPa		Mez v kluzu $R_{p0,2}$ MPa		Tažnost min. %		Poloměr ohybu ²		Tvrdość HBW
	nad	do	min.	max.	min.	max.	$A_{50\text{ mm}}$	A	180°	90°	
	H24	0,2	0,5	105	145	75		3		1,0r	
	0,5	1,5	105	145	75		4		1,0r	0,5r	33
	1,5	3,0	105	145	75		5		1,0r	1,0r	33
	3,0	6,0	105	145	75		8		1,5r	1,5r	33
	6,0	12,5	105	145	75		8		2,5r		33

7.4 Slitina hliníku EN AW-5754 H111

Tato slitina patří mezi hliníkové slitiny s vysokým podílem hořčíku, což navyšuje pevnost materiálu. V kombinaci s vysokou odolností vůči korozi je vhodný pro stavbu lodí a karoserií. Na rozdíl od slitiny 1050 se dobře obrábí. Pro zkoušku byl vybrán stav H111, což je měkký stav. Chemické a mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce Tabulka 6 a Tabulka 7. [42, 43]

Tabulka 6 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5754 H111 dle ČSN EN 573-3+A1 [42]

Označení slitiny		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Poznámky	Ostatní ²		Hliník min.
číselným označením	chemickými značkami													jednotlivě	celkem ²	
EN AW-5754	EN AW-Al Mg3	0,40	0,40	0,10	0,50	2,6-3,6	0,30	–	0,20	0,15	–	–	0,10-0,6 Mn+Cr ²	0,05	0,15	zbytek

Tabulka 7 Chemické vlastnosti slitiny EN AW-5754 H111 dle ČSN EN 485-2+A1 [43]

Stav materiálu	Stanovená tloušťka mm		Pevnost v tahu \bar{R}_m MPa		Mez v kluzu $\bar{R}_{p0,2}$ MPa		Tažnost min. %		Poloměr ohybu ^a		Tvrdość ^a HBW
	nad	do	min.	max.	min.	max.	$A_{50\text{ mm}}$	A	180°	90°	
H111	0,2	0,5	190	240	80		12		0,5t	0t	52
	0,5	1,5	190	240	80		14		0,5t	0,5t	52
	1,5	3,0	190	240	80		16		1,0t	1,0t	52
	3,0	6,0	190	240	80		18		1,0t	1,0t	52
	6,0	12,5	190	240	80		18			2,0t	52
	12,5	100,0	190	240	80			17			52

8 MĚŘÍCÍ VYBAVENÍ

K měření technologických plechů existuje celá řada měřících zařízení, ale i jednotlivých zkoušek. Před samotnou volbou těchto zařízení je nutné definovat jakou charakteristiku chci při testování získat a následně vybírat měřící zařízení a nástroje.

8.1 Zkušební zařízení BUP 600

Pro měření jednotlivých vzorků bylo vybráno zkušební zařízení BUP 600 (Obr. 30). Jeho výhodou je jednoduchá výměna nástrojů, která dělá stroj velmi univerzální pro různé typy zkoušek. Lze nastavovat délku zdvihu, sílu tažníku i přidržovače, rychlost tažníku a citlivost pro ukončení zkoušky. Nastavení probíhá v externím počítači, který je ke stroji připojen. Zde jsou i odesílány veškerá data získaná při zkoušce a zpracovávána do grafů. Přímou na stroji je pak ovládán pouze uzavírací mechanismus stroje, natlakování a start zkoušky.



Obr. 30 Zkušební zařízení BUP 600 [44]

8.2 Zkušební nástroje

Jak bylo popsáno v teoretické části, jednotlivé zkoušky jsou normalizovány včetně nástrojů, na kterých je zkouška prováděna. Nejčastěji se mění veškeré elementy, které přijdou do styku se zkušebním tělesem. Nástroje je nutné před každou zkouškou zbavit nečistot a následně pomocí šroubů a bajonetových mechanismů upnout do zkušebního zařízení.

8.2.1 Zkušební nástroj pro zkoušku dle Erichsena

Pro tuto zkoušku lze využít různých průměrových řad nástrojů. V tomto případě byl použit tažník o průměru 15 mm a tažnice o průměru 18 mm. Přidržovač má průměr 21 mm, díky čemuž se výsledek zkoušky většinou uvádí se značkou IE a indexem 21 dle tohoto průměru.

8.2.2 Nástroje pro měření FLD

Tyto nástroje byly znázorněny na Obr. 23, kde je zobrazen nástroj jak pro zkoušku dle Nakajimi, tak zkoušku dle Marciniaka. K této zkoušce se následně využívají kamery, které zaznamenávají deformace plechu v průběhu zkoušky a ty jsou následně vyhodnocovány.

Pro zkoušky uvedené v této práci však nástroje pouze posloužily ke změně geometrie nástroje. Byly využity nástroje ke zkoušce dle Nakajimi, které mají průměr tažníku 60 mm a poloměr zaoblení u zakončení 30 mm. Při zkouškách došlo ke změně přidržovačů, kdy byl použit nástroj s brzdící drážkou a bez ní.

9 PRŮBĚH ZKOUŠEK

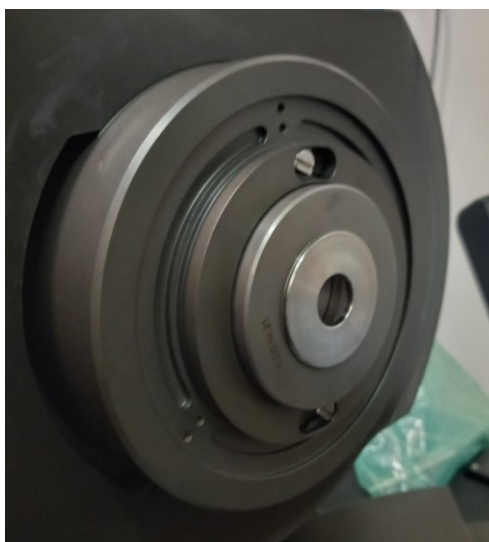
V obou fázích se nejprve nadělily pomocí hydraulických tabulových nůžek potřebná zkušební tělíska. U všech typů materiálů byl vstupní polotovar plech ve formátu 1000 x 2000 mm. Vybrané materiály byly v tloušťce 0,5, 1 a 1,5 mm kromě slitiny EN AW-5754, kde se nepodařilo zajistit tloušťku 0,5 mm. Dále byly na stroji upnuty nástroje a nastaveny hodnoty pro průběh zkoušky. V průběhu zkoušek byl použit olej Oest platinol sf 32, což je odparový olej vhodný pro tváření. Po ukončení zkoušek bylo zkontrolováno, zda nebyly nástroje nijak poškozeny.

9.1 První fáze: Zkouška dle Erichsena a s pomocí nástrojů na zkoušku dle Nakajimi

Zkušební tělesa pro tyto zkoušky byla zhotovena ve formátu 1000 x 120 mm. Zkouška se opakovaně prováděla do jednoho zkušebního tělesa, dokud zde bylo místo pro celkové přidržení plechu.

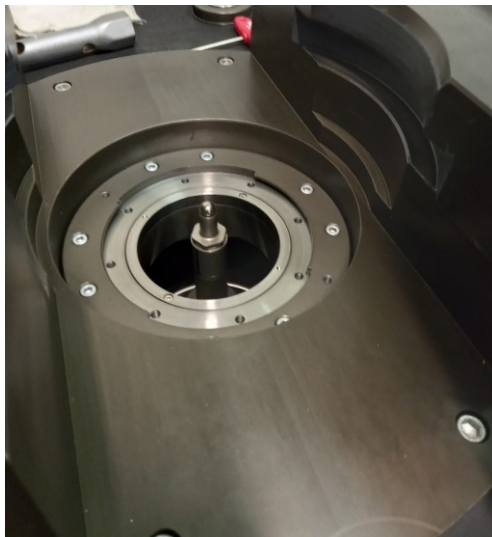
9.1.1 Upnutí nástrojů

U zkoušky dle Erichsena byla nejprve upevněna do odklápěcí části stroje tažnice (Obr. 31). Nástroj byl upnut pomocí bajonetového mechanismu a podložen dvěma středícími kroužky, které sloužily ke správnému dosednutí nástroje na materiál.



Obr. 31 Tažnice pro zkoušku dle Erichsena

Tažník (Obr. 32) byl pomocí šroubů upnut do spodní části stroje a následně na něj byl nasunut přídržovač (obr. 33). Tyto dvě části spolu nejsou nikterak spojeny a přídržovač byl středěný pomocí rámu stroje. Instalace nástrojů probíhá u všech nástrojů obdobně.



Obr. 32 Uchycení tažníku



Obr. 33 Nasunutí přídržovače

9.1.2 Nastavení stroje pro zkoušku dle Erichsena

Přidržovací síla byla nastavena tak, aby na zkušebních tělesech nedocházelo ke zvlnění. Maximální síla byla zvolena s ohledem na zkoušené materiály tak, aby vždy zkouška skončila jejich porušením.

Tabulka 8 Nastavené podmínky pro zkoušku dle Erichsena

Přidržovací síla	30	kN
Maximální tažná síla	200	kN
Rychlost tažníku	0,5	mm/s

9.1.3 Nastavení pro zkoušku s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi

Parametry musely být pro tuto zkoušku změněny díky většímu razníku a tedy potřebě zvětšit síly působící na materiál. Na základě toho bylo nutné zvýšit přidržovací sílu. Došlo také k navýšení rychlosti a tím přiblížení k reálným rychlostem tažení.

Tabulka 9 Nastavené podmínky pro zkoušku s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi

Přidržovací síla	300	kN
Maximální tažná síla	400	kN
Rychlost tažníku	4	mm/s

9.1.4 Průběh měření u zkoušky dle Erichsena

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, zkušební tělesa byla vytvořena o rozměrech 1000 x 120 mm. Na jednom zkušebním tělese bylo provedeno vždy deset zkoušek, kdy pět proběhlo bez použití oleje a pět s použitím oleje. Zkouška byla provedena na všech typech a tloušťkách materiálu stejně. Na Obr. 34 lze vidět výtažky vytvořené při zkoušce u materiálu DC01. Lze pozorovat vytvoření praskliny po obvodu výtažku, což by bez znalosti použitého materiálu znamenalo jeho vhodné vlastnosti pro tváření. Vytváření trhlin bylo u všech zkoušených materiálů podobné. Na obrázku lze také vidět velikost přidržovače, který je obtisknut do materiálu kolem výtažku.



Obr. 34 Výtažky po zkoušce dle Erichsena u materiálu DC01

9.1.5 Průběh měření s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi

Kvůli velkému průměru tažníku, tedy velké spotřebě zkušebních těles, se upravil počet opakování u měřených těles. U každého vzorku byly provedeny 3 zkoušky bez oleje a 3 zkoušky s olejem. Na Obr. 35 lze vidět výtažky vytvořené nástroji ze zkoušky dle Nakajimi s brzdící drážkou. Lze pozorovat, že i přes aplikaci drážky je materiál vtahován z okolního prostředí. Lze také pozorovat, že nedošlo ve všech případech k prasklině po celém obvodu, avšak pouze v některých místech.



Obr. 35 Výtažky ze slitiny hliníku EN AW-1050A tl. 1,5 mm

U slitiny EN AW-1050A docházelo u tloušťky plechu 0,5 a 1 mm k prasklinám iniciovaným v rádiusu tažnice (Obr. 36). Na základě tohoto jevu byla snížena přidržovací síla, která jev oddálila, avšak neodstranila a materiál tedy nemohl být odzkoušen. V praktickém použití by bylo nutné pro materiál tohoto typu s nízkou tažností a mezí pevnosti vytvořit nástroj s větším zaoblením hran.



Obr. 36 Prasklina u materiálu EN AW-1050A tl. 0,5 mm

9.2 Druhá fáze: Zkoušky na nástrojích pro zkoušku dle Nakajimi s brzdící drážkou a bez ní

Podstatou těchto zkoušek bylo zjištění vlivu přidržovací síly a tvaru přidržovače na výtažek. Vybrány byly materiály 1.4301 a DC01 o síle 0,5 mm, které prokázaly dobré vlastnosti pro tváření v předchozích zkouškách. U těchto zkoušek nebylo využito žádné mazivo, aby nebylo měření ovlivněno množstvím maziva a jeho nestejnou aplikací.

Zkušební tělesa byla zvolena v rozměrech 120 x 120 mm, aby nedocházelo k ovlivnění z předchozí zkoušky či v krajních polohách plechu. Dělení těchto těles bylo opět zajištěno pomocí hydraulických tabulových nůžek.

9.2.1 Nástroje

Pro zkoušku byly využity dva typy nástrojů. První nástroj s brzdící drážkou byl využit z předchozího měření. V druhém kroku se vyměnila tažnice s přidržovačem za typ bez brzdící drážky. Rozměry tažníku i tažnice zůstaly stejné.

9.2.2 Nastavení stroje

Pro zkoušku byly zvoleny parametry maximální tažné síly a rychlosti tažníku stejné jako v předchozí zkoušce. V Tabulka 10 je uveden rozsah přidržovacích sil, který byl v této zkoušce využit. Jedná se o násobně nižší síly než v předchozí zkoušce, což je způsobeno zejména pozorováním vlivu přidržovací síly na průběh tažení, což bylo v předchozí zkoušce nežádoucí.

Tabulka 10 Podmínky zkoušky se změnou přidržovací síly

Maximální tažná síla	400	kN
Rychlost tažníku	4	mm/s
Rozsah přidržovacích sil	20 - 60	kN

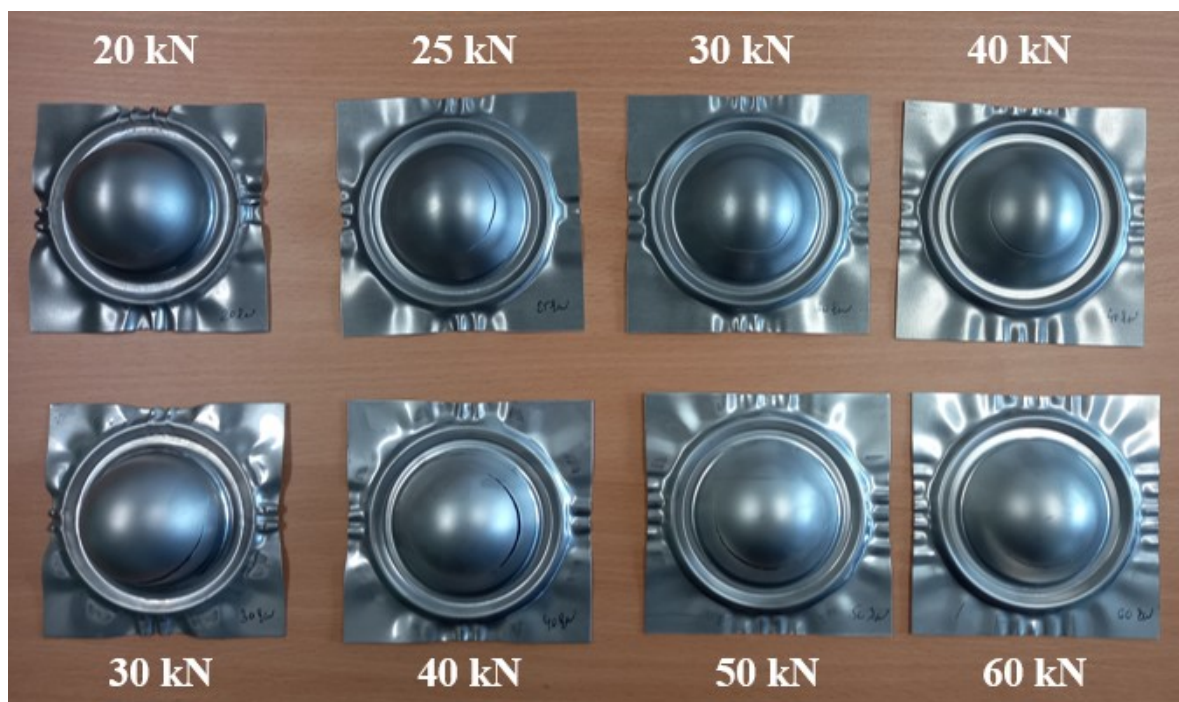
9.2.3 Průběh zkoušky s brzdící drážkou

Po upnutí nástroje a zvolení parametrů stroje byla provedena vždy série tří měření, po které následovala změna přidržovací síly a měření bylo opakováno. Použity byly oba již zmíněné materiály v tloušťce 0,5 mm. Pro materiál 1.4301 musela být zvýšena přidržovací síla, jelikož v nižších hodnotách plech vykazoval zvlnění (jak lze pozorovat na Obr. 37), které přecházelo do samotného výtažku. Tento stav je pro praktické využití nevyhovující.



Obr. 37 Zvlnění materiálu 1.4301 při použití malé přidržovací síly

V ostatních případech docházelo taktéž ke zvlnění, avšak zvlnění se do samotného výtažku nepromítalo a bylo zakončeno v brzdící drážce. Na vzorcích u Obr. 38 lze pozorovat, že k největšímu zvlnění docházelo v oblastech s menším objemem materiálu, který byl méně přidržen a měl tendenci se rychleji vtahovat do nástroje než rohy tělesa. Velikost přidržovací síly, která je napsána u každého vzorku, také ovlivňovala velikost a počet vln, jež na tělese vznikly.



Obr. 38 Velikost přidržovací síly u vzorků z materiálu DC01 (horní) a 1.4301 (spodní)

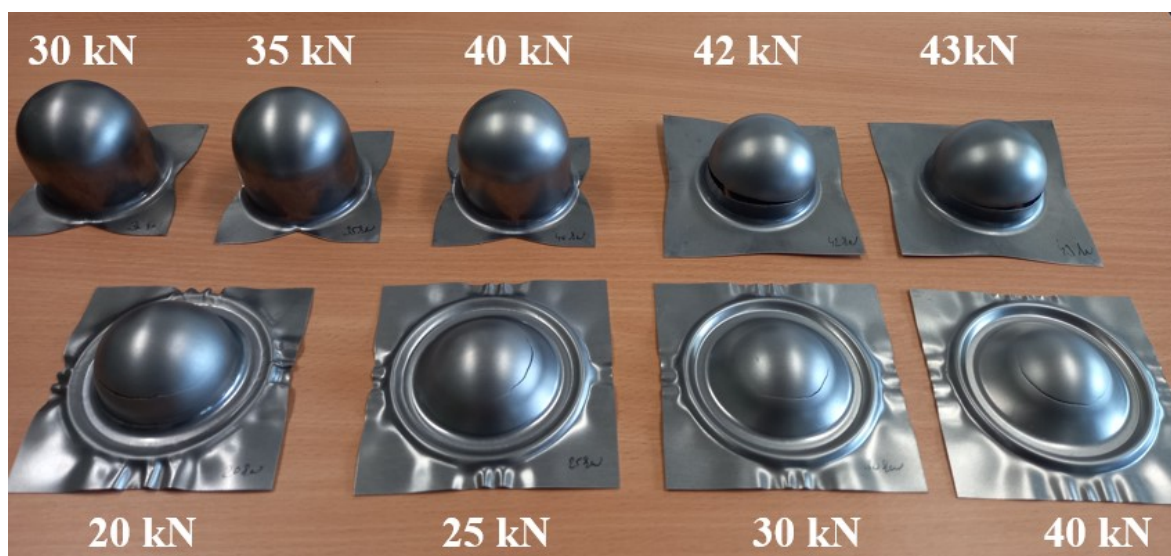
9.2.4 Průběh zkoušky bez brzdící drážky

Pro zkoušku bez brzdící drážky byl zvolen materiál DC01 o tloušťce 0,5 mm. Tato zkouška byla od předchozích odlišná zejména ukončením, které neproběhlo vždy po vytvoření praskliny v materiálu, ale velmi často skončilo vtažením veškerého materiálu v některých místech zkušebního tělesa, jako lze pozorovat na Obr. 39.



Obr. 39 Výtažky ze zkoušky bez brzdící drážky

Kromě měření sérií po 3 kusech zde došlo i k informativnímu měření 3 kusů, které vedlo ke zjištění maximální síly přidržení bez toho, aniž by došlo v průběhu zkoušky k prasklině. Při porovnání z Obr. 40, kde jsou vzorky s popisem přidržovací síly, lze pozorovat markantní rozdíl mezi průběhy zkoušky při stejné přidržovací síle s použitím brzdné drážky a bez ní.



Obr. 40 Porovnání výtažků z materiálu DC01 při zkoušce s drážkou a bez drážky

10 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Výsledkem zkoušky byly hodnoty udávající sílu tažníku působící na zkušební těleso a délku dráhy vykonanou tažníkem. Z těchto hodnot měřicí program vykreslil graf průběhu zkoušky.

10.1 Výsledky zkoušky dle Erichsena

Základní hodnoty, které byly při tomto měření zjišťovány, jsou maximální síla tažníku působící na zkušební těleso F_{\max} a délka dráhy vykonaná tažníkem H při docílení síly F_{\max} . I když těleso při hodnotě F_{\max} nebylo porušeno, bylo zde docíleno meze pevnosti a síla postupně klesala, což je vypovídající hodnota z pohledu praktického využití, kdy mez pevnosti u dílů nesmí být překročena.

10.1.1 Naměřené hodnoty

V tabulce Tabulka 11 jsou jednotlivá měření označena číslem měření a názvem měření.

Název

se skládá z tloušťky plechu a pořadím měření v dané sérii.

Tabulka 11 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 0,5 mm bez použití oleje

Číslo měření	Název měření	Typ materiálu							
		DC01		1.4301		EN AW-1050A		EN AW-5754	
		H	F max	H	F max	H	F max	H	F max
1	0.5_1	6,86	7,59	8,35	13,96	5,33	2,40	-	-
2	0.5_2	6,78	7,59	8,35	13,97	5,35	2,42	-	-
3	0.5_3	6,82	7,59	8,36	13,96	5,38	2,41	-	-
4	0.5_4	6,83	7,60	8,31	13,91	5,40	2,40	-	-
5	0.5_5	6,78	7,58	8,33	13,95	5,45	2,40	-	-
Průměr		6,81	7,59	8,34	13,95	5,38	2,41	-	-
Směrodatná odchylka		0,03	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	-	-

V tabulce Tabulka 12 je název měření rozšířen o písmeno O, které signalizuje aplikaci oleje na zkoušené těleso.

Tabulka 12 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 0,5 mm s použitím oleje

Číslo měření	Název měření	Typ materiálu							
		DC01		1.4301		EN AW-1050A		EN AW-5754	
		H	F max	H	F max	H	F max	H	F max
6	00.5_1	6,82	7,57	8,30	13,92	5,59	2,45	-	-
7	00.5_2	6,82	7,60	8,23	13,83	5,66	2,47	-	-
8	00.5_3	6,81	7,59	8,20	13,77	5,71	2,44	-	-
9	00.5_4	6,84	7,62	8,21	13,83	5,60	2,41	-	-
10	00.5_5	6,78	7,58	8,22	13,83	5,68	2,43	-	-
Průměr		6,81	7,59	8,23	13,83	5,65	2,44	-	-
Směrodatná odchylka		0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,02	-	-

V tabulkách Tabulka 13 až Tabulka 16 jsou uvedeny data z měření pro tloušťky plechu 1 a 1,5 mm.

Tabulka 13 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1 mm bez použití oleje

Číslo měření	Název měření	Typ materiálu							
		DC01		1.4301		EN AW-1050A		EN AW-5754	
		H	F max	H	F max	H	F max	H	F max
11	1_1	7,78	14,75	9,14	27,14	6,25	4,10	7,02	6,93
12	1_2	7,91	14,90	9,15	27,24	6,23	4,12	6,89	6,93
13	1_3	7,82	14,97	9,14	27,34	6,33	4,16	6,93	6,95
14	1_4	7,89	15,17	9,15	27,30	6,22	4,14	6,96	6,96
15	1_5	7,88	15,42	9,14	27,39	6,36	4,15	6,94	6,97
Průměr		7,85	15,04	9,15	27,28	6,28	4,13	6,95	6,95
Směrodatná odchylka		0,06	0,26	0,01	0,10	0,06	0,03	0,05	0,02

Tabulka 14 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1 mm s použitím oleje

Číslo měření	Název měření	Typ materiálu							
		DC01		1.4301		EN AW-1050A		EN AW-5754	
		H	F max	H	F max	H	F max	H	F max
16	O1_1	7,98	15,06	9,04	27,19	6,47	4,14	6,75	6,94
17	O1_2	7,95	15,12	9,02	27,10	6,38	4,15	6,74	6,91
18	O1_3	7,92	15,13	9,05	27,26	6,40	4,15	6,78	6,92
19	O1_4	7,97	15,15	9,05	27,26	6,44	4,16	6,81	6,95
20	O1_5	7,98	15,26	9,04	27,19	6,51	4,18	6,70	6,84
Průměr		7,96	15,14	9,04	27,20	6,44	4,16	6,76	6,91
Směrodatná odchylka		0,02	0,07	0,01	0,07	0,05	0,02	0,04	0,04

Tabulka 15 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1,5 mm bez použití oleje

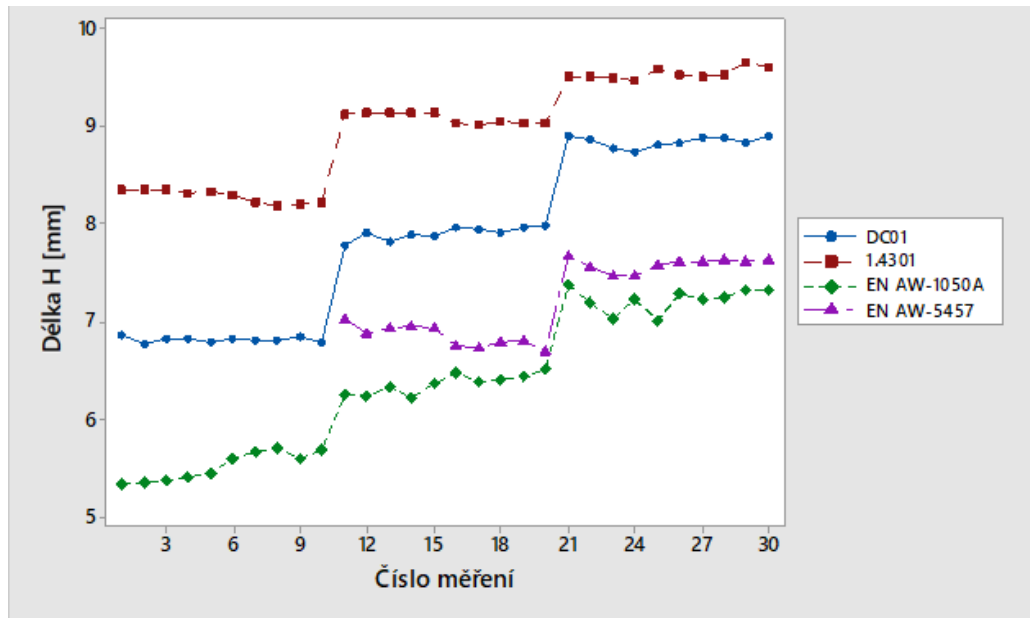
Číslo měření	Název měření	Typ materiálu							
		DC01		1.4301		EN AW-1050A		EN AW-5754	
		H	F max	H	F max	H	F max	H	F max
21	1.5_1	8,92	21,73	9,51	41,86	7,37	5,98	7,67	10,84
22	1.5_2	8,87	21,68	9,51	41,77	7,20	5,98	7,56	10,77
23	1.5_3	8,77	21,66	9,50	41,28	7,03	6,01	7,47	10,77
24	1.5_4	8,74	21,73	9,49	41,17	7,23	6,05	7,48	10,83
25	1.5_5	8,81	21,88	9,59	41,67	7,02	6,05	7,58	10,75
Průměr		8,82	21,74	9,52	41,55	7,17	6,01	7,55	10,79
Směrodatná odchylka		0,07	0,08	0,04	0,31	0,15	0,03	0,08	0,04

Tabulka 16 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1,5 mm s použitím oleje

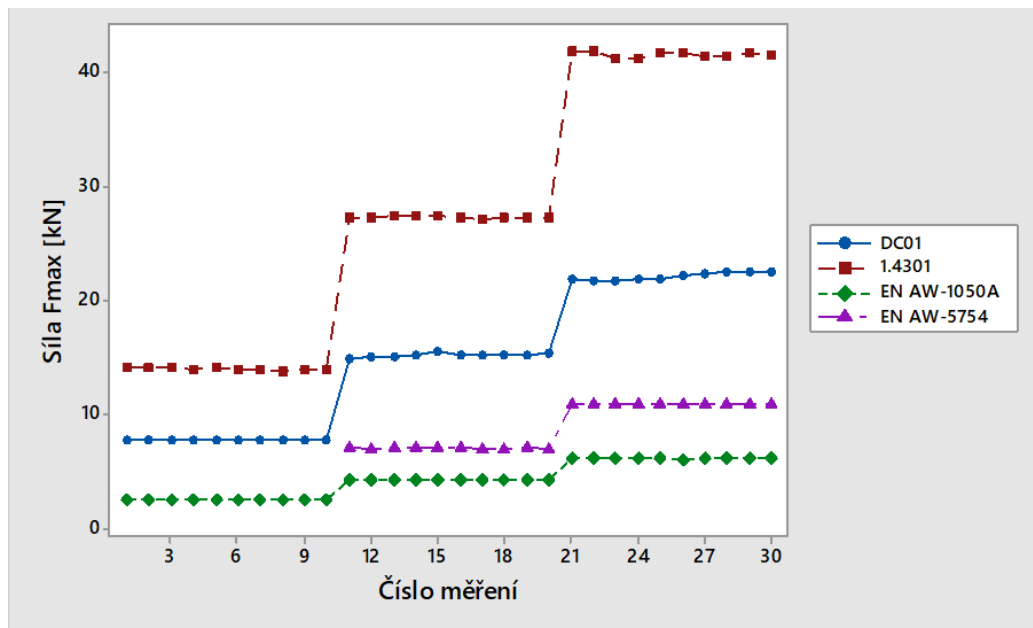
Číslo měření	Název měření	Typ materiálu							
		DC01		1.4301		EN AW-1050A		EN AW-5754	
		H	F max	H	F max	H	F max	H	F max
26	O1.5_1	8,84	22,18	9,54	41,68	7,29	5,94	7,63	10,85
27	O1.5_2	8,89	22,35	9,51	41,37	7,23	5,98	7,62	10,77
28	O1.5_3	8,89	22,36	9,54	41,29	7,25	5,99	7,64	10,80
29	O1.5_4	8,83	22,46	9,66	41,70	7,32	5,99	7,62	10,80
30	O1.5_5	8,90	22,48	9,62	41,51	7,33	6,02	7,63	10,81
Průměr		8,87	22,37	9,57	41,51	7,28	5,98	7,63	10,80
Směrodatná odchylka		0,03	0,12	0,06	0,18	0,04	0,03	0,01	0,03

10.1.2 Vizualizace dat

Na obrázcích Obr. 41 Obr. 42 jsou zobrazeny obě měřené veličiny zvlášť. Měření v grafu jsou uspořádána podle čísla měření od 1 do 30. Díky tomuto uspořádání jsou vidět u všech materiálů nárazové zvýšení měřených veličin, které je dáno změnou tloušťky materiálu.



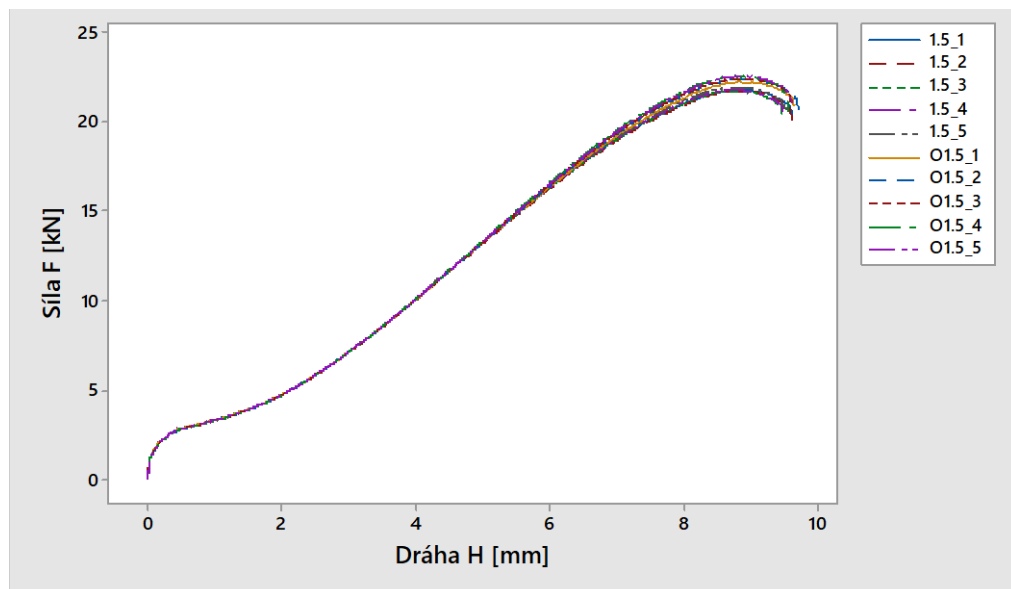
Obr. 41 Zkouška dle Erichsen: dráha tažníku



Obr. 42 Zkouška dle Erichsen: síla F_{max}

U Obr. 42 lze pozorovat nárůst sil, které přibližně odpovídají násobkům dané tloušťky, čímž se dá orientačně ověřit správnost měření. Výkyv maximálních sil je u daných tlouštěk minimální, avšak délka H má kolísavou tendenci. Hodnoty H na Obr. 41 jeví jistou odlišnost při měření s použitím oleje a bez něj. Jeho efekt by však musel být prověřen větším testováním, jelikož zde není patrný jasný rozdíl. Dále hodnotu H mohla ovlivnit poloha na zkušebním tělese nebo rozdílné mechanické vlastnosti v různých částech plechu.

Rozdíl v průběhu zkoušek je demonstrován na příkladu DC01 o tloušťce 1,5 mm, kdy na Obr. 43 jsou znázorněny průběhy všech deseti měření. Ve většině případů docházelo k rozdílnému chování v pokročilé části zkoušky. Platilo také, že čím větší tloušťka plechu byla, tím byly rozdíly markantnější. Tento jev je velmi podobný u všech zkoušených materiálů.

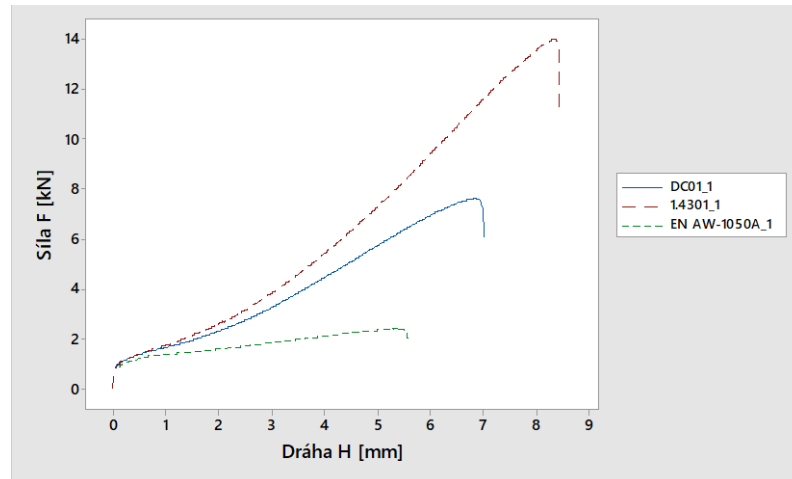


Obr. 43 Erichsen: průběh zkoušky u materiálu DC01 tl. 1,5 mm

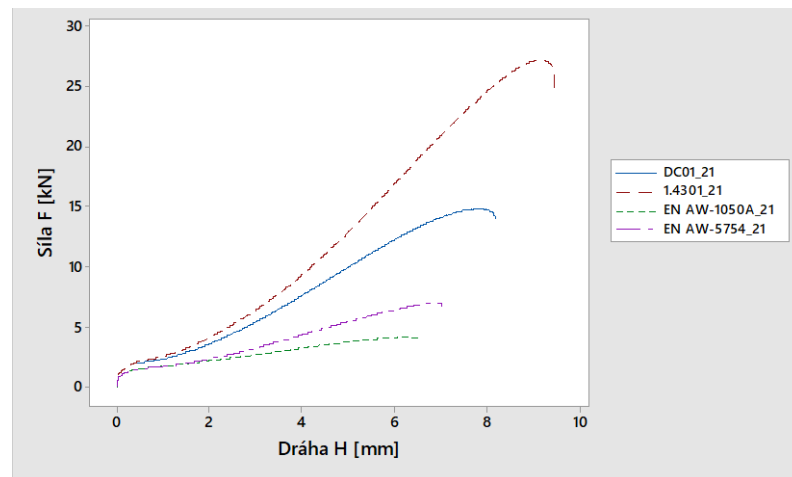
V grafech na obrázcích Obr. 44 Obr. 46 jsou porovnány všechny typy materiálů v dané tloušťce.

Pro graf bylo vybráno vždy první měření v sadě. V grafu je označeno typem materiálu a číslem měření. Trend měření je ve všech tloušťkách téměř totožný, což opět potvrzuje správnost měření.

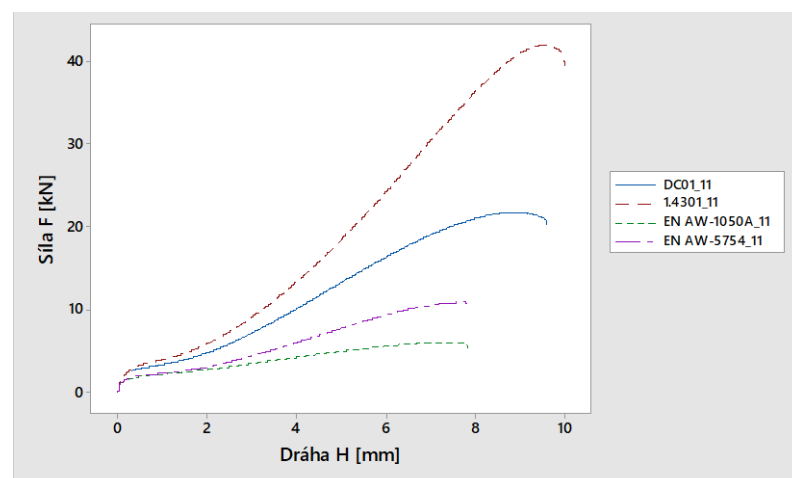
Nejpodstatnější informací vyplývající z těchto grafů je však zjištění vhodnosti těchto materiálů pro tváření za studena. Jedná se tedy zejména o velikost a průběh plastické deformace, kterou materiál vykazuje.



Obr. 44 Průběh zkoušky dle Erichsena pro tloušťku 0,5 mm



Obr. 45 Průběh zkoušky dle Erichsena pro tloušťku 1 mm



Obr. 46 Průběh zkoušky dle Erichsena pro tloušťku 1,5 mm

Větší plastickou deformaci vykazují ocelové materiály DC01 a 1.4301 oproti hliníkovým slitinám.

10.2 Výsledky měření s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi

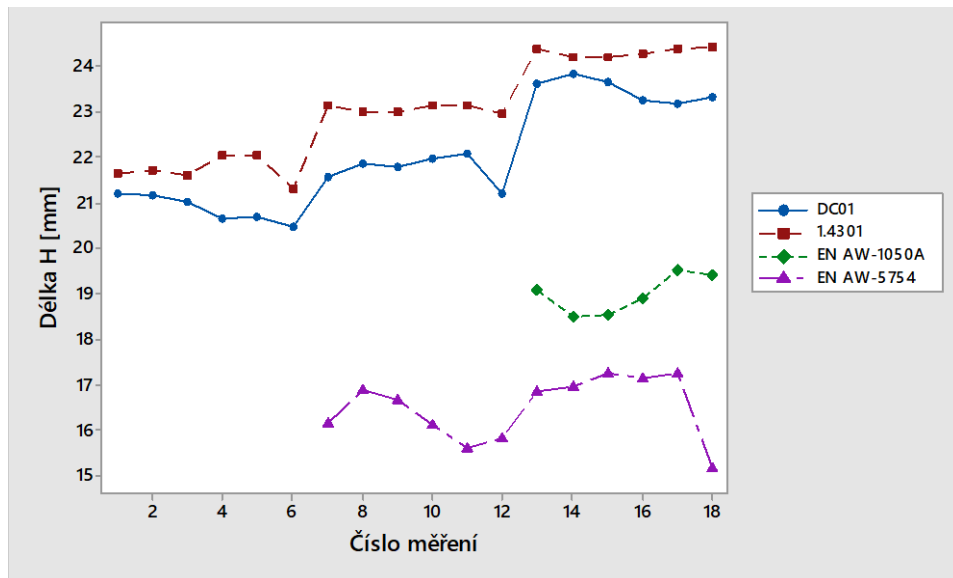
Postup při zpracování výsledků byl zde stejný jako při zkoušce dle Erichsena. Jediným rozdílem je výše zmíněné omezení počtu měření, které se omezilo na tři měření v sérii. Také zde došlo k předčasnému praskání u materiálu EN AW-1050A, který praskal v počátku zkoušky v místech za brzdicí drážkou.

Tab. 1 Naměřené hodnoty měření s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi

Číslo měření	Název měření	Typ materiálu							
		DC01		1.4301		EN AW-1050A		EN AW-5754	
		H	F max	H	F max	H	F max	H	F max
1	0.5_1	21,20	26,92	21,63	41,83	-	-	-	-
2	0.5_2	21,15	26,77	21,72	42,34	-	-	-	-
3	0.5_3	21,01	26,54	21,61	42,29	-	-	-	-
Průměr		21,12	26,74	21,65	42,15	-	-	-	-
Směrodatná odchylka		0,10	0,20	0,06	0,29	-	-	-	-
4	O0.5_1	20,64	26,03	22,04	43,18	-	-	-	-
5	O0.5_2	20,69	26,02	22,03	43,15	-	-	-	-
6	O0.5_3	20,48	25,89	21,29	42,57	-	-	-	-
Průměr		20,60	25,98	21,79	42,97	-	-	-	-
Směrodatná odchylka		0,11	0,08	0,43	0,34	-	-	-	-
7	1_1	21,57	50,52	23,11	86,38	-	-	16,15	18,52
8	1_2	21,85	51,22	23,00	86,56	-	-	16,88	19,37
9	1_3	21,79	51,61	22,99	86,73	-	-	16,65	19,12
Průměr		21,74	51,12	23,03	86,56	-	-	16,56	19,00
Směrodatná odchylka		0,14	0,55	0,07	0,18	-	-	0,38	0,44
10	O1_1	21,96	52,53	23,13	87,66	-	-	16,11	18,32
11	O1_2	22,07	52,58	23,14	87,30	-	-	15,60	17,57
12	O1_3	21,20	52,43	22,95	86,82	-	-	15,80	17,84
Průměr		21,74	52,51	23,08	87,26	-	-	15,84	17,91
Směrodatná odchylka		0,47	0,07	0,11	0,42	-	-	0,25	0,38
13	1.5_1	23,59	77,95	24,38	133,42	19,06	16,89	16,83	28,00
14	1.5_2	23,81	78,68	24,18	132,56	18,49	16,55	16,96	28,22
15	1.5_3	23,64	78,13	24,19	132,25	18,51	16,58	17,24	28,76
Průměr		23,68	78,25	24,25	132,74	18,69	16,67	17,01	28,32
Směrodatná odchylka		0,11	0,38	0,11	0,60	0,32	0,19	0,21	0,39
16	O1.5_1	23,24	76,85	24,25	132,56	18,90	16,99	17,13	28,51
17	O1.5_2	23,18	75,93	24,36	133,25	19,50	17,58	17,23	28,65
18	O1.5_3	23,31	76,39	24,40	134,15	19,40	17,55	15,16	28,67
Průměr		23,25	76,39	24,34	133,32	19,27	17,37	16,51	28,61
Směrodatná odchylka		0,06	0,46	0,08	0,80	0,32	0,33	1,17	0,08

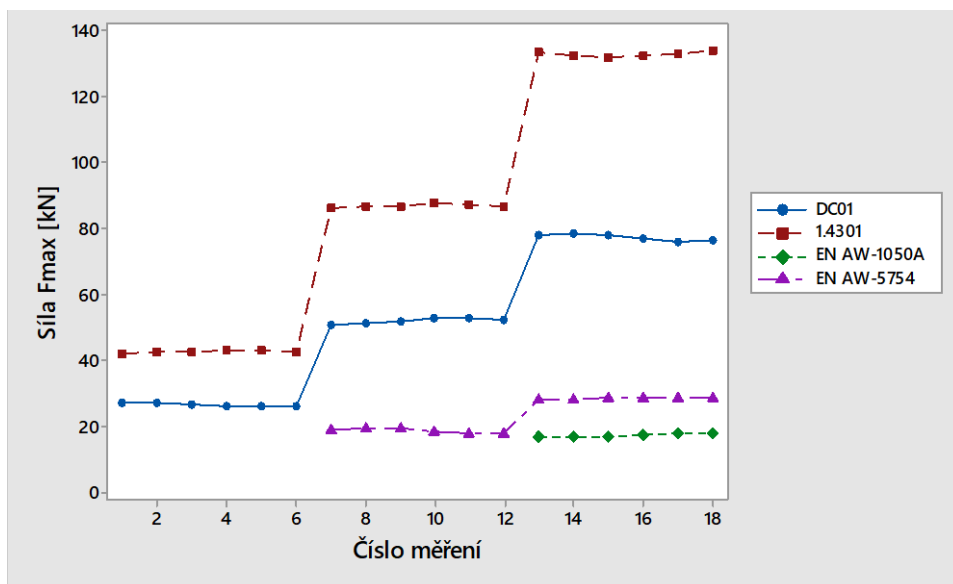
10.2.1 Vizualizace dat

Na Obr. 47 je opět znázorněna dráha H pro jednotlivá měření. Oproti zkoušce dle Erichsena dochází k velkým výkyvům naměřených hodnot. Paradoxní je také docílení nižších hodnot při použití zejména u materiálu EN AW-5754 nebo DC01.



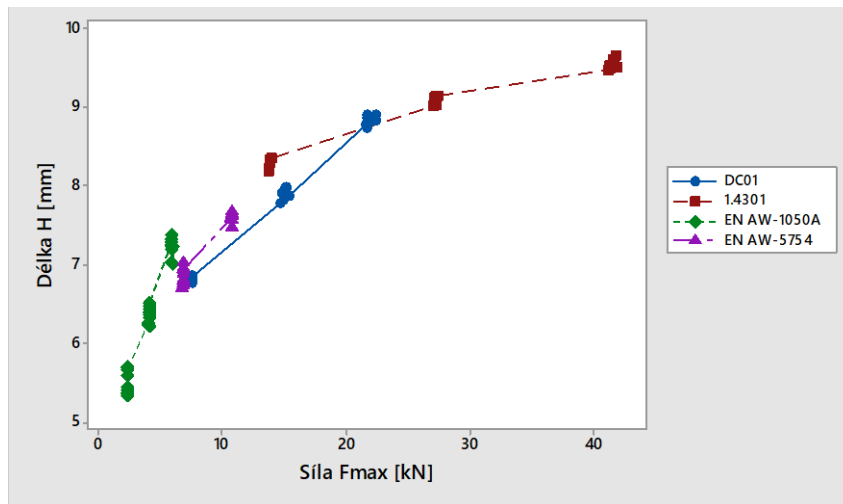
Obr. 47 Zkouška pomocí nástrojů dle Nakajimi

Z pohledu maximálních sil jsou rozdíly při měření minimální. Průběh nárůstu je srovnatelný se zkouškou dle Erichsena.

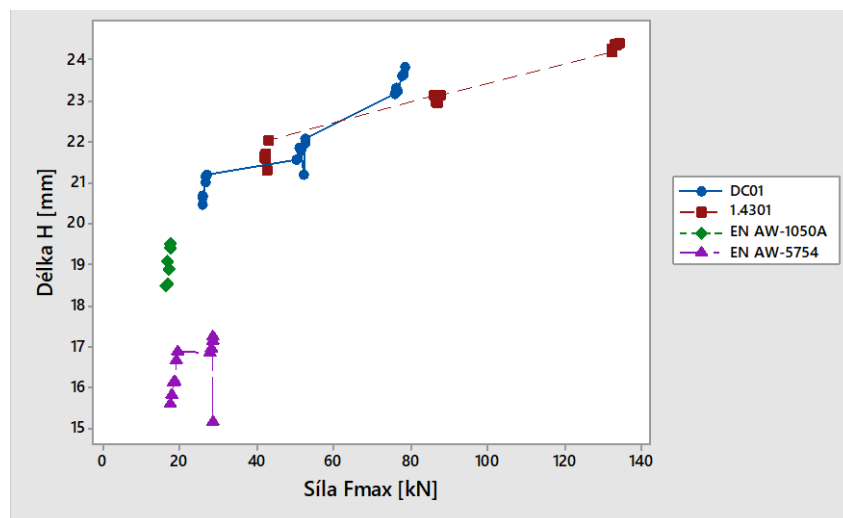


Obr. 48 Výsledky sil F_{max} pomocí nástrojů dle Nakajimi

Při porovnání závislosti dráhy tažníku na maximální síle u všech čtyřech materiálů v grafech na Obr. 49 a Obr. 50 je vidět postupný narůstající trend při zvyšování tloušťky. Výjimkou jsou hliníkové slitiny při zkoušce s pomocí nástrojů dle Nakajimi, kdy u slitiny EN AW-1050A byla změřena pouze tloušťka 1,5 mm a u slitiny EN AW-5754 je nárůst minimální, z čehož jedno měření se výrazně vychyluje od ostatních. V případě další práce s těmito daty by měla být ověřena správnost zkoušek u hliníkových slitin.



Obr. 49 Závislost dráhy H na síle F_{max} u zkoušek dle Erichsena



Obr. 50 Závislost dráhy H na síle F_{max} u zkoušky s pomocí nástrojů dle Nakajimi

10.3 Zkouška na nástroji s brzdící drážkou a bez ní se změnou přidržovací síly

Díky zkoušce dle Erichsena bylo rozhodnuto, že pro další zkoušky bude uvažován pouze materiál DC01 a 1.4301 o tloušťce 0,5 mm. Vlastnosti těchto ocelí se ukázaly jako vyhovující pro hluboké tažení. U těchto měření bylo účelem zjistit vliv síly přidržovače F_p na průběh celého tažení.

Vzhledem k tomu, že při předchozích měřeních nebyla zjištěna závislost použití oleje na výsledcích zkoušek, nebyl pro další měření použit.

10.3.1 Naměřené hodnoty s použitím brzdící drážky

Jednotlivá měření byla očíslována jako v předešlých případech. Název měření byl však změněn na sílu přidržovače, za nímž následuje číslo označující měření v dané sérii.

Tabulka 17 Naměřené hodnoty materiálů DC01 a 1.4301 s použitím brzdící drážky

Materiál DC01					Materiál 1.4301				
číslo měření	název měření	F_p [kN]	H	F max	číslo měření	název měření	F_p [kN]	H	F max
1	20kN_1	20	32,70	39,80	1	25kN_1	25	41,24	77,81
2	20kN_2	20	38,15	45,08	2	25kN_2	25	41,51	77,68
3	20kN_3	20	37,60	45,10	3	25kN_3	25	40,85	77,01
Průměr			36,15	43,33	Průměr			41,20	77,50
Směrodatná odchylka			3,00	3,06	Směrodatná odchylka			0,33	0,43
4	25kN_1	25	26,68	31,50	4	30kN_1	30	37,81	72,83
5	25kN_2	25	27,55	32,95	5	30kN_2	30	37,21	72,07
6	25kN_3	25	26,84	32,02	6	30kN_3	30	37,03	71,48
Průměr			27,02	32,16	Průměr			37,35	72,13
Směrodatná odchylka			0,46	0,73	Směrodatná odchylka			0,41	0,67
7	30kN_1	30	24,74	29,19	7	40kN_1	40	27,16	49,89
8	30kN_2	30	24,42	28,69	8	40kN_2	40	27,58	50,80
9	30kN_3	30	24,12	28,49	9	40kN_3	40	27,18	49,95
Průměr			24,42	28,79	Průměr			27,31	50,21
Směrodatná odchylka			0,31	0,36	Směrodatná odchylka			0,24	0,51
10	40kN_1	40	22,88	27,19	10	50kN_1	50	25,03	45,75
11	40kN_2	40	22,90	27,24	11	50kN_2	50	24,76	44,93
12	40kN_3	40	22,94	27,23	12	50kN_3	50	25,06	45,61
Průměr			22,91	27,22	Průměr			24,95	45,43
Směrodatná odchylka			0,03	0,02	Směrodatná odchylka			0,17	0,44
13	60kN_1	60	21,90	26,58	13	60kN_1	60	23,39	43,04
14	60kN_2	60	21,53	26,28	14	60kN_2	60	23,72	43,08
15	60kN_3	60	21,72	26,49	15	60kN_3	60	23,77	43,23
Průměr			21,72	26,45	Průměr			23,63	43,11
Směrodatná odchylka			0,18	0,15	Směrodatná odchylka			0,21	0,10

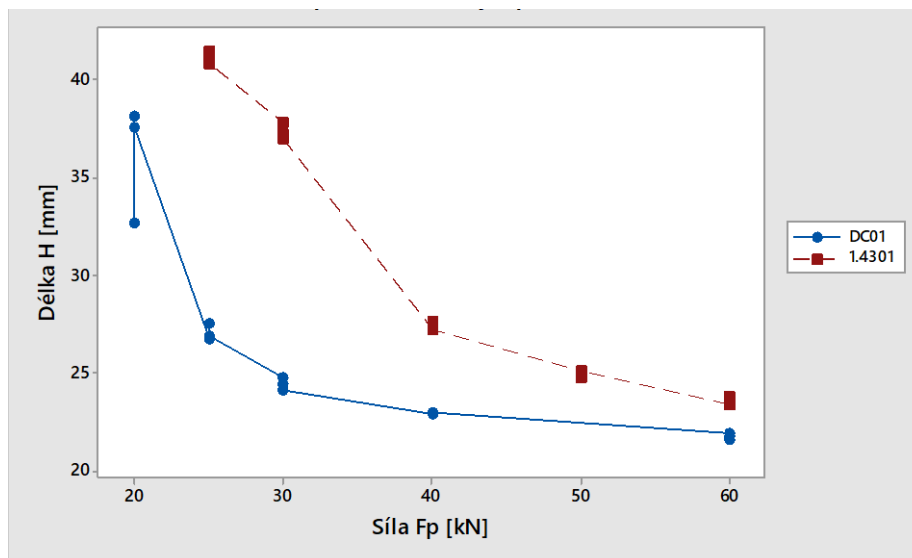
V tabulce Tabulka 17 Naměřené hodnoty materiálů DC01 a 1.4301 s použitím brzdící drážky je zřejmé, že pro oba typy materiálu byly zvoleny jiné přidržovací síly. Bylo tak rozhodnuto

z důvodu, že materiály potřebují rozdílné přidržovací síly a síla 20 kN nedokázala zabránit zvlnění výtažku z materiálu 1.4301.

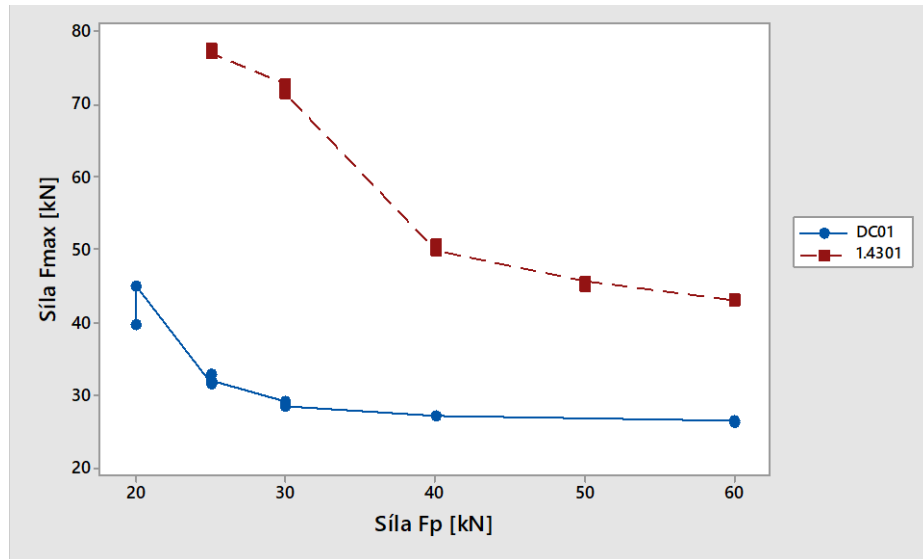
10.3.2 Vizualizace dat měření s brzdící drážkou

Hlavním zkoumaným kritériem bylo změnění délky tažení H v porovnání s přidržovací silou F_p . Hodnoty jsou znázorněny na Obr. 51, kde lze pozorovat nepřímou úměru mezi těmito veličinami. U nižších hodnot F_p dochází k markantním změnám délky, která se s přibývajícím silou přidržovače ustaluje.

V grafu je také lépe vidět jedna vychýlená hodnota u DC01. K tomuto vychýlení mohlo dojít špatným uložením zkušebního tělesa ve stroji nebo lokální poruchou materiálu.



Obr. 51 Vliv přidržovací síly F_p na délku H



Obr. 52 Vliv přidržovací síly F_p na maximální sílu tažníku F_{max}

Podobnou závislost na přidržovací síle má i síla tažníku F_{max} na Obr. 52. Díky tomuto průběhu lze předpokládat, že dochází při tažení k vytvoření míst s vysokým namáháním. V těchto místech se vytvoří prasklina, která se následně šíří po celém obvodu dílu.

10.3.3 Naměřené hodnoty bez použití brzdící drážky

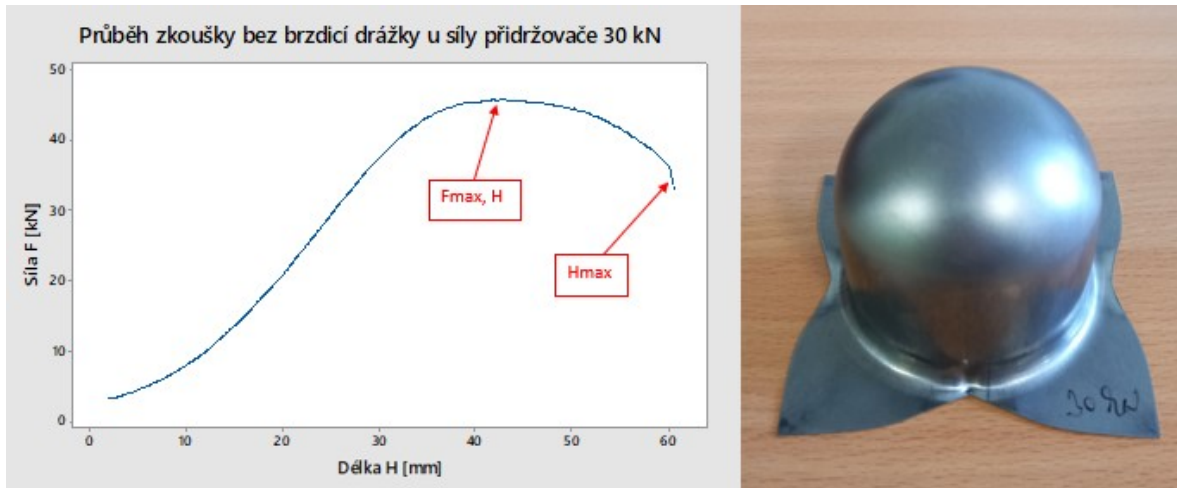
Při tomto měření byl zvolen materiál DC01 o tloušťce 0,5 mm. Krom hodnot H a F_{max} je oproti předchozím zkouškám také měřena H_{max} , což je hodnota délky dráhy tažníku před ukončením zkoušky.

Tabulka 18 Naměřené hodnoty bez použití brzdící drážky

Materiál DC01					
číslo měření	název měření	F _p [kN]	H	F max	H max
1	30kN_1	30,00	42,93	45,85	60,54
2	30kN_2	30,00	42,62	45,83	60,26
3	30kN_3	30,00	42,52	45,54	60,53
Průměr			42,69	45,74	60,44
Směrodatná odchylka			0,21	0,17	0,16
4	35kN_1	35,00	42,56	46,71	61,32
5	35kN_2	35,00	39,09	46,97	58,30
6	35kN_3	35,00	42,92	46,51	62,18
Průměr			41,52	46,73	60,60
Směrodatná odchylka			2,12	0,23	2,04
7	40kN_1	40,00	43,80	48,26	62,51
8	40kN_2	40,00	43,63	47,91	62,58
9	40kN_3	40,00	44,59	47,36	62,87
Průměr			44,01	47,84	62,65
Směrodatná odchylka			0,51	0,45	0,19
10	45kN_1	45,00	42,23	48,27	43,06
11	45kN_2	45,00	37,73	47,28	38,89
12	45kN_3	45,00	37,43	46,98	38,25
Průměr			39,13	47,51	40,07
Směrodatná odchylka			2,69	0,67	2,61
13	43kN_1	43,00	39,81	47,89	41,05
14	42kN_1	42,00	38,24	47,66	39,60
15	41kN_1	41,00	43,30	47,87	62,68

Hodnota H_{\max} je v případě měření bez brzdící drážky nejvíce vypovídající. Důvodem je odlišné ukončení zkoušky od předchozích, kdy při zkoušce zkušební těleso vždy prasklo. V tomto případě byla zkouška velmi často ukončena ve chvíli, kdy v některých místech došlo ke vtažení celého materiálu. Síla v tomto případě následně rychle poklesla, avšak nedošlo k porušení výtazku.

Průběh této zkoušky je názorně ukázán u Obr. 53, kde je dosaženo maximální síly dlouho před tím, než je zkouška ukončena. Je to dáno snižující se plochou působící přidržovačem na zkušební těleso, kdy postupným vtahováním materiálu klesá odporová síla vůči tažení.

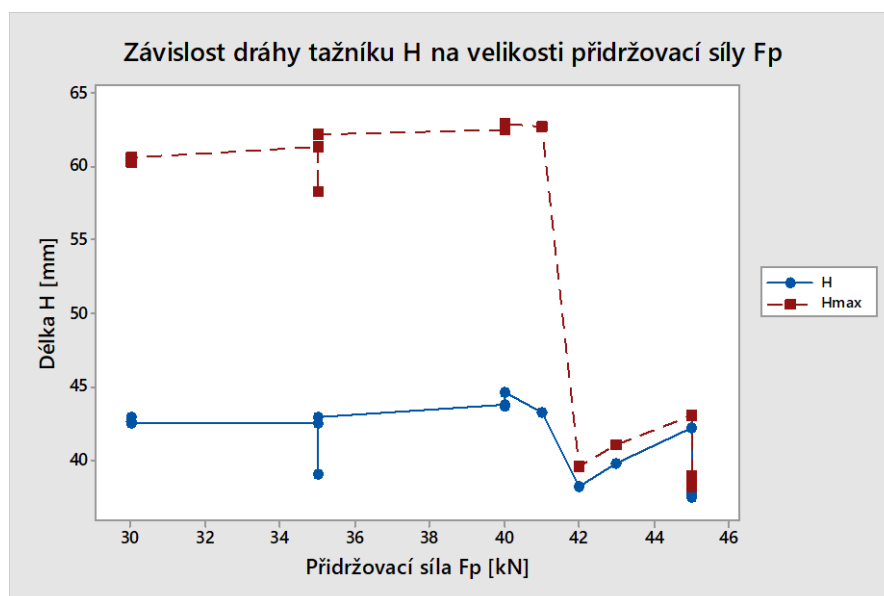


Obr. 53 Znáznornění veličin u zkoušky bez brzdící drážky

U měření s použitím přidržovací síly 45 kN došlo k prasknutí zkušebního tělesa. Bylo tedy rozhodnuto, že série posledních tří měření bude sloužit k postupnému navyšování přidržovací síly mezi intervalem 40 až 45 kN, což je rozmezí, ve kterém začne docházet k porušení vzorků.

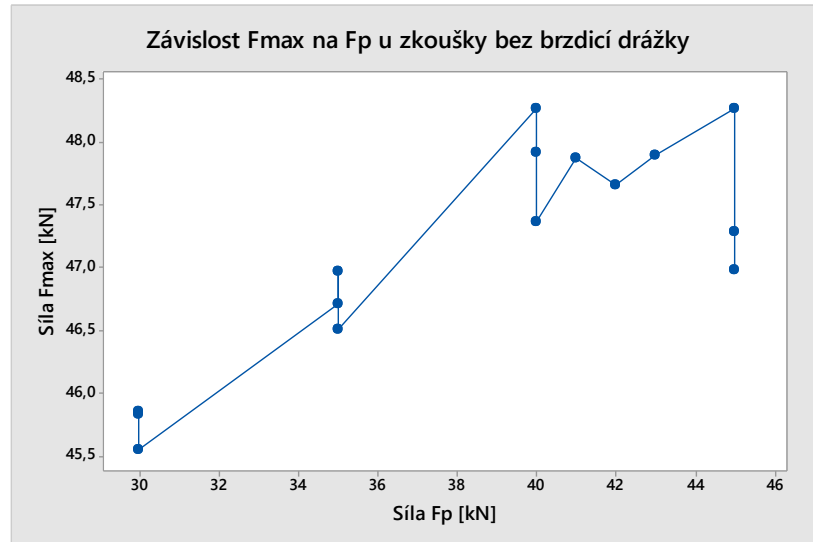
10.3.4 Vizualizace dat měření bez brzdící drážky

V grafu na Obr. 54 je znázorněn rozdíl drah H a H_{max} . Hodnoty jsou diametrálně rozdílné do F_p 42 kN, což je síla, při které začne docházet k prasklině na zkušebním tělese.

Obr. 54 Závislost dráhy tažníku H na velikosti přidržovací síly F_p

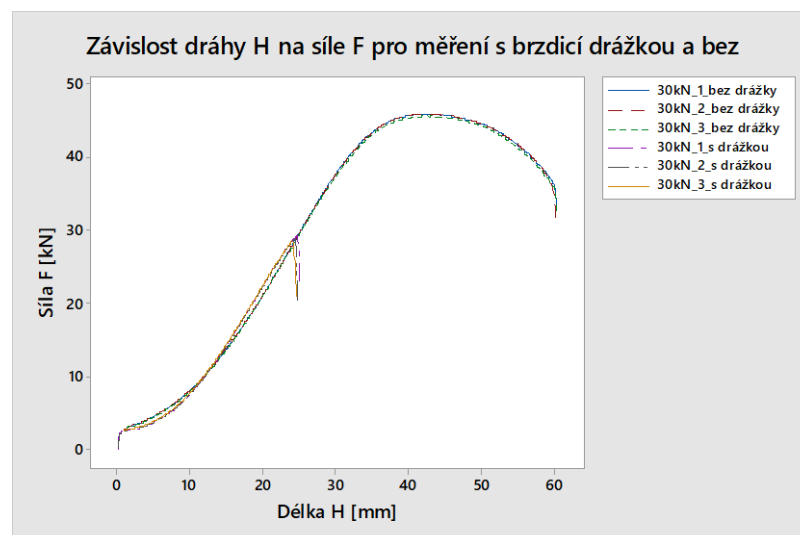
Je také vidět mírné zvyšování délky H_{max} při navyšování přidržovací síly od 30 do 40 kN. Díky větší přidržovací síle je materiál více natahován a je tak docíleno vyššího výtažku.

Při porovnání závislosti maximální síly na síle přidržovače v grafu na Obr. 55 síla F_{\max} má tendenci růst a následně kolísá. Nárůst je způsoben stejně jako v předchozím grafu nárůstem přidržovací síly. I tak je rozptyl v hodnotách velmi malý oproti zkouškám s brzdící drážkou.



Obr. 55 Závislost F_{\max} na F_p u zkoušky bez brzdící drážky

Na Obr. 56 je zobrazeno srovnání průběhu zkoušek bez brzdící drážky a s ní. V obou případech byla síla přidržovače 30 kN. U zkoušky s brzdící drážkou lze pozorovat, že než dojde k prasknutí zkušebního tělesa, dochází ke strmějšímu růstu síly oproti zkoušce bez brzdící drážky.



Obr. 56 Závislost dráhy H na síle F pro měření s brzdící drážkou a bez

11 SIMULACE TAŽENÍ V PROGRAMU AUTOFORM R8

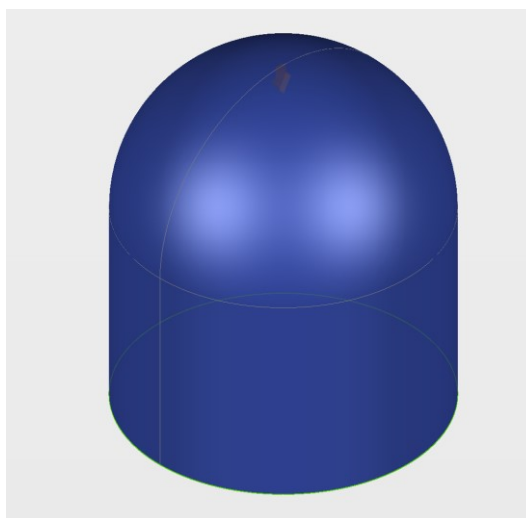
Simulační software AutoForm R8 je využíván jak pro studie vyrobitelnosti dílů, tak dále pro simulace celého procesu tváření i s kalkulací cen výrobku a přípravy výroby. Lze zde simulovat různé možnosti tváření od použití výstředníkových nebo hydraulických lisů po hydroforming a další nestandardní formy tváření.

11.1 Nastavení podmínek v simulaci

Nastavení podmínek probíhá v programu AutoForm intuitivně. Uživatel je veden jednotlivými kroky, ve kterých definuje potřebné parametry. Pokud programu chybí některé informace pro vytvoření simulace, daná záložka svítí červeně.

11.1.1 Model simulované součásti

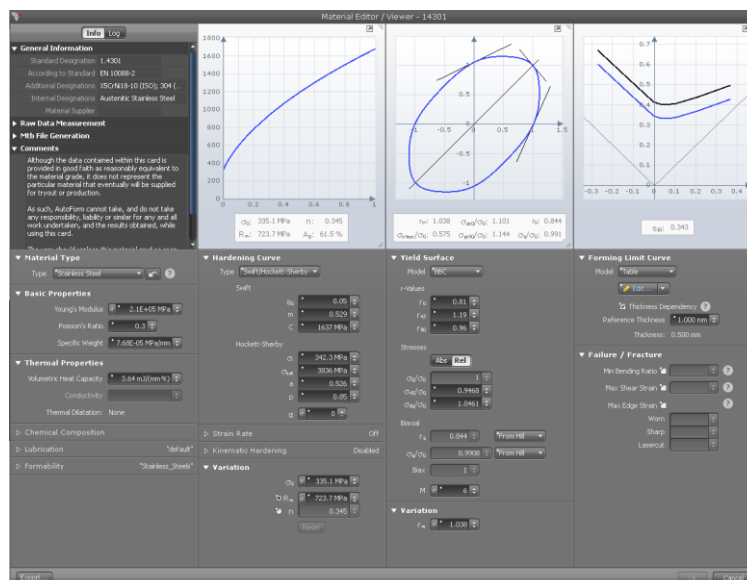
V první řadě musí být vytvořen model součásti, který je následně naimportován do softwaru. V tomto případě byl model vytvořen podle tvaru tažníku a ze získaných výtažků zkoušek. Díl byl modelován tak, aby měl tvar výtažků, ale hluboký tah byl větší, než nejhlubší tah ze zkoušky z důvodu porovnání průběhu celého tažení. Tvar modelovaného výrobku je znázorněn na Obr. 57. Model nelze namodelovat přímo v programu AutoForm R8, ale je vytvořen v jakémkoliv softwaru vhodným pro vytváření 3D objektů a následně importován ve správném formátu do programu AutoForm. Po importu musí být model extrahován tak, aby program zjistil směr tažení.



Obr. 57 Model simulovaného tělesa

11.1.2 Volba materiálu

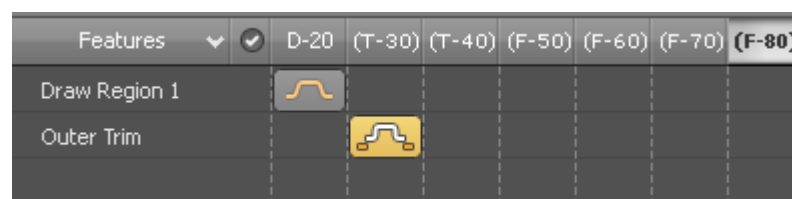
Program disponuje svou databází různých typů materiálů rozdělených dle norem. Dále jsou součástí vybrané materiály od velkých výrobců hutního materiálu. V praxi je velmi často pro projekt vybrán jeden dodavatel materiálu, který následně poskytne výrobcí svůj materiálový model pro simulace zhotovený pomocí zkoušek přímo na jejich materiálu. I když jsou materiály všemi výrobci vyráběny dle norem, jsou mezi nimi rozdíly, které mohou mít vliv na konečný výtažek. V tomto případě bohužel nebylo možné potřebný model od výrobce získat a bylo nutné vycházet z modelů v databázi AutoForm. Při výběru materiálu se objeví tabulka s jednotlivými vlastnostmi materiálu (Obr. 58), kde je vše možné změnit.



Obr. 58 Tabulka vlastností materiálu 1.4301

11.1.3 Výběr stroje a rozvržení jednotlivých operací

V programu lze vytvářet stroje s vlastními výrobními charakteristikami. V tomto případě byl využit jeden z hydraulických lisů v databázi programu. Po zvolení stroje program automaticky navrhne postup jednotlivých operací výroby (Obr. 59). V tomto případě lze vidět, že program navrhl operaci tažení (D-20) a následně operaci obstříhnutí (T-30).

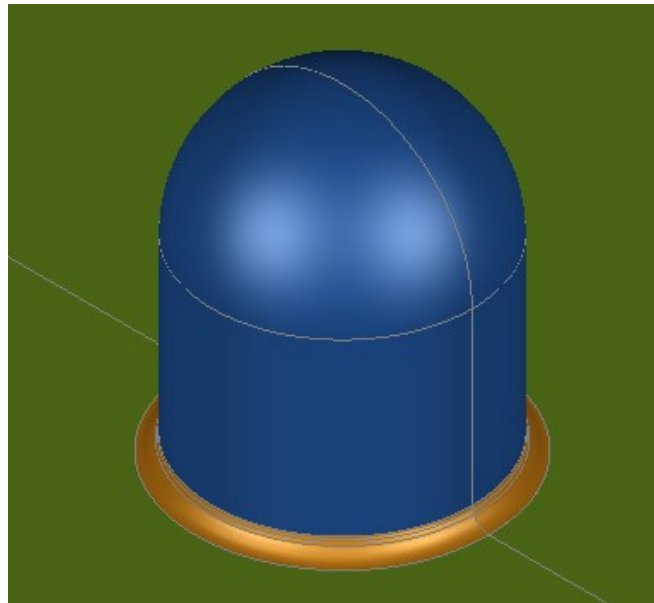


Obr. 59 Harmonogram operací navržený programem

Vzhledem k tomu, že v této simulaci se jedná zejména o průběh tažení, byla operace obstržení vypuštěna. Díky tomu je název T-30 v závorce, jelikož se s danou operací již nebude dále pracovat.

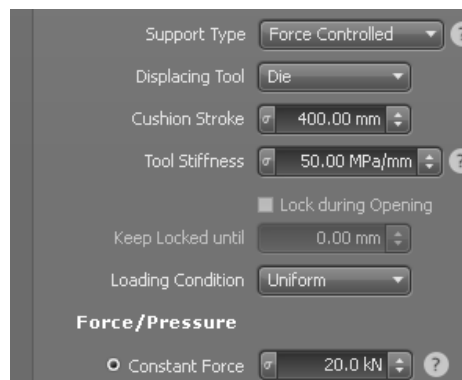
11.1.4 Nastavení přídržovače

V možnostech programu je nastavení různých typů přidržení včetně zadání polohy působení přídržovače nebo různých charakteristik přitlaku. V tomto případě byl použit jednoduchý přídržovač ve tvaru desky, který je podél celého výtažku. Vzhledem k tomu, že přídržovač v průběhu zkoušek zároveň fungoval jako tažnice, je jeho hrana, přes kterou je materiál tažen, opatřena zaoblením (Obr. 60) stejně jako na reálných zkušebních nástrojích.



Obr. 60 Znárodnění zaoblené hrany přídržovače

V záložce tool byla následně zvolena možnost konstantního přidržení, tedy že přidržení je v průběhu tažení neměnné, a byla zadána potřebná síla přidržení.



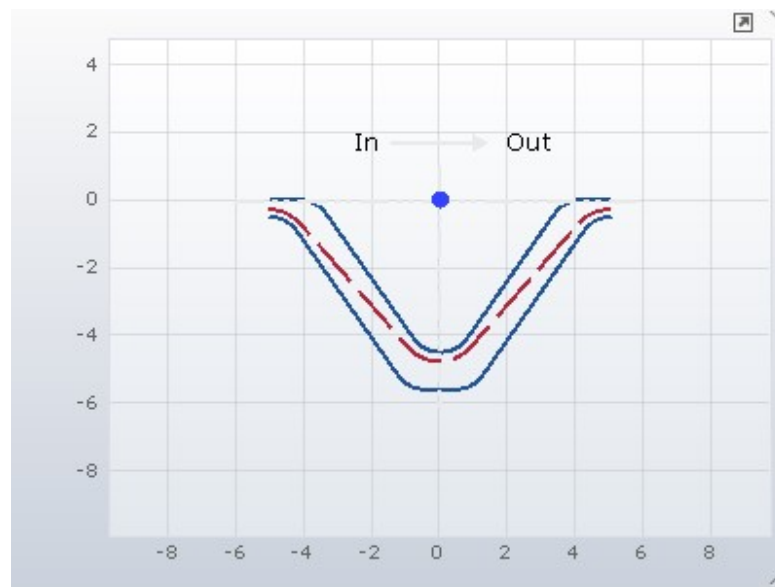
Obr. 61 Nastavení přídržovače

11.1.5 Výběr polotovaru

Polotovar byl nastaven dle velikosti zkušebního tělesa. Tedy byl zvolen čtvercový přístřih s délkou strany 120 mm. Jeho střed byl vyrovnán s osou tažníku.

11.1.6 Definování brzdící drážky

V simulaci popisující zkoušku s brzdící drážkou bylo potřeba tuto drážku definovat. Nejprve bylo zadáno odsazení od dílu, kde se drážka nachází. Následně bylo nutné vytvořit profil této drážky (Obr. 62), jelikož potřebný tvar nebyl v možnostech výběru.

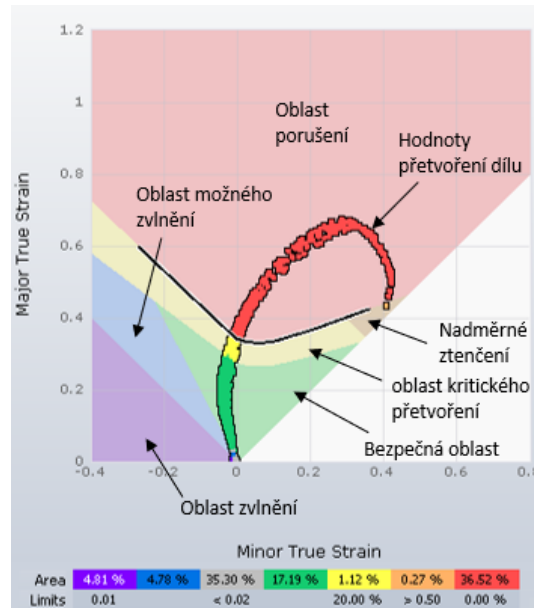


Obr. 62 Profil brzdící drážky

11.2 Výsledky simulací

Mezi výsledky, které program AutoForm R8 vyhodnocuje, jsou kromě základních výstupů jako vykreslení FLD diagramu nebo ztenčení stěn výrobku, také predikce zpětného odpružení materiálu nebo kvality povrchu. Z pohledu této práce bylo hlavní kritérium FLD diagram s vykreslením kritických míst na dílu. Simulace pak byla vyhodnocována v určité části tahu.

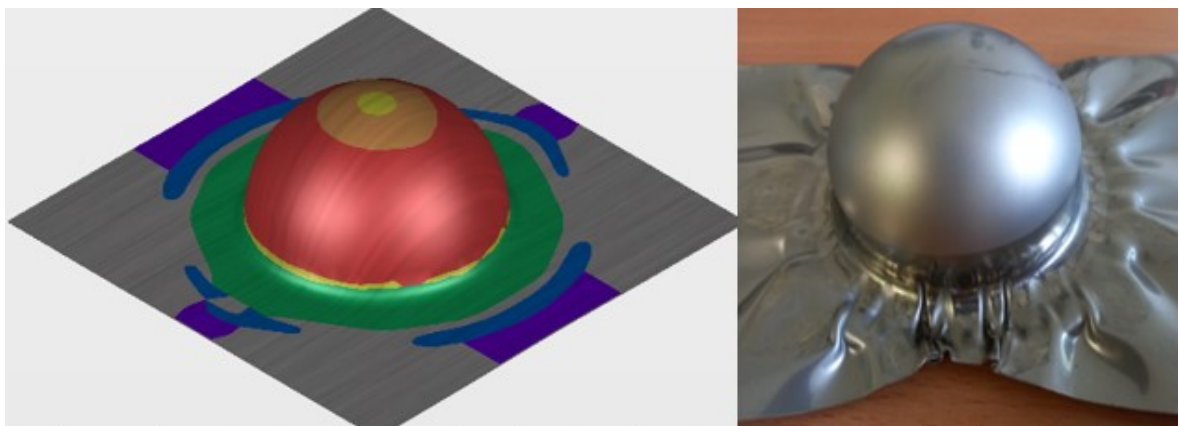
Vykreslení je rozlišeno do jednotlivých barev (Obr. 63), které udávají jednotlivé oblasti přetvoření. Těmito barvami je také značeno namáhání přímo na dílu. Zde se kromě barev z diagramu objevuje také šedá barva, která vyznačuje nevyužitý materiál. Tato informace je v praxi velmi důležitá kvůli možné úspoře materiálu.



Obr. 63 Polis FLD diagramu

11.2.1 Vyhodnocení simulace materiálu 1.4301 s brzdící drážkou

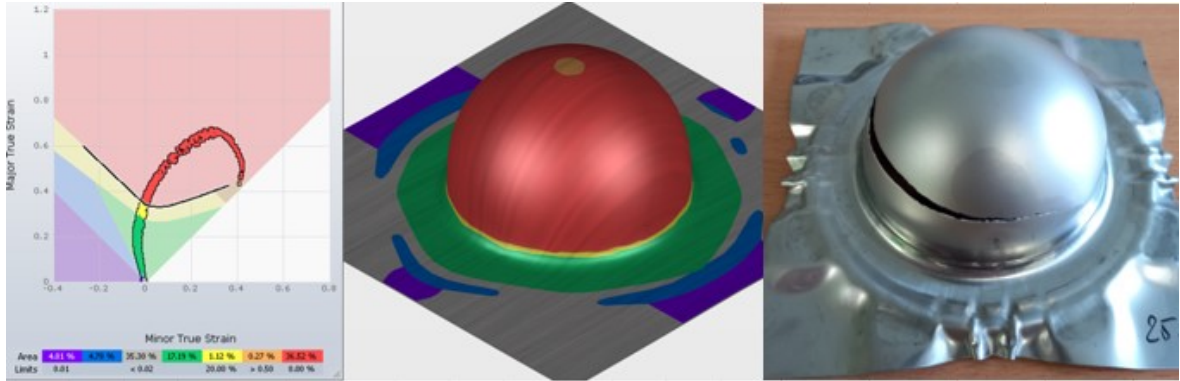
Nejprve byla zvolena síla přidržovače 20 kN, což byla hodnota, při které zvlnění materiálu přecházelo z brzdící drážky dále do výtažku. Z toho důvodu nebylo toto měření zahrnuto do práce a byla zvolena vyšší počáteční síla. Jak lze vidět na Obr. 64, i při nízkém tahu dochází v obvodu brzdící drážky k velké pravděpodobnosti zvlnění, které dále přechází do dílu. Je zde dobře vidět, že zatímco v rozích není materiál využit, dochází k velkým zvlněním uprostřed hran zkušební tělesa.



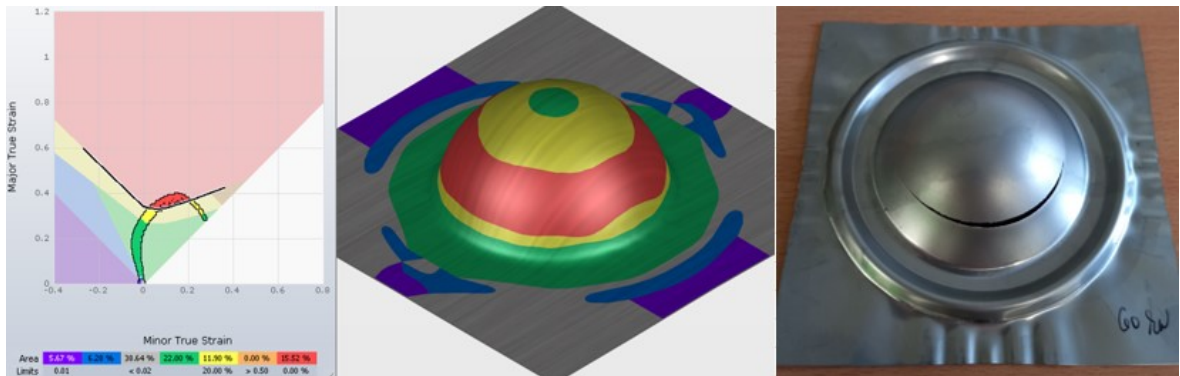
Obr. 64 Vizualizace přetvoření u materiálu 1.4301 s použitím přidržovací síly 20 kN

Pro další simulaci byla již zvolena síla přidržení 25 kN, jak tomu bylo v prvních měřeních uvedených v práci. Vývoj přetvoření byl sledován v hloubce tažení 41 mm, kdy přibližně docházelo k prasknutí reálných zkušebních těles.

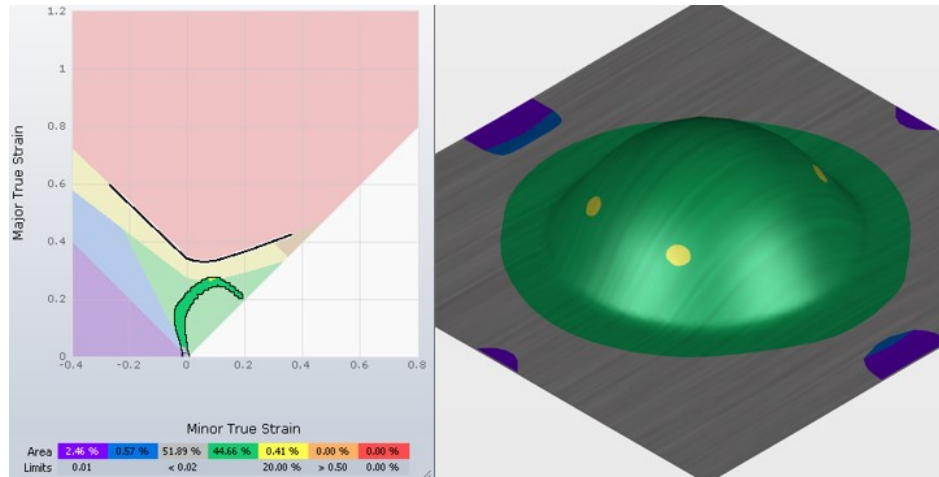
Ve výsledku simulace lze pozorovat výraznou oblast, kde velmi pravděpodobně dojde k porušení dílu. Bezpečná oblast nastává pouze v místech, ve kterých dochází ke kontaktu s přídržovačem.



Obr. 65 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. 1.4301 u síly F_p 25 kN a výšce 41 mm
 V další simulaci byla zvolena přídržovací síla 60 kN, což byla maximální přídržovací síla použita při zkouškách. Na Obr. 66, kde je znázorněn výtažek při vytažení 24 mm (přibližná výška v době reálných porušení zkušebních těles), je pozorována kritická oblast po obvodu výtažku. V těchto místech došlo k reálnému přetržení výrobku. Oproti předchozí simulaci je rozdíl v kritické oblasti, kdy u velikosti přídržení 25 kN bylo hodnot v kritické oblasti mnohem více a rostly výš přes mezní křivku.



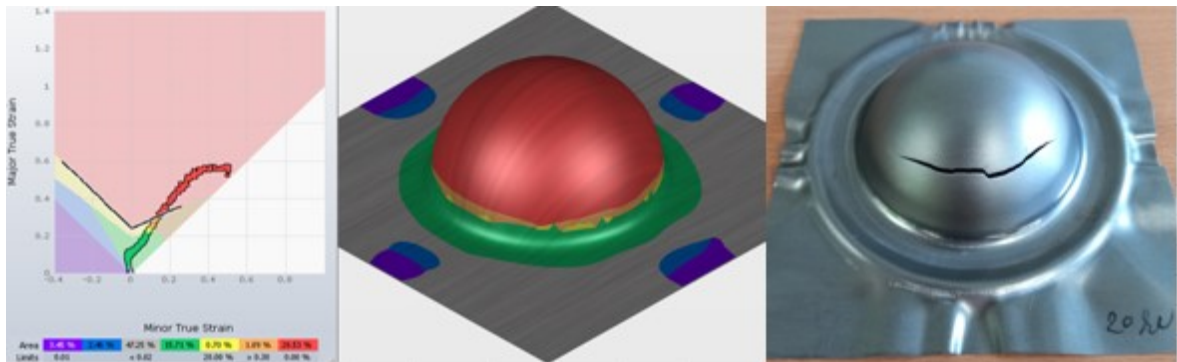
Obr. 66 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. 1.4301 u síly F_p 60 kN a výšce 24 mm
 Pro porovnání byl vytvořen snímek při vytažení 20 mm, kde je většina výtažku v bezpečné oblasti. Je zde vidět jakou rychlostí probíhá nárůst kritických hodnot během čtyřech milimetrů tahu.



Obr. 67 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. 1.4301 u síly F_p 60 kN a výšce 20 mm

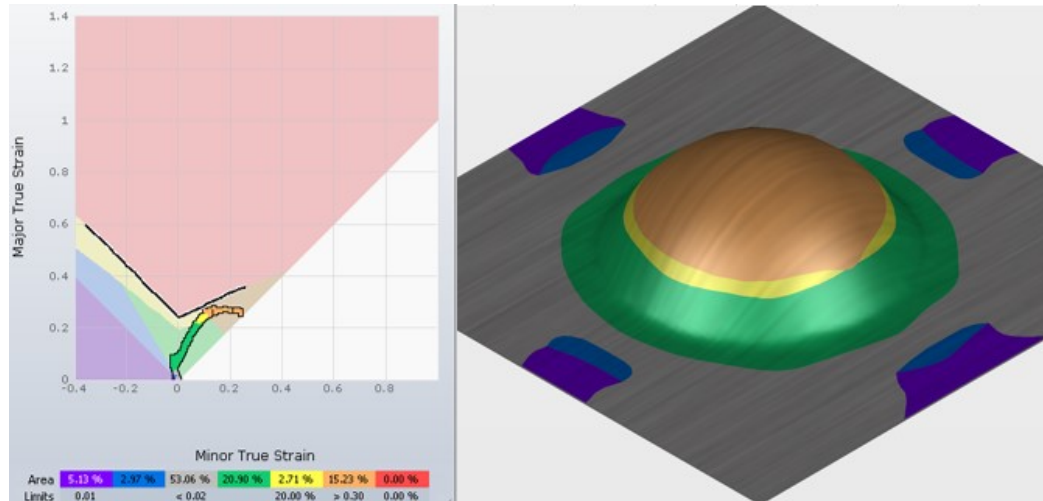
11.2.2 Vyhodnocení simulace materiálu DC01 s použitím brzdicí drážky

Pro první simulaci byla zvolena přídržovací síla 20 kN, což byla nejnižší přídržovací síla u zkoušek. Nejprve byla simulace vytvořena pro hloubku tažení 35 mm, kde praskala reálná zkušební tělesa. Jako v případě 1.4301 kritické hodnoty hloubce přesahovaly mezní křivku. Materiál dále nevykazoval tak velké zvlnění. V reálném stavu také docházelo v případě materiálu DC01 k menšímu zvlnění. Při porovnání mezních křivek lze pozorovat markantní změny v FLD diagramu, potažmo FLC křivce.



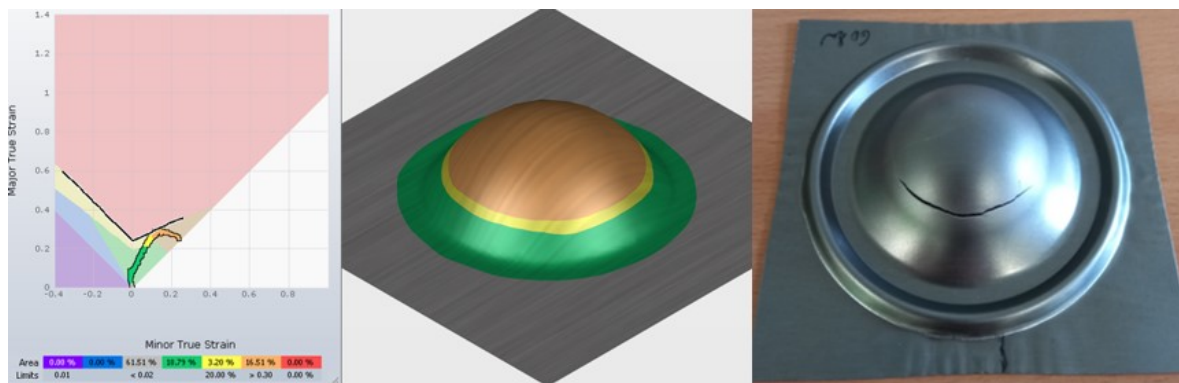
Obr. 68 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 20 kN a výšce 35 mm

Pro porovnání (Obr. 69) byla zjištěna výška výtažku 24 mm, ve které nedocházelo k žádným kritickým oblastem tažení. Tato výška je velmi vzdálená od výšky, při které materiál v průběhu zkoušek praskal.



Obr. 69 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 20 kN a výšce 24 mm

V totožné výšce výtažku je výsledek simulace na Obr. 70, kde byla použita síla přidržovače 60 kN. Rozdíl v části tažení je nepatrný, ovšem bylo odstraněno zvlnění plechu. V reálné zkoušce docházelo v této výšce k porušení plechu. Zvlnění zde bylo menší než s nižší přidržovací silou, nepodařilo se ho však odstranit úplně.

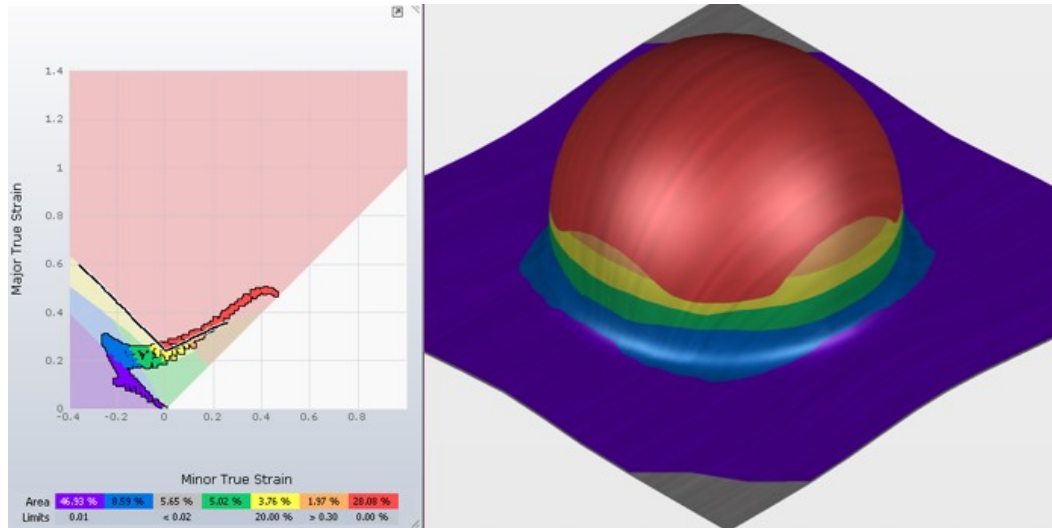


Obr. 70 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 60 kN a výšce 24 mm

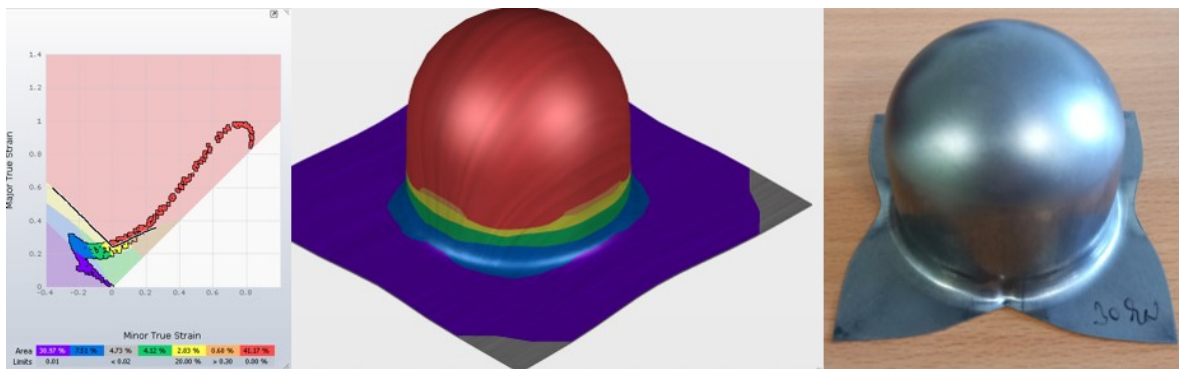
11.2.3 Vyhodnocení simulace materiálu DC01 bez použití brzdící drážky

V posledním kroku byly provedeny simulace bez brzdící drážky. Opět se simulace zaměřovala na minimální a maximální přidržovací sílu. Rozdíl byl ve sledovaných délkách výtažku, jelikož u reálných měření nedocházelo k prasknutí tělesa. Z toho důvodu byla simulace s přidržovací silou 30 kN sledována v bodě maximálních sil při zkouškách, dále v bodě ukončení zkoušky a v místech jistého přetržení tělesa v simulaci.

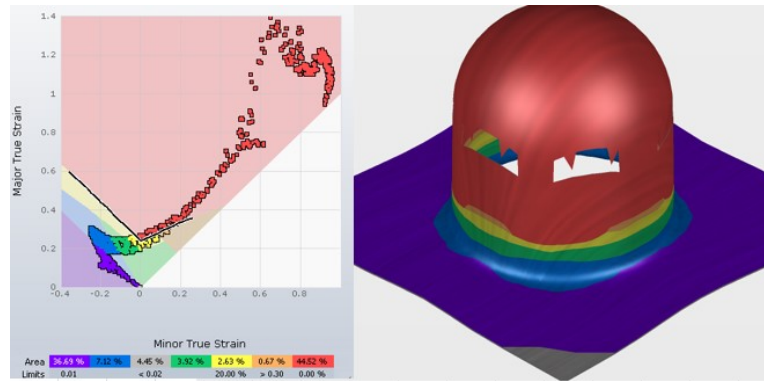
Na Obr. 71 je znázorněn výtazek ve výšce tažení 43 mm. Na FLD diagramu lze pozorovat kritické hodnoty kopírující FLC křivku. Na dílu je velká oblast s vysokou pravděpodobností vlnění a celkově je plech v prostředku stěn vtahován.



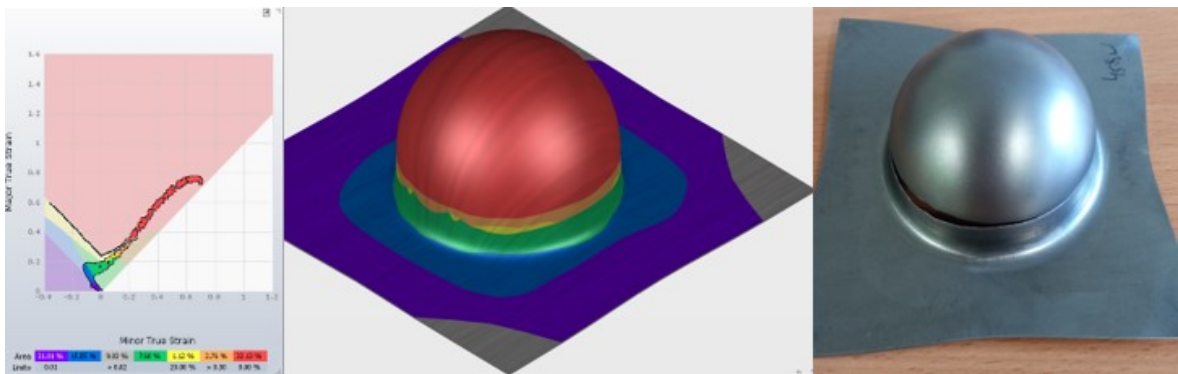
Obr. 71 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 30 kN a výšce 43 mm
 Ve výšce 60 docházelo při zkouškách k ukončení zkoušky z důvodu, že byl materiál v některých místech zcela vtažen. Simulace na Obr. 72 ukazují velkou pravděpodobnost velkého zvlnění, není však zdaleka tak markantní jako u reálného plechu.



Obr. 72 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 30 kN a výšce 60 mm
 V případě, že byl průběh simulace pozorován dále, u dílu došlo k přetržení ve výšce tažení 70 mm. K přetržení dílu v simulačním softwaru dojde ve chvíli, kdy je přetržení téměř jisté. V FLD diagramu lze pozorovat extrémní hodnoty velmi vzdálené od bezpečných hodnot.



Obr. 73 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 30 kN a výšce 70 mm
 Poslední simulace proběhla se silou přidržení 45 kN. Při tomto přidržení již docházelo k porušení tělesa. Díky tomu byl sledován průběh deformace ve výšce vytažení 40 mm. I v tomto případě jsou hodnoty kritických bodů velmi vzdáleny od FLC křivky a plech pod přidržovačem jeví známky zvlnění.

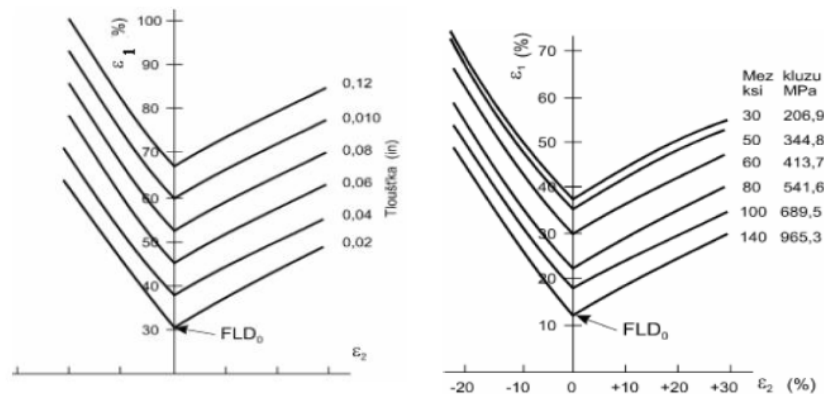


Obr. 74 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 45 kN a výšce 40 mm

DISKUZE VÝSLEDKŮ

V rámci diplomové práce byly nejprve vybrány materiály, u kterých byla měřena jejich tvářitelnost a vliv mazání olejem na průběh tažení. Hlavním výsledkem zkoušky dle Erichsena byla výška tahu, při které došlo k porušení materiálu. Nejlepších hodnot bylo docíleno u materiálu 1.4301, který vykazoval hodnoty 8,3 mm u tloušťky 0,5 mm a 9,5 mm u tloušťky 1,5 mm. Zároveň u tohoto materiálu docházelo k nejvyšším nárůstům sil v průběhu tažení, které se u tloušťky 0,5 mm pohybovaly okolo 14 kN a u tloušťky 1,5 mm přesahovaly 41 kN. Naopak nejnižších hodnot nabýval materiál EN AW-1050A, jenž vykazoval pro tloušťku 0,5 hloubku tažení 5,3 mm při síle tažníku 2,4 kN a 7,2 mm u tloušťky 1,5 mm při síle 6 kN.

Z výsledků je patrné, že nejpodstatnější vliv má v tomto případě na zkoušku tloušťka materiálu a mez kluzu daného materiálu. Na Obr. 75 je znázorněn vývoj FLC křivky na změnách těchto dvou veličin. Dále bylo zjištěno, že síla tažení narůstala úměrně tloušťce materiálu, což by bylo možné využít v predikci výsledku pro jiné tloušťky materiálu.

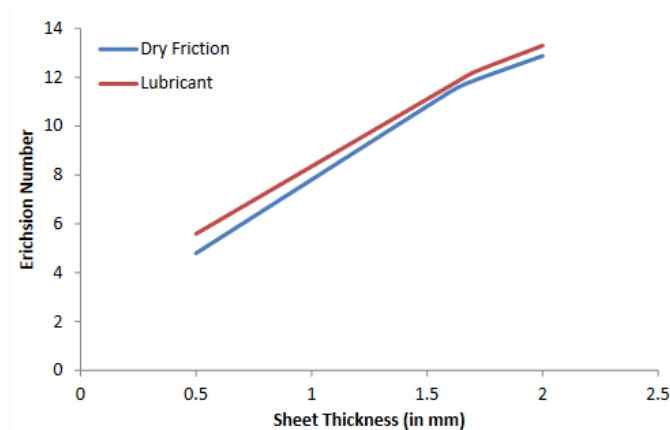


Obr. 75 Závislost FLC křivky na tloušťce materiálu (vlevo) a mezi kluzu (vpravo) [45]

Trend vývoje u zkoušek s brzdící drážkou byl obdobný. Došlo k nárůstu měřených veličin, což bylo způsobeno jiným tvarem zkušebních nástrojů. Ke kolizím docházelo u materiálu EN AW-1050A, který při tloušťce 0,5 a 1 mm praskal v okolí brzdící drážky ihned po zahájení zkoušky. Hodnoty měření u hliníkových slitin byly velmi rozptýlené a není zaručená správnost těchto výsledků. Při budoucím zkoušení těchto materiálů nebo konstrukci nástroje by měl být uvažován jiný tvar brzdící drážky, aby zde nedocházelo k porušení materiálu.

V této práci se zároveň nepovedlo prokázat a popsat vliv použití oleje na tažení. Výsledky byly při různých materiálech a tloušťkách nejednoznačné. Pro zjištění těchto vlivů by bylo

nutné provést další měření. Bylo by také dobré zvážit typy olejů s důrazem na jejich vlastnosti při hlubokém tažení a vyzkoušet různé varianty pro různé typy materiálů. Níže lze pozorovat výsledek z výzkumu použití oleje při zkoušce dle Erichsena na hliníkovou slitinu AA 1200. I zde jsou patrné rozdíly při použití lubrikace a bez mezi jednotlivými tloušťkami.



Obr. 76 Vliv oleje na zkoušku dle Erichsena [46]

Na základě výše zmíněných zkoušek byly pro další zkoušky vybrány materiály DC01 a 1.4301 o tloušťce 0,5 mm. V těchto měřeních byl posuzován vliv brzdící drážky a změny přidržovací síly na průběh tažení. Při využití brzdící drážky výška výtažku a maximální síla klesaly s navyšováním přidržovací síly. K prasknutí vždy docházelo v místě dna výtažku. Oproti tomu bez použití brzdící drážky výtažky často nejevily známku praskliny a zkouška skončila po vtažení veškerého materiálu v některých místech tažení. Výška výtažku i maximální síla se při navyšování přidržovací síly zvětšovaly do síly přidržení 41 kN. Při dalším zvyšování přidržovací síly výtažek v místech dna opět praskal v průběhu zkoušky.

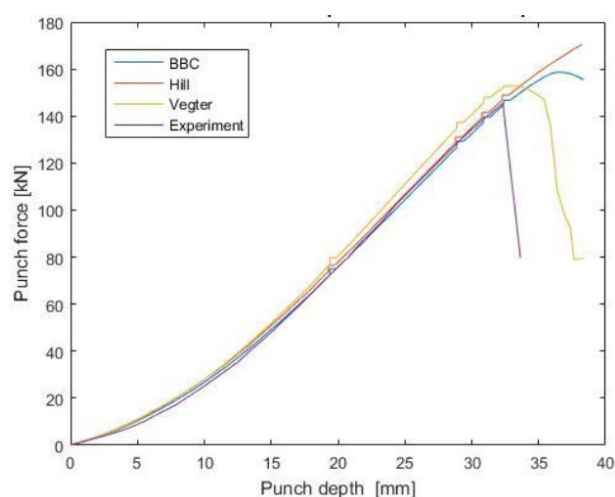
Postupné snižování výtažku v závislosti na zvýšení přidržovací síly u použití brzdící drážky je připisováno vzniku lokálních extrémů, kde docházelo k vysokému namáhání a vzorek v nejvíce namáhaných místech praskal. Naopak při použití nástrojů bez brzdící drážky k tak extrémnímu namáhání nedocházelo do určité velikosti přidržovací síly. Po tuto dobu se výška výtažků stupňovala větším natažením materiálu, díky čemuž docházelo k pozdějšímu vtažení. Tento jev je v praxi velmi využíván díky úspoře materiálu a zároveň zvýšení tuhosti dílu. Při pozorování průběhů zkoušek s použitím brzdící drážky a bez bylo zjištěno, že síla tažení se při použití drážky navyšuje rychleji, než v případě bez drážky.

Pro ověření těchto měření byl využit program AutoForm R8, ve kterém proběhlo zhotovení simulací průběhu tváření ve vybraných zkouškách. U těchto simulací byl zaznamenán průběh namáhání v FLD diagramu ve výšce tažení, kde došlo k porušení reálného vzorku.

Ze simulací byly zjištěny oblasti kritického namáhání v místech dna výrobku, kde docházelo k reálnému praskání výtažků. Dále zde byly znázorněny místa nevyužitého materiálu v rozích přístřihu, vtažení přístřihu a jeho zvlnění v místech pod přídržovačem. Tato místa byla stejná i u reálných těles, avšak v reálném prostředí docházelo k markantnějšímu zvlnění i vtažení plechu, než jaké byly simulovány. Co se týče kritických míst na výtažku, docházelo ve výšce reálného přetržení v simulacích k razantnímu překročení mezní křivky. Program často predikoval tvorbu prasklin mnohem dříve, než k nim při reálném měření došlo.

Možné rozpory simulací od výrobku mohou být tvořeny několika parametry. Mezi nejpodstatnější patří rozdíl mezi vlastnostmi materiálu reálného a použitého v simulacích. Veškeré materiály mají normou povolené rozpětí chemického složení a mechanického chování. Například u materiálu DC01 je dovolená mez pevnosti v rozsahu 270 až 410 MPa, což jsou razantní rozdíly ovlivňující průběh deformace. Program s tímto rozptylem musí pracovat a počítat s nižšími mechanickými hodnotami.

Dalším důležitým rozdílem mezi simulací a reálným měřením byla rychlost a samotný průběh deformace. V programu byl zvolen jeden z možných strojů, které program nabízí. Jeho rychlost zdvihu a zrychlení je vyšší, než bylo použito ve zkouškách. Posledním parametrem je použitý materiálový model, kdy pro materiál 1.4301 byl využit materiál s modelem BBC. V případě materiálu DC01 byl však v softwaru dostupný pouze model Hill, což je jeden z nejstarších výpočtových modelů. Rozdíly mezi modely mohou být v některých případech velké, jako je tomu na Obr. 77.



Obr. 77 Charakteristika materiálu pro jednotlivé modely [40]

ZÁVĚR

V teoretické části práce byly popsány základní principy a pojmy tváření materiálu. Bylo zde vysvětleno základní rozdělení tváření a popsány jednotlivé technologie plošného tváření se zaměřením na hluboké tažení. Dále se práce zabírala mechanickými zkouškami, jejich průběhem, výsledky, jejich vyhodnocováním a aplikací. V závěru teoretické části byly popsány základní vlastnosti materiálů, vliv jednotlivých chemických prvků na tváření a základy simulačních softwarů pro plošné tváření.

V první fázi praktické části práce byly vybrány čtyři materiály v závislosti na jejich použití a dostupnosti. Následně u těchto materiálů byla zjišťována jejich tvářitelnost a vliv mazání na průběh tažení zkouškou dle Erichsena a pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi. Zkoušeny byly plechy o tloušťce 0,5 až 1,5 mm. Z měření nebylo možné určit, jakým způsobem mazání ovlivňuje průběh tažení vzhledem k nejednoznačnosti výsledků. U slitin hliníku byl pak problém s praskáním materiálu v místech brzdící drážky.

Na základě výše zmíněných zkoušek byly vybrány materiály DC01 a 1.4301 v tloušťce 0,5 mm, u kterých byl zkoumán vliv změny přídržovací síly a brzdící drážky na průběh tažení. Pro zkoušky byly vytvořeny čtvercové přístřihy, které následně byly taženy pomocí nástrojů dle Nakajimi. Nejprve byl použit nástroj s brzdící hranou, kdy se při nárůstu přídržovací síly snižoval výtažek a síla tažení vlivem praskání v části dna. U zkoušek bez brzdící drážky k prasknutí nedocházelo do překročení určité velikosti přídržovací síly. Zkouška v těchto případech končila vtažením veškerého materiálu do dutiny v určitých místech výtažku.

Po zpracování výsledků těchto zkoušek byly vytvořeny jejich simulace pro vybrané přídržovací síly v programu AutoForm R8. Zde bylo porovnáno namáhání a deformace dílce po proběhnutí zkoušky. K tomu sloužil FLD diagram s vykreslením bodů namáhání daného dílu a vizualizace dílu s barevně vyznačenými oblastmi. Z výsledků simulace byl zjištěn předpoklad praskliny v nižší výšce tažení, než k němu reálně docházelo, naopak zvlnění a vtažení materiálu v místech přídržovače oproti skutečnosti nebylo tak markantní.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*, 2001. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-010-2351-6.
- [2] ALTAN, Taylan a Erman TEKKAYA, 2012. *Sheet Metal Forming - Fundamentals* [online]. 1. Ohio: ASM International [cit. 2023-02-11]. ISBN 978-1-62198-304-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpSMFF0001/sheet-metal-forming-fundamentals/sheet-metal-forming-fundamentals>
- [3] HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. Fourth edition. New York: Cambridge University Press, 2014, xii, 331 s. ISBN 978-1-107-67096-9.
- [4] SOŇA, Benešová a Bernášek VLADIMÍR, 2014. *Technologie tváření* [online]. 1. Plzeň: Západočeská univerzita [cit. 2023-02-11]. ISBN 978-80-261-0449-0. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/16833/1/TechnologietvareniTTSS.pdf>
- [5] *Technologie tváření a slévání - teoretický základ: Vliv tváření na vlastnosti a strukturu materiálu* [online], 2013. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava [cit. 2023-02-11]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/vy_01_004/
- [6] LENFELD, Petr. *Technologie II*. www.ksp.tul.cz [online]. [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [7] DRASTÍK, František, [2002]-. *Strojnická příručka: vývoj, výpočty, konstrukce, technologie, výroba*. Praha: Dashöfer. ISBN 80-862-2965-3.
- [8] HOFFMAN, H. a SCHULER, [2012]-. *Metal Forming Handbook*. Vyd. 2. vydání. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. ISBN 978-3-642-58857-0.s
- [9] *DIN 8580: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung*, 2012. Berlin: Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN).
- [10] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS, 2014. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [11] KURCIK, Jan. *Tváření*. Techstroj [online]. 2012 [cit. 2023-2-12]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T06.pdf>
- [12] ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK, 2014. *Konstrukce tvářecích strojů: Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2023-02-12]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/295570608.pdf>
- [13] FRISCHHERZ, Adolf a Paul SKOP, c1996. *Technologie zpracování kovů 1: základní poznatky*. 2. vyd. Praha: SNTL. Správa přípravy učňů. ISBN 80-902-1100-3.

- [14] DVORŽÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ, 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [15] ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYA, ed. *Sheet metal forming: processes and applications*. Ohio: ASM International, 2012, xiii, 365 s. ISBN 978-1-61503-844-2.
- [16] TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. Berlin: Springer, [2010], xii, 405 s. ISBN 978-3-642-06977-2
- [17] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA, 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-2374-9.
- [18] BANABIC, Dorel. *Sheet metal forming processes: constructive modelling and numerical simulation*. Berlin: Springer, [2010], xiii, 301 s. ISBN 978-3-540-88112-4
- [19] Lange a Kurt, 1985. *Handbook of Metal Forming* [online]. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers [cit. 2023-02-14]. ISBN 978-1-62198-004-9. Dostupné z: https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpHMF00004/toc?issue_id=kpHMF00004&hierarchy=toggle-content
- [20] Boljanovic a Vukota, 2014. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design* [online]. 2nd Edition. South Norwalk: Industrial Press [cit. 2023-02-14]. ISBN 978-1-5231-0152-8. Dostupné z: https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpSMFPDDEE/toc?b-q=metal%20forming&include_synonyms=no&issue_id=kt010V7U61&hierarchy=undefined
- [21] ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK, 2003. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství. ISBN 80-718-3284-7.
- [22] Bralla a James, 2007. *Handbook of Manufacturing Processes: How Products, Components and Materials are Made* [online]. New York: Industrial Press [cit. 2023-02-15]. ISBN 978-1-60119-933-1. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpHMPHPCM1/toc?b-q=deep%20drawing&include_synonyms=no&issue_id=kt006HRVG2&hierarchy=undefined
- [23] Smith a David, 2001. *Die Maintenance Handbook* [online]. Michigan: Society of Manufacturing Engineers [cit. 2023-02-16]. ISBN 978-1-61344-950-9. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpDMH00001/toc?b-q=Progressive%20and%20transfer%20die&include_synonyms=no&issue_id=kpDMH00001&hierarchy=undefined
- [24] Koç, Muammer a Özel, 2020. *Modern Manufacturing Processes* [online]. 1. John Wiley [cit. 2023-02-16]. ISBN 978-1-5231-2837-2. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpMMP00011/toc?b-q=effect%20of%20tool%20surface%20quality%20on%20deep%20drawing&include_synonyms=no&issue_id=kt0125HOC5&hierarchy=toggle-content

- [25] ČSN EN ISO 6892-1, 2021. *Kovové materiály - Zkoušení tahem: Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Česká agentura pro standardizaci.
- [26] KOTOUČ, Jiří, 1993. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 80-010-1003-1.
- [27] ČSN EN 1669 (420409), 1999. *Hliník a slitiny hliníku - Zkušební metody: Zkouška anizotropie plechů a pásů (kalíškovací)*. Český normalizační institut.
- [28] ČSN EN ISO 12004-1, 2021. *Kovové materiály - Stanovení křivek mezní tvařitelnosti pro plechy a pásy: Část 1: Měření a aplikace diagramů mezní tvařitelnosti v lisovně*. Česká agentura pro standardizaci.
- [29] ČSN EN ISO 12004-2, 2021. *Kovové materiály - Stanovení křivek mezní tvařitelnosti pro plechy a pásy: Část 2: Stanovení křivek mezní tvařitelnosti v laboratoři*. Česká agentura pro standardizaci.
- [30] *Forming Limit Curve (FLC) to ISO 12004: Forming limit diagram (FLD), forming limit curve (FLC)* [online]. Německo [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/>
- [31] *International Journal of Mechanical Sciences* [online], 2016. (117) [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020740316301746>
- [32] ČSN EN ISO 20482, 2014. *Kovové materiály - Plechy a pásy - Zkouška hloubením podle Erichsena*. Česká agentura pro standardizaci.
- [33] *Erichsen sheet metal testing: Machine 102* [online]. Rakousko [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.fh-ooe.at/en/wels-campus/werkstofftechnik/departement-of-materials-engineering/equipment/materials-testing/erichsen-102/>
- [34] *Rozdělení oceli pro automobilový průmysl* [online]. Česká republika [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://workswell.cz/rozdeleni-oceli-pro-automobilovy-prumysl/#nizkopevnostni-oceli>
- [35] ČSN EN 10130, 2007. *Ploché výrobky z hlubokotažných ocelí válcované za studena k tváření za studena: Technické dodací podmínky*. Český normalizační institut.
- [36] *Oceli válcované za studena - dle en: Konstrukční a hlubokotažné oceli* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.pasovaocel.cz/produkty/vyrobní-program/ocel-valcovana-za-studena-dle-en/>
- [37] Tang, Jwo a Pan, 2007. *Mechanics Modeling of Sheet Metal Forming* [online]. Warrendale: SAE Internationa [cit. 2023-02-19]. ISBN 978-0-7680-3476-9. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpMMSMF002/toc?b-q=sheet%20metal%20forming%20simulation&include_synonyms=no&issue_id=kpMMSMF002&hierarchy=undefined
- [38] *International Journal of Material Forming* [online], 2018. [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-Autoforms-FLD-and-Pam-Stamps-FLD-with-the-respective-state-of-the_fig12_322938184

[39] *Systematic Drawbead Design for Optimal Process Definition: Drawbead Reduction Strategy Put to the Test on B-Pillar Trial* [online], 2019. [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://formingworld.com/systematic-drawbead-design/>

[40] NILSSON, Kevin, 2019. *Material modeling in Sheet Metal Forming Simulations: Quality comparison between commonly used material models* [online]. Sweden [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1332059/FULLTEXT01.pdf>. Faculty of Mechanical Engineering, Blekinge Institute of Technology.

[41] *Ocel korozivzdorná* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.pasovaocel.cz/produkty/vyrobní-program/ocel-korozivzdorna/>

[42] ČSN EN 573-3+A1, 2023. *Hliník a slitiny hliníku - Chemické složení a druhy tvářených výrobků: Část 3: Chemické složení a druhy výrobků*. Český normalizační institut.

[43] ČSN EN 485-2+A1, 2019. *Hliník a slitiny hliníku - Plechy, pásy a desky: Část 2: Mechanické vlastnosti*. Česká agentura pro standardizaci.

[44] Product Information: BUP 400 / BUP 600 Sheet Metal Testing Machines for testControl II. In: *ZwickRoell* [online]. [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: https://www.zwickroell.com/fileadmin/content/Files/SharePoint/user_upload/PI_EN/11_93_3_BUP_400_BUP_600_testControl_II_PI_EN.pdf

[45] PETRUŽELKA, Jiří a Pavel SONNEK. *Tvařitelnost kovových materiálů* [online]. 3 Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006, poslední aktualizace 9.1.2007

[46] SINGH, Monika a Kumar CHOUBEY, 2017. Formability Analysis of Aluminium Alloy by Erichsen Cupping Test Method. *International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016)*. **5**, 805-810. ISSN 2214-7853.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MPa	Megapascal
σ	Napětí
τ	Smykové napětí
FLD	Diagram mezní tváritelnosti
FLC	Křivka mezní tváritelnosti
IE	Erichsenův index
FEM	Metoda konečných prvků
mm	Milimetr
N	Newton
kN	Kilonewton
tl.	Tloušťka
F	Síla tažníku působící na zkušební těleso
F_{\max}	Maximální síla působící na zkušební těleso
H	Délka dráhy tažníku
F_p	Síla přidržovače
H_{\max}	Maximální délka dosažená tažníkem před ukončením zkoušky

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Složky napětí působící na nekonečně malý prvek [3]	13
Obr. 2 Roviny kluzu na základě typu dislokace [6].....	14
Obr. 3 Schéma krystalické mřížky při dvojčatění [7].....	15
Obr. 4 Rozsah tvářecích teplot [11]	16
Obr. 5 Vztah při zkoušce tahem mezi napětím a přetvořením [7].....	16
Obr. 6 Schéma procesu stříhání [15]	18
Obr. 7 Stříhání s nátláčnou hranou [6].....	19
Obr. 8 Schéma procesu ohýbání [17].....	19
Obr. 9 Schéma typů ohybu [2].....	20
Obr. 10 Typy vad při hlubokém tažení [18]	21
Obr. 11 Válcový výtažek při prostém tahu	22
Obr. 12 Schéma tažení s přidržovačem [13].....	22
Obr. 13 Schéma zpětného tažení [21]	23
Obr. 14 Tažení kuželových výtažků [19].....	23
Obr. 16 Rozložení žeber v nástroji [14].....	24
Obr. 15 Brzdící žebra (1- tažník, 2 - tažnice, 3 - přidržovač, 4 - žebro, 5- výrobek) [14]... 24	24
Obr. 17 Výtažek obdélníkové nádoby [23].....	25
Obr. 18 Diagram tahové zkoušky [25].....	26
Obr. 19 Schéma vzorků pro určení anizotropie materiálu [26]	27
Obr. 20 Schématický řez kalíškem (h_v - Výška prohlubně mezi cípy, h_p - výška vrcholu cípu) [27].....	28
Obr. 21 Schéma kalíškovací zkoušky (1 - zkušební těleso, 2 - tažnice , 3 - přidržovač, 4 - tažník) [14].....	28
Obr. 22 Diagram mezní tvářitelnosti [29].....	29
Obr. 23 Zkušební tělesa pro stanovení FLC křivky [30]	29
Obr. 24 Nástroje pro zkoušky dle Nakajimy a Marciniaka [30].....	30
Obr. 25 Schéma zkoušky dle Erichsena [33]	30
Obr. 26 Třídy ocelí používaných v automobilovém průmyslu [34]	31
Obr. 27 Výsledky analýzy proveditelnosti [38].....	35
Obr. 28 Analýza brzdících žeber [39].....	35
Obr. 29 Diagramy materiálových vstupů.....	37
Obr. 30 Zkušební zařízení BUP 600 [44]	43
Obr. 31 Tažnice pro zkoušku dle Erichsena	45
Obr. 32 Uchycení tažníku Obr. 33 Nasunutí přidržovače	46

Obr. 34 Výtažky po zkoušce dle Erichsena u materiálu DC01	47
Obr. 35 Výtažky ze slitiny hliníku EN AW-1050A tl. 1,5 mm	48
Obr. 36 Prasklina u materiálu EN AW-1050A tl. 0,5 mm.....	48
Obr. 37 Zvlnění materiálu 1.4301 při použití malé přidržovací síly	50
Obr. 38 Velikost přidržovací síly u vzorků z materiálu DC01 (horní) a 1.4301 (spodní) ...	50
Obr. 39 Výtažky ze zkoušky bez brzdící drážky	51
Obr. 40 Porovnání výtažků z materiálu DC01 při zkoušce s drážkou a bez drážky.....	51
Obr. 41 Zkouška dle Erichsena: dráha tažníku	55
Obr. 42 Zkouška dle Erichsena: síla F_{max}	55
Obr. 43 Erichsen: průběh zkoušky u materiálu DC01 tl. 1,5 mm.....	56
Obr. 44 Průběh zkoušky dle Erichsena pro tloušťku 0,5 mm.....	57
Obr. 45 Průběh zkoušky dle Erichsena pro tloušťku 1 mm.....	57
Obr. 46 Průběh zkoušky dle Erichsena pro tloušťku 1,5 mm.....	57
Obr. 47 Zkouška pomocí nástrojů dle Nakajimi.....	59
Obr. 48 Výsledky sil F_{max} pomocí nástrojů dle Nakajimi.....	59
Obr. 49 Závislost dráhy H na síle F_{max} u zkoušek dle Erichsena.....	60
Obr. 50 Závislost dráhy H na síle F_{max} u zkoušky s pomocí nástrojů dle Nakajimi	60
Obr. 51 Vliv přidržovací síly F_p na délku H.....	62
Obr. 52 Vliv přidržovací síly F_p na maximální sílu tažníku F_{max}	63
Obr. 53 Znázornění veličin u zkoušky bez brzdící drážky	65
Obr. 54 Závislost dráhy tažníku H na velikosti přidržovací síly F_p	65
Obr. 55 Závislost F_{max} na F_p u zkoušky bez brzdící drážky.....	66
Obr. 56 Závislost dráhy H na síle F pro měření s brzdící drážkou a bez.....	66
Obr. 57 Model simulovaného tělesa	67
Obr. 58 Tabulka vlastností materiálu 1.4301.....	68
Obr. 59 Harmonogram operací navržený programem	68
Obr. 60 Znázornění zaoblené hrany přidržovače.....	69
Obr. 61 Nastavení přidržovače	69
Obr. 62 Profil brzdící drážky	70
Obr. 63 Polis FLD diagramu.....	71
Obr. 64 Vizualizace přetvoření u materiálu 1.4301 s použitím přidržovací síly 20 kN	71
Obr. 65 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. 1.4301 u síly F_p 25 kN a výšce 41 mm	72
Obr. 66 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. 1.4301 u síly F_p 60 kN a výšce 24 mm	72

Obr. 67 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. 1.4301 u síly F_p 60 kN a výšce 20 mm	73
Obr. 68 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 20 kN a výšce 35 mm	73
Obr. 69 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 20 kN a výšce 24 mm	74
Obr. 70 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 60 kN a výšce 24 mm	74
Obr. 71 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 30 kN a výšce 43 mm	75
Obr. 72 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 30 kN a výšce 60 mm	75
Obr. 73 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 30 kN a výšce 70 mm	76
Obr. 74 FLD diagram a vizualizace přetvoření mat. DC01 u síly F_p 45 kN a výšce 40 mm	76
Obr. 75 Závislost FLC křivky na tloušťce materiálu (vlevo) a mezi kluzu (vpravo) [45] ..	77
Obr. 76 Vliv oleje na zkoušku dle Erichsena [46]	78
Obr. 77 Charakteristika materiálu pro jednotlivé modely [40].....	79

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozdělení výrobních technologií dle DIN 8580 [9]	15
Tabulka 2 Vlastnosti DC01-A-m (1.0330) dle ČSN EN 10130 [35].....	40
Tabulka 3 Vlastnosti 1.4301 (X5CrNi18-10) dle EN 10088-2 [41]	40
Tabulka 4 Mechanické vlastnosti hliníku EN AW-1050A H24 dle ČSN EN 573-3+A1 [42]	41
Tabulka 5 Chemické vlastnosti hliníku EN AW-1050A H24 dle ČSN EN 485-2+A1 [43]	41
Tabulka 6 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5754 H111 dle ČSN EN 573-3+A1 [42]	41
Tabulka 7 Chemické vlastnosti slitiny EN AW-5754 H111 dle ČSN EN 485-2+A1 [43] .	42
Tabulka 8 Nastavené podmínky pro zkoušku dle Erichsena	46
Tabulka 9 Nastavené podmínky pro zkoušku s pomocí nástrojů zkoušky dle Nakajimi	46
Tabulka 10 Podmínky zkoušky se změnou přidržovací síly.....	49
Tabulka 11 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 0,5 mm bez použití oleje	52
Tabulka 12 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 0,5 mm s použitím oleje.....	53
Tabulka 13 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1 mm bez použití oleje	53
Tabulka 14 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1 mm s použitím oleje.....	53
Tabulka 15 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1,5 mm bez použití oleje.....	53
Tabulka 16 Naměřené hodnoty pro tloušťku polotovaru 1,5 mm s použitím oleje.....	54
Tabulka 17 Naměření hodnoty materiálů DC01 a 1.4301 s použitím brzdící drážky	61
Tabulka 18 Naměřené hodnoty bez použití brzdící drážky	64

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU DC01 TL. 0,5 MM

PŘÍLOHA P II: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU DC01 TL. 1 MM

PŘÍLOHA P III: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU 1.4301 TL. 0,5 MM

PŘÍLOHA P IV: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU 1.4301 TL. 1 MM

PŘÍLOHA P V: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU 1.4301 TL. 1,5 MM

PŘÍLOHA P VI: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 1050A TL. 0,5 MM

PŘÍLOHA P VII: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 1050A TL. 1 MM

PŘÍLOHA P VIII: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 1050A TL. 1,5 MM

PŘÍLOHA P IX: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 5754 TL. 1 MM

PŘÍLOHA P X: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 5754 TL. 1,5 MM

PŘÍLOHA P XI: TECHNICKÝ LIST OEST PLATINOL SF 32

PŘÍLOHA P I: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU DC01 TL. 0,5 MM

HBS GROUP Serbia Iron & Steel llc Belgrade, Rulevar Mihajla Pupina 6,
Belgrade-New Belgrade,
11000 Belgrade, Republic of Serbia

INSPECTION CERTIFICATE: 3.1 EN 10204:2004 PAGE No: 1
- izveštaj o ispitivanju (strana br):

PURCHASER: NYPRO HUTNI PRODEJ, A.S.
(Kupac) MALE SVATONOVICE CERTIFICATE No: 23357
MALE SVATONOVICE 291 (uverenje broj)
TRADING CO: NYPRO HUTNI PRODEJ, A.S.
(izvoznik, MALE SVATONOVICE UGOVOR KUPCA
(primalac) MALE SVATONOVICE 291 CONTRACT No. NYPR1030CZ
(ugovor broj.)
PRODUCT: COLD ROLLED SHEETS
(proizvod) T: CR
DIMENSIONS: 0,500 X 1000 X 2000
(dimenzije, mm) EN 10131/2006 DATE OF ISSUE 28/03/2020
QUALITY: DC01 (dat.izdavanja)
(kvalitet): EN 10130/2006
Net Weight (kg): 15785
QUALITY AND SURFACE CONDITION: A M
(kvalitet i stanje površine) Transport: 315635420013

!-----!
! ! ! MECHANICAL PROPERTIES - MEH.TEH.OSOBINE ! !
! COIL No, ! HEAT No!-----!
! PACK No, !šarža br! ! ! ! !Cold! ! !Fi! ! !Melt!
! (kotur br.! ! ! ! ! A !bend!Erich! Hardness !sh! ! !furn!
! paket br)! ! Re ! Rm !Re/ !Elon!test! izv.! (tvrdoca)!ts! ! ! !
! ! ! ! ! Rm!gati! S ! ! !sc! r! n !nac!
! ! ! ! ! on !-----!-----!al! ! !pro.
! ! !MPa !MPa ! ! % !180°!mm HRB HRF HR30T!B2! ! ! !

! E74731 159761 223 364 ,61 31 Y !

!-----!
! CHEMICAL COMPOSITION OF HEAT - HEMIJSKI SASTAV SARZE (%) !
!-----!
! 159761 !
! C 0,07 !
! Mn 0,39 !
! Si 0,009 !
! P 0,013 !
! S 0,009 !
! Al 0,033 !
! Cu 0,03 !
! Cr 0,03 !
! Ni 0,01 !
! Mo 0,004 !
! Ti 0,001 !
! V 0,001 !
! Nb 0,002 !
! N 0,005 !
! As 0,002 !
!-----!

Measured values of alpha and beta/gamma surface contamination of the examined goods are for alpha emitters lower than 4 Bq/100cm², as well as for beta/gamma emitters lower than 40 Bq/100cm²
We hereby declare that above mentioned products were manufactured in accordance with specifications and contract requirements.
Statement of compliance with the order, with indication of results of non-specific inspection

Document is valid without signature and stamp. QUALITY ASSURANCE
OBEZBEDJENJE KVALITETA



PŘÍLOHA P II: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU DC01 TL. 1 MM

HBS GROUP Serbia Iron & Steel Bc Belgrade, Duševar Mihajla Pupina 6,
Belgrade-New Belgrade,
11000 Belgrade, Republic of Serbia

TEST REPORT: 2.2 EN 10204:2004 PAGE No: 1
- izveštaj o ispitivanju (strana br):

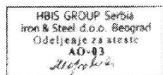
PURCHASER: PIKARO TRADING, SE
(kupac) KOŠICE CERTIFICATE No: 75993
MOLDAVSKA CESTA 10/B (uverenje broj)
TRADING CO: GENGELA, S.R.O.
(izvoznik, FRENSTAT POD RADHOST PURCHASE ORDER 222001506
(primalac) POD SENKEM 2000 ITEM:
PRODUCT: COLD ROLLED SHEETS
(proizvod) CONTRACT No. GENG1082CZ
DIMENSIONS: 1,000 X 1000 X 2000 (ugovor broj.)
(dimenzije, mm) EN 10131/2006
QUALITY: DC01 T: CR
(kvalitet): EN 10130/2006 DATE OF ISSUE 30/08/2022
Net Weight (kg): 23095 (dat.izdavanja)
QUALITY AND SURFACE CONDITION: A M
(kvalitet i stanje površine) Transport: VS025AL

MECHANICAL PROPERTIES - MEH. TEH. OSOBINE										
COIL No,	HEAT No,	PACK No,	Šarža br!	Re	Rm	Re/Elon	test!	izv.!	(tvrdoća)!	ts!
F19701	886059	209	333	,63	36					Y
F19702	886059	209	333	,63	36					Y
F19703	886059	209	333	,63	36					Y
F19704	886059	209	333	,63	36					Y
F19705	886059	209	333	,63	36					Y

CHEMICAL COMPOSITION OF HEAT - HEMIJSKI SASTAV SARZE (%)	
C	0,07
Mn	0,38
Si	0,007
P	0,008
S	0,006
Al	0,041
Cu	0,02
Cr	0,02
Ni	0,01
Mo	0,003
Ti	0,001
V	<0,001
Nb	0,001
N	0,005
As	0,002

Measured values of alpha and beta/gamma surface contamination of the examined goods are for alpha emitters lower than 4 Bq/100cm², as well as for beta/gamma emitters lower than 40 Bq/100cm²
We hereby declare that above mentioned products were manufactured in accordance with specifications and contract requirements.
Statement of compliance with the order, with indication of results of non-specific inspection


Document is valid without signature and stamp. QUALITY ASSURANCE OBEZBEDJENJE KVALITETA









Customer	ITALINOX S.R.O. CZECH REPUBLIC		Customer No.	FCZG07	Certificate No.	220120C0042																																
Product	PRE COOL ROLLED STAINLESS STEEL COIL		Commercial Invoice No.	J22010165	Date of Issue	2022/01/20																																
Specification	EN 10028-7:2016		P.O. No.	2021-0P-H833	Order No.	EC2111C049-5																																
Steel Grade	1.4307	Finish	2B	Product	PI	P.No.	A11011042	Weight No.	C22010228																													
Item No.	Heat No.	Product Description	Chemical Composition (%)										Tension Test	Coil No.																								
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	0.2% C.S.	T.S.			E.L.	YS	HT	Charpy																				
1	C34A*2102540	Dimension Specification 0.5mm x 1,000.0mm x C 0.8mm x 1,500.0mm x C 0.8mm x 1,500.0mm x C	Weight: kg		M. h.		Max.		30		100		200		45		15		1050		1950		100		45		250		1000		1100		7600083		6854487		6854487	
2	C34A*2102583		1	4,919	23	42	36	32	2	803	1813	65	507	675	58	353	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1
3	C34A*2102583		1	4,917	22	42	35	27	2	801	1813	64	594	650	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1	52	338	1050	F1
TOTAL:			3	14,703																																		
STANDARDS: EN ISO 9445-2			Remarks										The material grade according to EN 10088-2, EN 10088-4, EN 10028-7, AD 200C-W 2 30% 304L/A.4301/A.4307										Charpy *01= 1.0% Proof Stress *02= Heat Treatment *03= Gauge Length: 50mm IMPa=IN/mm ² Charpy: 145psi=10.2kgf/cm ²															
Surveyor By	We hereby certify that the material described herein has been manufactured and tested with satisfactory results in accordance with the requirements of the above material specification. The material described above has been found free of radiation by x-ray material supplier.		Visual Inspection (Surface) and Dimension Checks: 0 K										1.S) 90012015 (No.01 109 056299) 2.PED /AD 2000 (No.01 202 TW KA-05 0105) 3.S) 14001 2015 (No.01 194 822 096355) 4.S) 45001 2018 (No.01 113 822 096355)																									
VA	Pippen Chiu																																					

PŘÍLOHA P IV: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU 1.4301 TL. 1 MM

 Aperam - Stainless France Aperam Isbergues 62330 Isbergues FRANCE		MILL CERTIFICATE BS EN 10204/3.1 CERTIFICAT DE RECEPTION NF EN 10204/3.1 ABNAHMEPRUEFZEUGNIS DIN EN 10204/3.1				N-Nr-N 2210714024-01 V01																							
A01 ISO 9001:2015 - IATF 16949:2016 - ISO 14001:2015		A02 Ausgestellt im Einvernehmen mit dem TÜV SÜD - Auf Gegenzeichnung wird verzichtet Issued in accordance with TÜV SÜD - Verification is not required Etabli en accord avec le TÜV SÜD - Dispense de contresignature AD 2000 Merkblatt W0 - PED 2014/68 EU Annex L Point 4.3				A03																							
A04 Manufacturer's works order number N° de la commande usine productrice Werksauftragsnummer 80754747 /01-35889/1		A08 Surveyor's mark Cachet de l'expert Stempel des Werkssachverstaendigen UI2	Z03 Purchaser and/or consignee Client et/ou destinataire Besteller und/oder Empfänger		A07 Purchaser's order number N° de commande client Kundenbestellnummer 112887782																								
A06 Product - Produit - Erzeugnis COLD-ROLLED COIL BOBINE LAMINEE A FROID KALTGEWALZTES BAND		B01 Steel designation Désignation de l'acier Stahlbezeichnung EN 10028-7 / 16 - W2-W10 - 1.4307 - 1.4301 ASTM A 240 / 20 - TYPE 304L -TYPE 304 ASME SA 240 / 21 - TYPE 304L -TYPE 304 EN 10088-2 / 14 - 1.4307 -1.4301 EN 10088-4 / 09 - 1.4307 -1.4301				A09 Customer article number N.article client Artikelnummer des Kunden ART207730																							
B02 Finish Présentation Ausführung 2B 2B 2B 2B		C70 Steelmaking process Mode d'élaboration de l'acier - Stahlherstellungsverfahren Prod.proces: Electric arc furnace - VOD/AOD - Continuous casting Proc.fabric.: Four à arc - VOD/AOD - Coulée continue Fertigungsablauf: Elektro-Ofen - VOD/AOD - Stranggussanlage		A06 Product delivery condition Etat de livraison du produit - Lieferzustand Solution annealing Hypertrempe : 1040 C MINI Lösungsglühen Forced Air Air forcé Gebläse Luft																									
B03 Any supplementary requirements Prescriptions supplémentaires - Zusätzliche Anforderungen																													
Z06 CORR. TEST:ASTM A 262-E: OK / ASTM A480 / A480M -- ASME SA 480/SA 480M / NACE MR 0175 / ISO 15156-3 -- NACE MR 0103 / ISO 17945 / ASME-C ODE SECT.2 PART A / CORROSION INTERGRANULAIRE SELON ISO 3651/2 : OK /																													
B07 Identification of the product Identification du produit - Identifizierung des Erzeugnisses MELTED IN BELGIUM, MADE IN FRANCE		B09 Thickness Epaisseur - Staerke 1,000 mm			B10 Width Largeur - Breite 1000,00 mm		B11 Length Longueur - Laenge																						
B08 Number of pieces Nb de pièces - Stueckzahl 1		B13 Net weight Poids net - netto Gewicht 14210 KGS		Z06 CORR. TEST:ASTM A 262-E: OK / ASTM A480 / A480M -- ASME SA 480/SA 480M / NACE MR 0175 / ISO 15156-3 -- NACE MR 0103 / ISO 17945 / ASME-C ODE SECT.2 PART A / CORROSION INTERGRANULAIRE SELON ISO 3651/2 : OK /																									
CHEMICAL ANALYSIS - ANALYSE CHIMIQUE - CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG																													
Required -Exigé %mini Anforderung. %maxi		C 0,030		Si 0,75		Mn 2,00		Ni 8,00 10,50		Cr 18,00 19,50		Mo 0,0150		Ti 0,076		N 0,0062		S 0,037		P 0,171		Co							
Cast Analysis Analyse coulée Analyse Schmelze		C71 0,021		C72 0,42		C73 1,40		C74 8,01 18,13		C75 18,13		C76 0,076		C77 0,0062		C78 0,037		C79 0,171		C80 0,171		C81 0,171							
Positive material identification carried out : OK Tests de vérification de la conformité de la nuance fournie : OK Verwechslungsprüfung wurde durchgeführt : OK								C04 0,021		C72 0,42		C73 1,40		C74 8,01 18,13		C75 18,13		C76 0,076		C77 0,0062		C78 0,037		C79 0,171		C80 0,171		C81 0,171	
Location (1)		MECHANICAL PROPERTIES - PROPRIETES MECANIQUES - MECHANISCHE WERTE ISO 6892-1 B / A-SA 370										C20																	
Direction (2)		Room temperature - Température ambiante - Raumtemperatur										Test temperature (°C) :		C03															
Required Exigé Anforderung		Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa		Tensile Strength Résistance à la traction Zugfestigkeit MPa		Elongation after fracture Allongement après rupt. Bruchdehnung %		Hardness Dureté Haerte		Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa		Tensile str. Résist. MPa Zugfestigkeit		Elongation % Allongement. Bruchdehnung															
1 T		Rp0.2% 230		Rp1% 260		Rm 540 700		50mm 45		HBW1 201		Rp0.2% 281		Rp1% 313		Rm 648		57		174									
2 T		C11 281		C14 313		C12 648		C13 57		C15 174		C16 281		C17 313		C18 648		C19 57											
Impact strength test Essai de résilience Kerbschlagzähigkeitstest		C40 J (°C)		C44 J (°C)		Corrosion test Test de corrosion Korrosionstest		EN ISO 3651-2 :OK		C50 Internal cleanliness:		C51 A:		C52 B:		C53 C:		C54 D:		C55 C57									
Location of the sample (1) Emplacement de l'échantillon Lage des Probenabschnittes 1. Front - Début - Anfang 2. Back - Fin - Ende 3. Middle - Milieu - Mitte		The delivery is in accordance with the order La fourniture est conforme aux exigences de la commande Die Lieferung entspricht den Bestellbedingungen				Z01		Organisation inspection Organisme et/ou service contrôle Ueberwachungsabteilung				A05																	
Direction of the test pieces (2) Orientation des éprouvettes Probenrichtung T. Transverse - Travers - Quer L. Longitudinal - Long - Laengs		Packing list Avis d'expédition Lieferscheinnummer 220111I01167-100052				A10		Quality Control 12/01/2022 Laurent DUBOIS				The inspector Le responsable Der Werkssachverstaendige		Z02															

PŘÍLOHA P V: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU 1.4301 TL. 1,5 MM

		Type Inspection Certificate 3.1 AD-2000 EN10204 - OMS approved acc. AD-2000 V0 with Cert.01.202 IQ-08 1511 by TÜV Rheinland (0035), cert. PED 2014/68/UE Annex I §4.3 by TÜV Rheinland (0035) - Material acc. AD2000 W2 - W10 in ref to EN10028-7 - Material conforming to NACE MR0175/ISO15156-2 - Material conforming to NACE MR0175/ISO15156-1		Number 10723008613 Issued On 09/01/2023						
Customer CZ MARCEGAGLIA SPECIALTIES RAP VIA BRESCIANI 16 46040 GAZO, DO DEGLI IPPOLITI IT		Consignee N/D ITALINOX CZ S.R.O. ZDEBRADSKA 58/69 251 01 RÍCANÝ - JAZLOV/ICE CZ		Delivery Nn Of Delivery note nr						
Material 51800042 Description LXF002 1,50 x 1000 x 2000 4307/304L		Norm/Specs EN10028-7, EN10088-2, EN10088-4, ASTM A240, ASME SA240, ASTM A480, ASMESA480 X2CrNi18-9, WNR1.4307, 304L, X5CrNi18-10, 1.4301, 304		Order No. 159187301360 Client Order XXP Client Order 21007829021MARZ						
Item	Identification Nr	Heat	Quantity	Dimensional tolerances/ EN9445-2	Mark Tester/ - Organization inspection: C03					
1	22XA043630	NM35105	1469 KG							
2	22XA043631	NM35105	1472 KG							
3	22XA043632	NM35105	1470 KG							
Identification Nr	Chemical Type	Mark	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	N (%)	Cr (%)	Ni (%)
22XA043630		22YP009501	.021	.433	1.125	.0213	.0059	.0549	18.204	8.137
22XA043631		22YP009501	.021	.433	1.125	.0213	.0059	.0549	18.204	8.137
22XA043632		22YP009501	.021	.433	1.125	.0213	.0059	.0549	18.204	8.137
Identification Nr	Test position	Test direction	Mark	R _m [N/mm ²]	R _{p0.2} [N/mm ²]	RP1 [N/mm ²]	A ₈₀ (%)	A ₅₀ (%)	HRB B	HRB T
22XA043630	B	T	22YP009501	640	264	305	55.0	58.4	84	83
22XA043631	B	T	22YP009501	640	264	305	55.0	58.4	84	83
22XA043632	B	T	22YP009501	640	264	305	55.0	58.4	84	83
Test Position/Posizione Prova	Test Direction/Direzione Prova	Remarks about tensile test: - Confirmation of adequate degree of reliability for the uniformity over the strip length with certificate issued by TÜV Rheinland Group dt. June 19, 2019 - Tensile test according EN ISO 6892-1 B / A-SA 370								
T=coil head C=middle length B=coil end	T=transverse L=longitudinal D=diagonal	Other controls: - Dimensions within tolerances, spectrometrical identity test: CK - Corrosion Test: EN ISO 9512-2 Method A and ASTM A262, pract.E OK								
Remarks: - Surface finish ZB - We certify that products listed above comply with order requirements - Document validated acc. EN10204, par. 5 - Norms are intended in the valid edition at the time of the order - Durability: NFD		1244   EN 10088-4:2009  EN 10088-4:2008								

0006MM23

PŘÍLOHA P VI: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 1050A TL. 0,5 MM

Inspection certificate No.212313CZ EN 10204/3.1

Dodavatel (Supplier): Alcom Alval s.r.o. Komerční 531 251 01 Nupaky Česká republika IČ: 25352822 DIČ: CZ25352822 Tel: 00420 554 773 052-5 Fax: 554 773 050 E-mail: hlinik@hlinik.cz	Odběratel (Consignee): KALINA industries s.r.o. U Tescomy 255 760 01 Zlín 1 Česká republika IČ: 27758991 DIČ: CZ27758991 Tel: 00420 577 006 831 Fax: 00420 577 006 848 E-mail: info@kalina.cz
Materiál (Material): BPL000501050AH24 tl. 0,50 mm; PLECH; EN AW-1050A H24; EN 573-3, EN-485-1+A1,-2,-4; Al 99,5; polotvrký	
Rozměr (Dimension) [mm] 1000x2000 mm	
Množství (Quantity): 40,00 ks	

Kupní smlouva (Contract): KS 2262868
Objednávka (Purchase order): 222-2200163
Dodací list (Shipping document): DLV 2201717
Originální atest (OIC No.): MEC 11910/21
Ze dne (Date): 8.6.2021
Původ zboží (Origin): CZ

Mechanické vlastnosti (Mechanical properties)

Číslo šarže (Lot number)	Číslo tavby (Cast number)	Pevnost v tahu (Tensile strength) [Mpa]	Mez kluzu (Yield strength) [Mpa]	Tažnost (Elongation) [%]	Tvrdość HB (Hardness)
14455	D 133	118,2	94,6	A50=24,7 A10=36,1	-

Chemické složení (Chemical composition)[%]

Prvek (Element)	Silicon Si	Iron Fe	Copper Cu	Manganese Mn	Magnesium Mg	Chromium Cr	Zinc Zn	Titanium Ti	Aluminium Al
Hodnota (Content)	0,04482	0,25239	0,00700	0,00240	0,00195	0,00158	0,00435	0,02401	99,59

Poznámka (Note):-

Za správnost údajů odpovídá: Ivan Vodák

Podpis:

Razítko: 

Ivan Vodák
IČ: 25352822
DIČ: CZ25352822

Alcom Alval s.r.o.
Komerční 531
251 01 Praha-Nupaky



PŘÍLOHA P VII: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 1050A TL. 1 MM

PMS

TEST SERTİFİKASI INSPECTION CERTIFICATE

Tarih / Date
21.01.2022

(EN 10204-3.1'e göre düzenlenmiştir.)
(Prepared according to EN 10204-3.1)

Sipariş No / Order Number: 8821258 Müşteri Adı / Customer Name: THYSSENKRUPP
Kafale No / Heat Number: R882125805/1 Alışım - Kondüsyon / Alloy - Temper: 1050 H14/H24
Paket No / Package Number: R22.0019 Ölçüler / Dimensions: 1,00 x 1000 mm
Müşteri No / Order No: Z121001588

Kıymasal Bileşim / Chemical Composition (EN 573-3)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Zr	Al
min													99,500
max	0,250	0,400	0,050	0,050	0,050	0,070	0,050	0,030	
Sonuçlar/ Test Result	0,132	0,233	0,008	0,038	0,014	0,000	0,005	0,005	0,017	0,010	0,014	0,001	99,523

Mekanik Özellikler / Mechanical Properties (EN 485-2)

	Haddeleme Yönüne 90° Dik Transverse Direction (90°)			Haddeleme Yönüne Paralel Rolling Direction		
	Çekme Muk. Tensile Strength Rm (MPa)	Akma Muk. Yield Strength Rp0,2 (Mpa)	Uzama (Elongation) A50 mm (%)	Çekme Muk. Tensile Strength Rm (MPa)	Akma Muk. Yield Strength Rp0,2 (Mpa)	Uzama (Elongation) A50 mm (%)
min	105,00	75,00	5,00	105,00	75,00	5,00
max	145,00			145,00		
Test Sonucu / Test Results	136,42	127,45	8,04			

Tensile specimen is prepared according to TS EN ISO 6892-1 standard
Çekme numunesi TS EN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanmıştır.

Yüzey Özellikleri / Surface Properties

Düz / Plain Yağsız / Degreased
Çetalı / Tread Plates; 5 Bar Diamond Az Yağlı / Slightly Oil
Gofrajlı / Embossed Products; Stucco Diamond Yağlı / Mill Finish

Coils/Sheets/Tread Plates are produced according to EN 485/1-2-4, EN 573-3, EN 1386 Standards

Tensile Test: ZWICK Z050, EN 6892-1

Spectral Analysis: BRUKER QUANTRON

Notlar ve Özel Talepler / Notes and Special Demands:

Kalite Sağlama ve Geliştirme Şefliği

PŘÍLOHA P VIII: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 1050A TL. 1,5 MM



PL 108230
thyssenkrupp Materials Poland S.A.
st. Grudziadzka 159
87-100 TORUN
Poland

Inspection Certificate no: **KRM 104522 - 29**

According to EN 10204 - type 3.1.
EN 15088
FPC certificate 1071-CPR-1900
Intended use Structural products for construction works
Date 29/03/2021 Page 1 of 1
Customer order no ZI21000998 SK
Our order no 682212-29
Invoice no KRM102248
Packing list no KRM104522
Product 1.500 x 1000
Description of product Sheet/plate/strip
Gross weight 4740 kg
Net weight 4710 kg
Customer part no
Alloy / temper EN AW-1050A-H24
105025 24
Customer Spec
Dangerous substances According to REACH Annex 14

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
Min								99.50
Max	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	
Coil no.	1058005	0.17	0.21	0.004	0.008	0.0007	0.004	99.6

Mechanical properties

		Rp0.2	Rm	Elong A50			Thick- ness		Test Direction		
Cust.	Min	75	105	5			1.450				
	Max		145				1.510				
	Coil no.										
	1058005	127	134	10			1.455		Transverse		

Material Specification and Test Results
Standard EN 485/515/573

Kristian Stray (sign.)

Plant Metallurgist

Hydro Aluminium
Rolled Products AS
Karmoy Rolling Mill
N-4265 HAVIK

Vat no : 975 934 578 MVA
Tel : +47 52 85 40 00
Fax : +47 52 84 79 46



PŘÍLOHA P IX: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 5754 TL. 1 MM

Inspection certificate No. **162730PL**
EN 10204/3.1

Dodavatel (Supplier): Alcom Alval s.r.o. Komerční 531 251 01 Nupaky Česká republika IČ: 25352822 DIČ: CZ25352822 Tel: 00420 554 773 052-5 Fax: 554 773 050 E-mail: hlinik@hlinik.cz	Odběratel (Consignee): KALINA industries s.r.o. U Tescomy 255 760 01 Zlín 1 Česká republika IČ: 27758991 DIČ: CZ27758991 Tel: 00420 577 006 831 Fax: 00420 577 006 848 E-mail: info@kalina.cz
Materiál (Material): BPL001005754H111	
tl. 1,00 mm; PLECH; EN AW-5754 H111; EN 573-3, EN-485-1+A1,-2,-4; AlMg3; měkký	
Rozměr (Dimension) [mm]: 1500x3000 mm	
Množství (Quantity): 2,00 ks	

Kupní smlouva (Contract): KS 2102910
Objednávka (Purchase order): 222-210138
Dodací list (Shipping document): DLV 2101490
Originální atest (OIC No.): 456063/06
Ze dne (Date): 23.4.2016
Původ zboží (Origin): PL

Mechanické vlastnosti (Mechanical properties)

Číslo šarže (Lot number)	Číslo tavby (Cast number)	Pevnost v tahu (Tensile strength) [Mpa]	Mez kluzu (Yield strength) [Mpa]	Tažnost (Elongation) [%]	Tvrdość HB (Hardness)
64040311	640403	215	114	A50=25	-

Chemické složení (Chemical composition)[%]

Prvek (Element)	Silicon Si	Iron Fe	Copper Cu	Manganese Mn	Magnesium Mg	Chromium Cr	Zinc Zn	Titanium Ti	Aluminium Al
Hodnota (Content)	0,335	0,335	0,092	0,362	2,792	0,024	0,057	0,029	-

Poznámka (Note):-

Za správnost údajů odpovídá: Ivan Vodák

Podpis:

Razítko:  **ALCOM ALVAL**

Ivan Vodák
IČ: 25352822
DIČ: CZ25352822

Alcom Alval s.r.o.
Komerční 531
251 01 Praha-Nupaky



PŘÍLOHA P X: HUTNÍ ATEST MATERIÁLU EN AW 5754 TL. 1,5 MM

Novelis Europe
Novelis Deutschland GmbH, Werk Nachterstedt
OT Nachterstedt Tel.:(034741)77-0
Gaterslebener Str. 1 Fax:(034741)771414
06469 Seeland www.novelis.adityabirla.com



Alumeco Service GmbH
Haide Feld 1
06869 Coswig

Prüfbescheinigung Nr. 80484798/10 vom 26.02.2022 gemäss EN 10204-3.1

Ihre Bestellung 120573583
vom 19.11.2021
Ihr Zeichen
Projekt DIVERSE
Unsere Bestätigung 72119408
Kundennummer 767010
Unsere Lieferantennr.
Kontaktperson Daniel Voigtlaender
Telefonnummer (0551)304-403
E-mail
Daniel.Voigtlaender@novelis.adityabirla.com

**Blech, EN AW 5754, H111, Millfinish
EN485-2
1,500 x 1.500,00 x 3.000,00**

Unsere Materialnr. 1383388
Ihre Materialnr. 1000178

Charge B45813A011 Menge 880 KG Pack N°221102966

Merkmal	Einheit	Untergrenze	Obergrenze	Wert
Externer Stückident				4581300008
Gusscharge				1004699360030
Anzahl Bleche	ST			49
Chemische Zusammensetzung				
Si-Gehalt:	%			0,199
Fe-Gehalt:	%			0,231
Cu-Gehalt:	%			0,016
Mn-Gehalt:	%			0,26
Mg-Gehalt:	%			2,9
Cr-Gehalt:	%			0,004
Zn-Gehalt:	%			0,00
Ti-Gehalt:	%			0,008
Merkmale mechanische Prüfung				
Rp0,2% / quer / Anlieferungszustand	MPa			115
Rm / quer / Anlieferungszustand	MPa			216
A50 / quer / Anlieferungszustand	%			21

Charge B45813A010 Menge 1.014 KG Pack N°221102965
Charge B45813A009 Menge 1.014 KG Pack N°221102964

Zertifiziert nach ISO 9001, IATF 16949, ISO 14001, ISO 50001, ISO 45001
Sitz: Göttingen (HRB 772) * Geschäftsführung: Siegfried Adloff, Nils Leonhardt, Dirk Nörthemann
Vorsitzender des Aufsichtsrates: Emilio Braghi

PŘÍLOHA P XI: TECHNICKÝ LIST OEST PLATINOL SF 32

Georg Oest Mineralölwerk GmbH & Co. KG	Verwaltung: Bahnhofstraße 5 Werk: Rillensweiler Straße 54 D-72250 Freudenstadt Postfach 720, D-72317 Freudenstadt	Tel.: +49 (0)74 41 539-508 Fax: +49 (0)74 41 539-149 www.oest.de info.gom@oest.de	
---------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

TECHNICKÝ LIST

OEST PLATINOL SF 32

Plně syntetický odparový olej pro tvářeni

Popis:

Odparový olej bez obsahu chlóru na bázi dearomatizovaných uhlovodíků. Neobsahuje toxické látky a je v podstatě bez zápachu. PLATINOL SF 32 vytváří na povrchu materiálu velmi tenký ale efektivní film. Díky svým vlastnostem velmi dobře odvádí teplo z materiálu i nástroje. Obsažené polární přísady poskyttnou potřebné mazání pro celý proces tvářeni, lisování nebo stříhání. Produkt je vysoce aditivován. Odpaří se do 83%.

Olej vyniká chladicím a mazacím účinkem.

Fyzikálně chemická data:

Barva			lehce nažloutlá
Hustota při 20 °C	DIN 51757	g/cm ³	0,79
Viskozita při 20 °C	DIN 51562 T.1	mm ² /s	3,2
Viskozita při 40 °C	DIN 51562 T.1	mm ² /s	2,3
Bod vzplanutí	DIN 51758	°C	> 55
Odpařivost	(éter = 1)		59

Uvedené informace jsou analytického typu.

Aplikace:

Olej je určen pro středně náročné operace lisování, tvářeni a hlubokého tažení plechů. PLATINOL SF 32 je určen pro širokou škálu materiálů, především však pro oceli s vyšší tuhostí.

Nánáší se sprejováním nebo válečky.

Po odpaření zanechává minimální stopy. Ve většině případů není třeba žádné následné odmašťování.

Skladujte při teplotě + 5 až + 30 °C.

Nepoužitý produkt skladujte v originálním obale a uzavřený!

Editováno - červen 2010