



Vliv technologických podmínek na pevnost nýtového spoje

Bakalářská práce

Studijní program:

B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojní inženýrství

Autor práce:

Ondřej Vele

Vedoucí práce:

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie

Konzultant práce:

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie





Zadání bakalářské práce

Vliv technologických podmínek na pevnost nýtového spoje

Jméno a příjmení: **Ondřej Vele**
Osobní číslo: S18000131
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

1. Přehled technologií spojování plechů. Metody nýtování a jejich použití v průmyslové praxi.
2. Možnosti bezkontaktní analýzy deformace, základy fotogrammetrie.
3. Stanovení vlivu technologických parametrů na kvalitu nýtovaného spoje, provedení testů odtrhem a ve smyku.
4. Pro zvolenou kombinaci spojovaných materiálů (ocel – ocel, ocel – slitina Al) provést deformační analýzu nýtovaných spojů.
5. Závěr.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

obrázky, tabulky, grafy
cca 30 stran textu
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] ADAMS, Robert D., ed. Adhesive bonding: science, technology and applications. Boca Raton : Cambridge: CRC Press ; Woodhead Pub, 2005. ISBN 978-0-8493-2584-7.
- [2] DWIVEDI, DHEERENDRA KUMAR. FUNDAMENTALS OF METAL JOINING: processes, mechanism and performance. S.l.: SPRINGER, 2021. ISBN 9789811648182.
- [3] SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D. ADAMS, ed. Handbook of adhesion technology. Heidelberg: Springer, 2011. Springer reference. ISBN 978-3-642-01168-9.
- [4] LUHMANN, Thomas, Stuart ROBSON a Stephen KYLE, ed. Close-range photogrammetry: principles, methods and applications. Dunbeath: Whittles, 2006. ISBN 978-1-870325-50-9.
- [5] NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KŘÍŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5786-5.

Vedoucí práce:

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie

Konzultant práce:

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání práce:

30. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

30. května 2023

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

26. června 2022

Ondřej Vele

Název práce

Anotace

Předkládaná bakalářská práce se zabývá vlivem technologických parametrů nýtování na kvalitu nýtového spoje. V rámci měření byl sledován vliv velikosti nýtovací síly na únosnost spoje při tahovém a smykovém namáhání. Dále byla provedena analýza deformace materiálu v okolí nýtového spoje. Pro testy byly zvoleny kombinace materiálů ocel-ocel a slitina Al-ocel.

Klíčová slova: nýtový spoj, zkouška tahem, zkouška smykem, fotogrammetrie, analýza deformace

Title

Annotation

The presented bachelor thesis deals with the influence of the technological parameters of riveting on the quality of the rivet joint. During measurement was tracked the influence of riveting force on the load capacity of the joint at tensile stress and shear stress. Forth was analyzed the deformation of material around the rivet joint. For tests were chosen combinations of materials: steel-steel and alloy of Aluminium-steel.

Keywords: rivet join, tensile test, shear test, photogrammetry, analysis of deformation

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svým rodičům zato, že mě celou dobu studia podporovali. Zároveň bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. Děkuji za jeho odborné vedení během experimentální části a za poskytnutí cenných rad, podkladů pro vypracování práce a v neposlední řadě za jeho čas, který mi věnoval.

OBSAH

| | |
|---|----|
| SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ | 10 |
| 1 Úvod | 11 |
| 2 Teoretická část | 12 |
| 2.1 Rozebíratelná spojení..... | 12 |
| 2.1.1 Šroubové spojení | 12 |
| 2.1.2 Čepové a kolíkové spoje | 13 |
| 2.2 Nerozebíratelná spojení..... | 14 |
| 2.2.1 Lepení | 14 |
| 2.2.2 Pájení | 15 |
| 2.2.3 Svařování | 17 |
| 2.2.4 Metody nýtování a jejich použití v průmyslové praxi | 22 |
| 2.3 Fotogrammetrie | 25 |
| 2.3.1 Kamery..... | 27 |
| 2.3.2 Zaměřování cílů..... | 28 |
| 2.3.3 Software a algoritmy..... | 29 |
| 2.3.4 Systémy..... | 29 |
| 2.3.5 Skenování povrchu | 30 |
| 2.3.6 Jednoučelové systémy..... | 30 |
| 3 Experimentální část..... | 31 |
| 3.1 Specifikace materiálů..... | 34 |
| 3.1.1 Materiál DC05 + ZE75/75 BPO [32]..... | 34 |
| 3.1.2 Materiál HX260BD+Z100MB [33]..... | 35 |
| 3.1.3 Materiál TL091 [34] | 36 |
| 3.2 Určení mechanických hodnot materiálů | 37 |
| 3.2.1 Materiál: DC05+ZE75/75 BPO..... | 38 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.2 | Materiál: HX260BD+Z100MB | 39 |
| 3.2.3 | Materiál: TL91 | 40 |
| 3.3 | Příprava vzorků | 41 |
| 3.3.1 | Příprava vzorků na smyk..... | 41 |
| 3.3.2 | Příprava vzorků na tah | 42 |
| 3.4 | Nýtování vzorků | 45 |
| 3.4.1 | Příprava vzorků pro smykovou zkoušku..... | 47 |
| 3.4.2 | Příprava vzorků na zkoušku tahem..... | 48 |
| 3.5 | Zkouška nýtového spoje..... | 51 |
| 3.5.1 | Zkouška nýtového spoje ve smyku..... | 52 |
| 3.5.2 | Zkouška nýtového spoje na tah | 55 |
| 3.6 | Optické hodnocení spoje | 57 |
| 3.6.1 | Materiály: HX260-TL91 | 61 |
| 3.6.2 | Materiály: HX260-DC05 | 62 |
| 4 | Diskuze výsledků | 63 |
| 5 | Závěr..... | 66 |
| 6 | Zdroje: | 67 |
| 7 | Seznam příloh | 72 |

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

| Označení | Význam | Rozměr |
|-------------|--|----------|
| A_g | Plastické prodloužení v procentech měřené průtahoměrem při maximálním zatížení | [%] |
| A_{80mm} | Tažnost zkušební tyče délky 80 mm | [%] |
| DC05 | Materiál: DC05 + ZE75/75 BP | [-] |
| F | Testovací kritérium pro F-test; síla | [-], [N] |
| F* | Maximální síla naměřená při přetržení | [N] |
| Fkrit | Kritická hodnota pro F-test | [-] |
| HX260 | Materiál: HX260BD+Z100MB | [-] |
| ocel-hliník | Kombinace materiálů: DC05 + ZE75/75 BPO a TL91 | [-] |
| ocel-ocel | Kombinace materiálů: DC05 + ZE75/75 BPO a HX260BD+Z100MB | [-] |
| R_m | Smluvní mez pevnosti v tahu | [MPa] |
| $R_{p0,2}$ | Smluvní mez kluzu | [MPa] |
| r | Anizotropie materiálu | [-] |
| TL91 | Materiál: TL091 | [-] |

1 Úvod

Technologie nýtování je jednou z nejstarších technologií spojování dvou materiálů prováděných za studena i za tepla. Nýty se používaly již v době bronzové i ve střední Evropě např. při výrobě chladných zbraní, ale také při výrobě stříbrných nebo zlatých šperků. Až do poloviny 20. století byla technologie nýtování využívána jako jedna z hlavních možností pro spojování ocelových konstrukcí (například mosty, skelety budov, lokomotivy, lodě, tanky). Postupem času byla tato technologie vytlačována svařováním a v období mezi dvěma světovými válkami se vedly odborné spory o výhodách a nevýhodách obou technologií. Rychlý vývoj a masivní průmyslové využití technologie svařování v období druhé světové války zapříčinil ústup technologie nýtování.

(zdroj wikipedie: <https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%BDt#Historie>)

V současné době sledujeme opětovný nárůst podílu technologie nýtování v segmentu spojování materiálů. Pomocí nýtů se spojují jak plechy, tak i nosníky při stavbě budov, letadel nebo lodí. Nezastupitelné postavení má technologie nýtování především v oblastech spojování dvou zcela odlišných materiálů (z hlediska fyzikálních a mechanických vlastností) v automobilovém a leteckém průmyslu. Jedním z předpokladů pro využití technologie nýtování je znalost vlastností nýtového spoje, jak z hlediska únosnosti, tak i ovlivnění spojovaných materiálů v oblasti nýtového spoje.

V rámci řešení bakalářské práce bude sledován vliv technologických parametrů nýtování na kvalitu nýtového spoje při použití kombinací zvolených typů materiálů. Technologickými parametry se rozumí především změna velikosti nýtovací síly. Pro testy byly zvoleny tyto kombinace spojovaných plechů:

- a) hlubokotažná ocel – ocel se zvýšenými pevnostními hodnotami
- b) Slitina Al – hlubokotažná ocel.

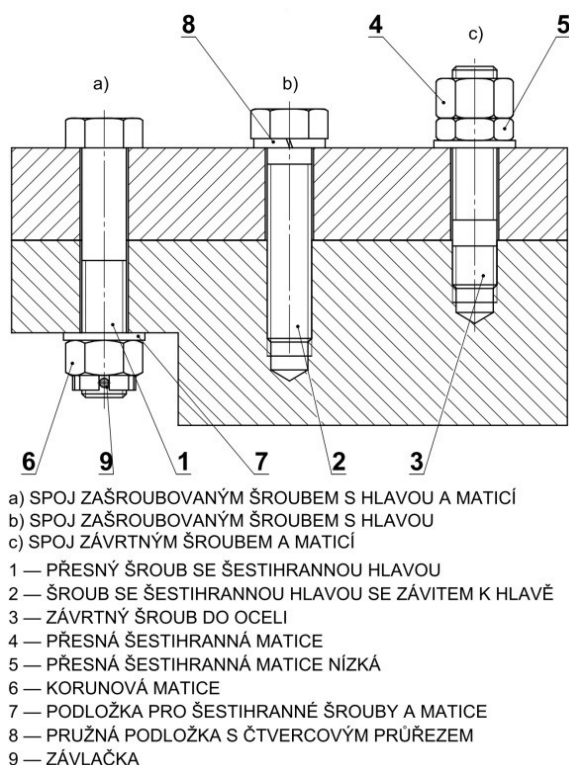
Kvalita nýtového spoje byla hodnocena na základě smykových testů, testů v tahu a analýzy deformace v okolí nýtového spoje.

2 Teoretická část

2.1 Rozebíratelná spojení

2.1.1 Šroubové spojení

Jedná se o rozebíratelné spoje se silovým stykem vytvořeným utažením matice nebo šroubu. Patří mezi nejstarší a nejpoužívanější způsob spojování součástí. Závit je navinut na funkční části šroubu ve šroubovici. Závit se dělí podle smyslu stoupání, počtu chodů, profilu závitů, rozteče atd. Při vibracích a dynamickém zatížení je třeba pojistit spoj proti povolení – to lze provést třeba silovým, tvarovým nebo materiálovým stykem. Výhodou spoje je, že šrouby, matice a podložky jsou normalizovány, jednoduchá instalace, snadná výměna opotřebovaných dílů, lze spojit více součástí jedním šroubem. (Obr. 1) Za nevýhody lze považovat nutnost pojistit spoj proti povolování, navyšování hmotnosti konstrukce, potřeba utahování spoje přesným utahovacím momentem, rozložení napětí do spojovaných součástí, otvory pro šrouby oslabující průřez (protože působí jako vruby). [1]



Obr. 1 Možnosti šroubových spojů [2]

2.1.2 Čepové a kolíkové spoje

Spojovací kolíky se používají pro pevné rozebíratelné spoje dvou součástí. Využívají se k zajištění přesné polohy dílů vůči sobě a k zachycení posouvajících sil působících kolmo na průřez kolíku. Kolíky mohou být válcové a kuželové. Díry pro kolíky se vystružují z důvodu přesnosti uložení.

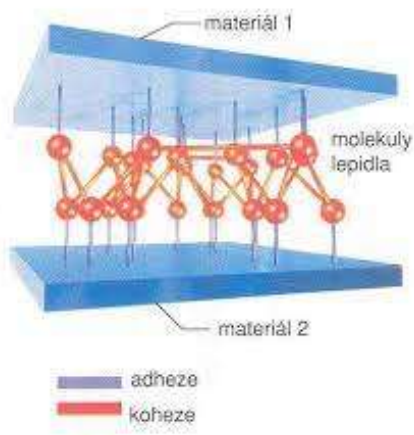
Čepy se většinou využívají k rozebíratelnému spojení dílů, které umožňuje rotaci spojených dílů. Čepy tedy přenáší hlavně síly působící kolmo k ose čepu. Většinou je čep alespoň v jedné ze spojovaných součástí uložen s vůlí, čímž vytváří kloubové spojení. Často se čepy využívají jako náhrada krátkých nosných hřídelů, jako jsou třeba osy kladek, nebo pojezdových kol. Jsou-li čepy uloženy s vůlí, je třeba zajistit jejich osový posun. Toto se provádí pomocí závlaček, pojistných kroužků nebo pojistné matice. [3]

2.2 Nerozebíratelná spojení

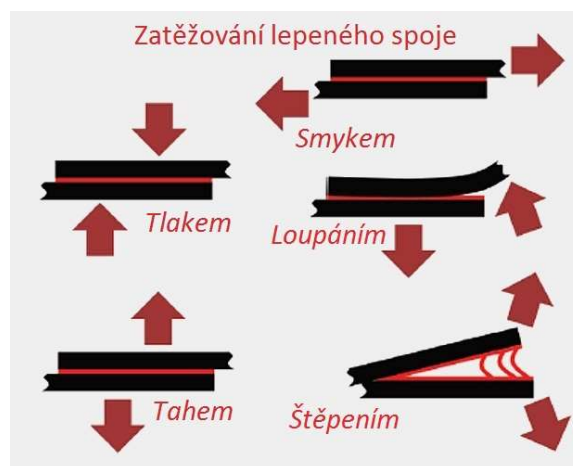
2.2.1 Lepení

Lepení je nerozebíratelné spojení s materiálovým stykem stejných nebo různých materiálů bez použití mechanických prostředků a tepelného procesu. Lepit lze dřevo, plasty, keramiku, sklo, kovy atd., také lze lepit kombinace těchto materiálů. Často se těmito spoji nahrazují spoje nýtové a svarové.[4] Lepený spoj vzniká působením adheze a koheze. (Obr. 2) Síly, které vyvolají přilnavost adhérendu a adheziva, se nazývají adheze. Soudržnost ztuhlé nebo vytvrzené vrstvy lepidla se nazývá koheze. Za výhody lepení se považuje možnost spojovat stejné i různé materiály.

Jedná se o těsný spoj odolný proti kapalinám a plynům. Zvyšuje tuhost a utlumuje vibrace. Spoj má vysokou pevnost při namáhání ve smyku a rázovou pevnost. (Obr.3) Nevýhodou je, že nejde zajistit dokonalou čistotu lepených ploch. Nevýhodou je i to, že se jedná o nerozebíratelné spojení. Spoj je citlivý na namáhání odlupováním a kroucením. Většina lepidel neodolá vysokým teplotám. Z časového hlediska je tato technologie velmi náročná.[5]



Obr. 2 Adheze, koheze [5]



Obr. 3 Zatížení lepeného spoje [6]

2.2.2 Pájení

Jedná se o jednu z několika metod, díky kterým můžeme spojovat pevné materiály.[7] Pájení můžeme definovat jako fyzikálně-chemický proces, během kterého se při teplotě tání pájky spojí roztavená pájka se základním materiálem pomocí difuze. Během tohoto procesu se atomy spojovaných kovů a pájky dostávají velmi blízko k sobě, důsledkem čehož dochází k působení adhezních (přilnavých) a kohezních (soudržných) sil. [9]

Během tohoto procesu původní povrchy „erodují“. Děje se tak v důsledku reakce mezi pájkou a spojovanými materiály, ale rozsah tohoto ovlivnění materiálu je většinou v mikroskopickém měřítku. Plochy pájené k sobě nejsou nataveny, ale pouze smáčeny pájkou. Toto lze realizovat díky nižší teplotě tavení pájky, než má základní materiál. Pájením vzniká nerozebíratelný spoj, který pracuje na principu styku povrchových atomů základního materiálu a tekuté pájky v dostatečné vzdálenosti, aby vznikly podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil. [7]

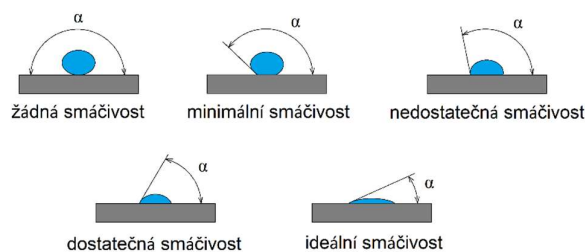
Po pájkách (Obr. 4) jsou vyžadovány následující požadavky:

- musí mít nižší teplotu tání než spojované materiály
- musí mít co nejmenší interval tavení
- musí mít dobré pájecí vlastnosti – nejdůležitější je smáčivost, roztékavost a vzlínavost. (Obr. 5) [9]

Pájení se uplatňuje hlavně ve strojírenství, v elektrotechnickém průmyslu, v průmyslu spotřebním i u bižuterie.



Obr. 4 Cínové pájky v tyčkách [10]



Obr. 5 Smáčivost pájky [11]

Pájený spoj splňuje vlastnosti a parametry, které by svařovaný spoj splňovat nemohl. Například úhledný vzhled spoje, velkou rozměrovou přesnost součásti i po pájení, vznik menšího vnitřního pnutí a menší strukturální změny v základním materiálu. Jako další vlastnost, která se od těchto spojů někdy vyžaduje je těsnost, elektrická vodivost, korozivzdornost nebo mechanická pevnost při namáhání. Pájené spoje mohou být provedeny buď pomocí měkké pájky, která má teplotu tání do 450 °C. Nebo pomocí tvrdé pájky s teplotou tání nad 450 °C. Měkké pájky jsou tvořeny nejčastěji slitinami těžkých kovů, které se taví za nízkých teplot. Například Sn, Pb, Cd, Sb. U tvrdých pájek jsou pak hlavními složkami běžné nebo drahé kovy na bázi Cu, Ag, mosazi nebo jejich různých kombinací. (Obr. 6) [7]

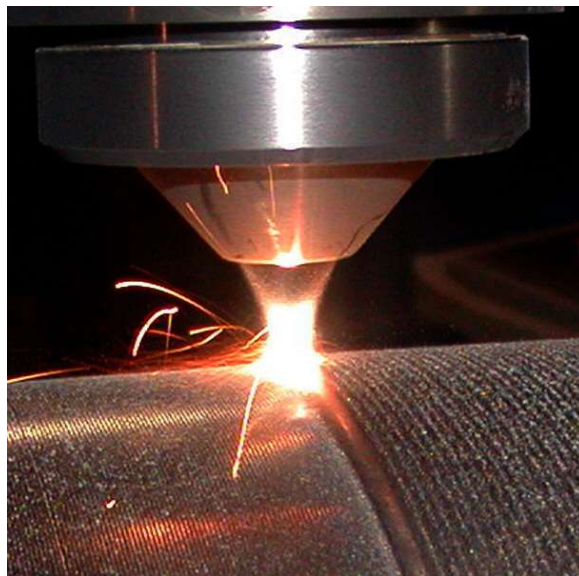


Obr. 6 Tvrdé pájení [8]

2.2.3 Svařování

Jedná se o proces zhotovení nerozebíratelných spojů dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými součástmi při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, popřípadě působením obou těchto faktorů. Je to pracovní postup, během kterého se spojují kovy působením tepla nebo tlaku/síly, případně obou. A to způsobem, u kterého zůstává zachována podstata spojovaných kovů.

Navařování je proces nanášení vrstvy kovu na povrch součásti za pomoci tavného navařování. (Obr. 7)

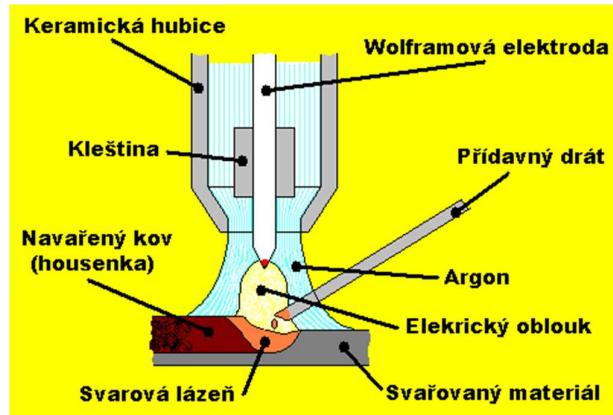


Obr. 7 Navařování [13]

Dle normy ČSN EN 14610 jsou svařování a příbuzné procesy uspořádány dle fyzikálních vlastností a dle nositele energie na metody:

a) tlakové svařování – jedná se o metody, kde je využita dostatečná vnější síla pro dosažení většího či menšího stupně plastické deformace styčných ploch. Většinou se nepoužívá přídavný materiál. Za účelem snazšího spojování dílů se spojované plochy převážně nahřívají.

b) tavné svařování – jde o metody bez použití vnější síly, při kterých musí být styčné plochy nataveny. Ve většině případů se používají přídavné materiály. (Obr. 8)



Obr. 8 Tavné svařování (TIG) [14]

Jako nositel energie se rozumí fyzikální jev zajišťující energii potřebnou pro svařování. Jedná se o přenos na svařovaný materiál, nebo transformaci ve svařovaném materiálu. Za nositele energie se u svařování považuje pevné těleso, kapalina, plyn, elektrický oblouk, záření, pohyb hmoty, elektrický proud a nespécifikovaný nositel. Jestli se svařuje pomocí pevného tělesa, kapaliny, plynu a elektrického výboje, tak se potřebné teplo pro svařování dodává z vnějšku. Pokud se svařuje zářením, pohybem hmoty a elektrickým proudem, vzniká potřebné teplo transformací energie v samotném svařovaném materiálu. Při všech metodách svařování je zapotřebí pro vytvoření spoje vynaložit určité množství energie, kde zároveň dochází k ovlivnění vlastností a struktury základního materiálu.

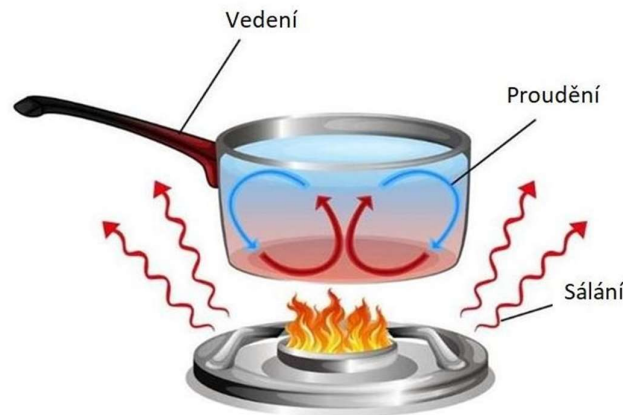
Jakost svarových spojů je bezprostředně ovlivněna rozložením teploty ve svařenci během svařování, po svařování i během následného zpracování. Vznik, vývoj a šíření tepla ve svařovaném materiálu není pouze u metod tavného svařování, kde se materiál lokálně taví, ale i u metod tlakového svařování. Časová závislost teploty v daném místě základního materiálu se nazývá teplotní cyklus.

Během svařování se používají všechny známé způsoby pro přenos tepla (Obr. 9):

- a) vedení (kondukcce) – nastává v pevné, kapalné i plynné fázi. Energií si předávají částice prostředí vzájemnými srážkami, přičemž nedochází k celkovému pohybu prostředí.

b) proudění (konvekce) – nastává v kapalně nebo plynné fázi. Energie se předává pomocí částic s odlišnou teplotou, pohybujících se v daném prostředí v makroskopickém měřítku.

c) sálání (záření, radiace) – jde o fyzikální proces, kdy látka emituje do prostoru energii ve formě elektromagnetického záření. Je to jediný princip, kterým lze přenášet teplo ve vakuu.



Obr. 9 Způsoby přenosu tepla [15]

U tavného svařování je teplo vyvíjené zdrojem tepla využito k tavení přídavného i základního materiálu a postupně se šíří do celého objemu svařence.

Nerovnoměrný ohřev a ochlazování, také vlivem teplotní roztažnosti materiálu vyvolává napěťový a deformační účinek svařovacího procesu. Deformace a napětí jsou vyvolány i strukturními změnami, avšak i zde je podstata v teplotním režimu. Deformační procesy jsou významné hlavně u metod tlakového svařování, ale i zde může u některých metod být dominantní termální stránka. Tyto procesy jsou však důležité pro vznik a kvalitu výsledného svaru. Probíhají jak v základním materiálu v oblasti vzniku svaru, tak i v pracovní části elektrod. Deformace vznikají v průběhu celého pracovního cyklu. Největší deformace vznikají během průchodu svařovacího proudu, tedy během ohřevu a místním tavením svařovaných materiálů. Deformační procesy nevznikají v základním materiálu pouze účinkem vnějšího zatížení svařovací silou. Vznikají také v důsledku teplotní roztažnosti materiálu.

U metod tavného svařování vzniká svarový spoj lokálním natavením základního a přídavného materiálu, tato oblast se označuje jako svarová lázeň. Následnou krystalizací svarové lázně vzniká nerozebíratelné spojení dílů. Během vytváření svarového spoje probíhají dílčí procesy – lokální natavení svarových ploch a přídavného materiálu, fyzikálně-metalurgické pochody ve svarové lázni, formování celkové geometrie svarové lázně a svaru účinkem vnějších sil, krystalizace a chlazení svarové lázně. Všechny tyto dílčí procesy se podílejí na výsledné kvalitě svaru.

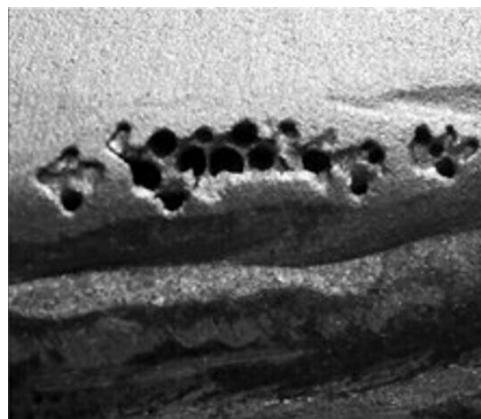
Velikost a tvar svarové lázně závisí hlavně na parametrech svařovacího procesu – tedy na rychlosti svařování, tepelném příkonu, tepelně-fyzikálních vlastnostech materiálu a podmínkách pro odvod tepla. Avšak také závisí na druhu ochranné atmosféry, charakteru proudění taveniny a na mnoha dalších aspektech. Svarová lázeň tvoří natavený základní materiál a odtavovaný přídavný materiál, nebo se může jednat pouze o natavený základní materiál.

Vlastnosti a struktura svaru jsou závislé na chemickém složení základního a přídavného materiálu, metalurgické čistotě a geometrii svarové lázně. Ta má vliv na orientaci a velikost vznikajících krystalů. Krystalizace je děj, při kterém kov přechází z taveniny do tuhého stavu s pravidelným uspořádáním atomů. Příčinou je snaha kovu o dosažení termodynamicky stabilnějšího stavu za změny vnějších podmínek, většinou při změně teploty.

Svařovací proces v základním materiálu způsobuje změny vlastností a struktury. Svary jsou tedy kritickými místy na konstrukci. Na konstrukci tedy i na svary jsou kladeny požadavky z hlediska vyhovujících vlastností pro dané použití. Jednou z příčin, kdy konstrukce, nebo svar nevyhovuje požadavkům, je výskyt vad ve svaru. Vady vznikají z mnoha příčin, které se někdy kombinují. Lze říci, že každý svar vykazuje určité vady, proto se určité vady připouští. Kritéria přípustnosti vad jsou uvedena v normách. Nejdůležitější je, aby tyto vady neměly zásadní vliv na vlastnosti spoje. Dle normy se vady dělí do základních šesti skupin. Jsou to trhliny (Obr. 10), dutiny (Obr. 11), pevné vměstky, studené spoje a neprůvody, vady tvaru a rozměru, jiné vady. [12]



Obr. 10 Trhlina ve svaru [16]



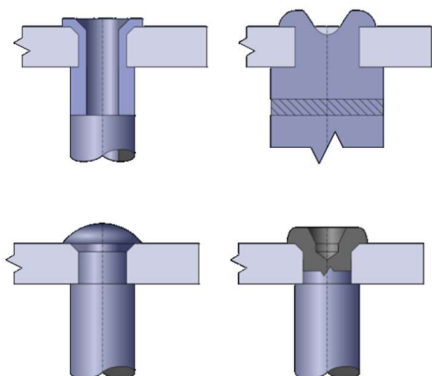
Obr. 11 Pórovitost svaru/dutiny [17]

2.2.4 Metody nýtování a jejich použití v průmyslové praxi

Jedná se o tradiční technologii spojování, která se v historii často využívala a dodnes používá. [20] Nýtové spoje se řadí mezi nerozebíratelné spoje a mohou být realizovány pomocí nýtů (nepřímé nýtování Obr. 13), nebo roznýtováním jedné ze spojovaných součástí, která se vloží do otvoru v druhé součásti (přímé nýtování (Obr. 12)). [18] Jedná se o metodu mechanického spojování součástí. Výhodou je možnost spojování různých druhů materiálů na rozdíl od svařování, jako je například hliník a ocel. [19] Tato spojovací technologie je hodně využívána v leteckém průmyslu.

Nýtování lze rozdělit na dvě hlavní větve:

- Nýtování za použití trhacích nýtů
- Nýtování s použitím pevných nýtů.

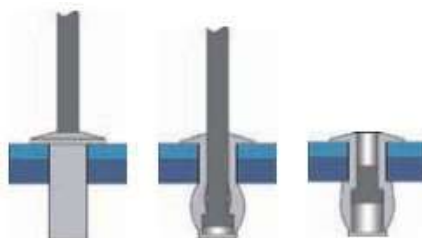


Obr. 12 Přímé nýtování [22]



Obr. 13 Nepřímé nýtování [22]

Trhací nýty (Obr. 14) mají duté tělo a uvnitř je umístěn trn. Nýtovací nástroj uchopí trn a protahuje ho skrz otvor v nýtu, tím se tělo nýtu zvětší a sevře materiál. Na konci nýtovacího procesu se trn odlomí, přičemž část trnu může zůstat uvnitř dutého dířku nýtu.



Obr. 14 Trhací nýt [23]

Pevný nýt (Obr. 15) není dutý a jeho tělo je na jednom konci zakončeno hlavou. Druhý válcový konec se zasouvá do otvoru v pevně sevřených součástech, které mají být spojeny. Předpřipravená hlava nýtu se položí na pevnou podložku – k formování druhé hlavy, se používá kladivo. Tím vznikne spojení dílů.



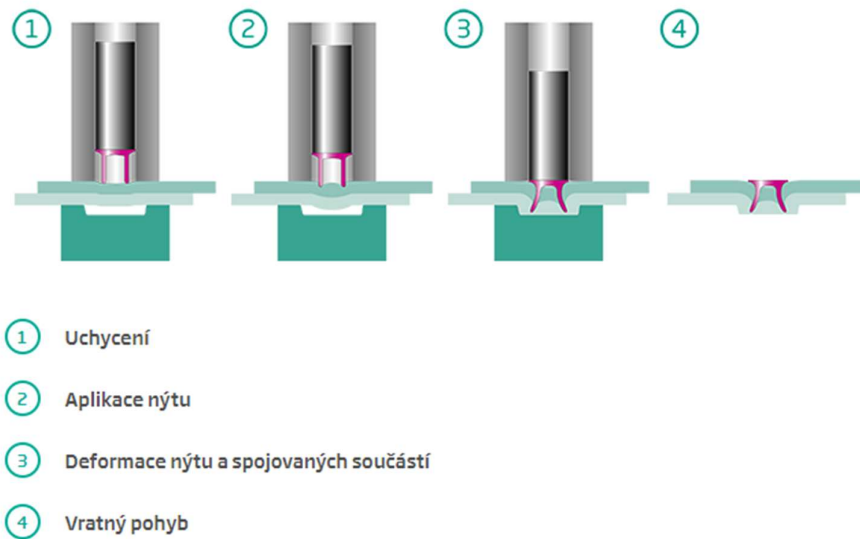
Obr. 15 Pevný nýt [24]

Jedná se o rozdílné postupy, a tak i výsledné spoje mají jiné vlastnosti. Hlavy u trhacích nýtů bývají většinou méně tuhé, a tedy tento typ spojení může přenášet hlavně smykové zatížení. Dále pak dochází k deformaci dřívku nýtu během nýtování, a proto nýt nevyplňuje dostatečně otvor. Z těchto důvodů vyplývá, že jinak identické nýtové spoje mohou mít rozdílnou životnost i když se liší pouze typem nýtu. Plné nýty jsou únosnější. Trhací nýty se používají pro méně namáhané spoje. [20]

Nýtování lze také dělit na nýtování za tepla, samoděrovací nýtování a elektromagnetické nýtování.

Při nýtování za tepla se používá pevný nýt, který se zahřeje na zhruba 1000 °C – ten je následně vložený do připraveného otvoru a kladivem je vytvarována hlava nýtu. Nýty jsou však instalovány na různých místech – po zahřátí na požadovanou teplotu je obtížné současně měnit polohu nýtů a udržovat jejich teplotu pomocí automatizace.

Samoděrovací nýtování (Obr. 16) patří mezi operace tváření za studena, ke spojení dvou a více plechů materiálu pomocí polotrubkového nýtu. Ten propíchne horní plechy i spodní plechy, ale nevystupuje ven z dolního plechu. Následně se roztáhne kmen nýtu pomocí vhodné matrice – tento proces je často používán pro nýtování plechů a lehkých slitin. U vysokopevnostních ocelí a titanových slitin mohou nastat potíže s propíchnutím plechů nýtem, protože mechanické vlastnosti nýtů i plechů jsou v takovém případě srovnatelné.



Obr. 16 Samoděrovací nýtování [25]

Elektromagnetické nýtování je proces, při kterém se převádí elektromagnetická energie na energii mechanickou pro vytvoření plastické deformace nýtu. U nýtů dochází k velkému rázu, který vzniká za působení elektromagnetických účinků po velmi krátkou dobu. Nýt tedy může být okamžitě deformován do finální podoby, avšak ráz produkovaný v procesu je velmi velký, a to vede k silné koncentraci napětí v materiálu. Tato skutečnost vede nevyhnutelně k prasklinám v okolí nýtu. [21]

2.3 Fotogrammetrie

Fotogrammetrií se rozumí všeobecné metody, pomocí kterých jsme schopni získat nepřímou metodou informace o tvaru a poloze tělesa, které je zachyceno na snímku. Fotogrammetrii lze uplatnit všude, kde je možné vyfotografovat daný objekt a snímky poté vyhodnotit a odborně posoudit.

Historie fotogrammetrie začíná u prvních fotografií. Krátce po objevu fotografie (1839) se provedly první techniky měření s využitím snímku. Nezávisle na sobě použili fotogrammetrii francouzský důstojník Laussedat (1851, „Métrophotographie“) a německý architekt Albrecht Meydenbauer (Obr. 17) (1858, „Messbildungverfahren“, „Photogrammetrie“). Meydenbauer použil fotografie pro měření fasád budov, což bylo do té doby často riskantní ruční prací. Pro tuto práci vytvořil vlastní kameru se snímkovacím formátem 40x40 cm. Následně vytvořil na příkaz pruské vlády, v letech 1885 až 1909, archiv se zhruba 16000 fotografiemi důležitých architektonických památek. Meydenbauer také vyvinul první grafické metody pro vyhodnocování snímků. [26]

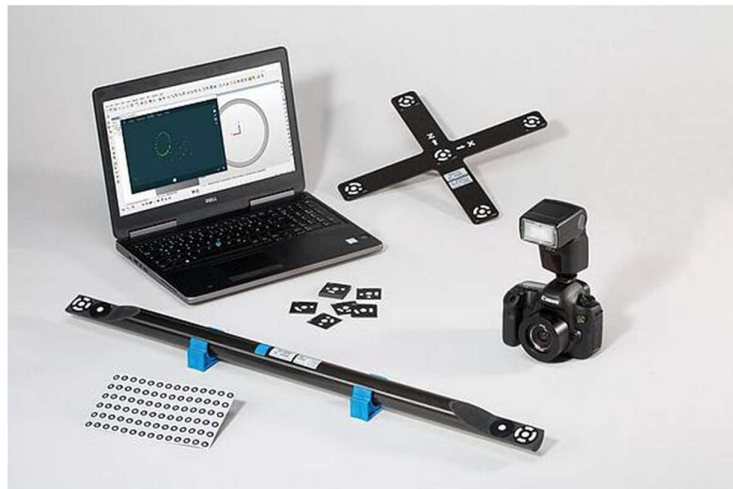


Obr. 17 Albrecht Meydenbauer [28]

Fotogrammetrii lze dělit dle dostupnosti snímků do čtyř skupin:

- a) offline fotogrammetrie
- b) online fotogrammetrie
- c) skenovací systémy
- d) speciální měřicí systémy

- a) Systémy offline fotogrammetrie (Obr. 18) jsou nejflexibilnější a nejpřenosnější pro průmyslová měření. Vzniká zde časová prodleva mezi získáním obrazu a dostupností výsledků. Toto je způsobeno tím, že kamera není obvykle připojena k počítači zpracovávajícímu data.



Obr. 18 Sestava pro offline fotogrammetrii [30]

- b) V systému online jsou kamery připojeny přímo k počítači, čímž nevzniká časová prodleva a výsledky jsou ihned dostupné. V kombinaci s dotykovým měřením sondou je tento systém určitou formou symbiózy mezi optickým a dotykovým měřením. Jestliže frekvence odpovídá měření frekvence změny nebo pohybu dílu, nazývají se takové systémy jako systémy reálného času. Oba tyto systémy jsou navrženy pro bodové měření dílů.

- c) Skenovací systémy dokáží získat hustou síť měřených bodů na povrchu součásti.

Tyto první tři skupiny jsou univerzální, velmi flexibilní, a tedy vhodné pro široké použití a široký rozsah aplikací.

d) Poslední skupinou jsou speciální měřicí systémy, které jsou přizpůsobeny k měření speciálních dílů. Většinou jsou koncipovány jako online systémy a jsou integrovány do výrobního procesu. Tyto systémy umožňují vysoký stupeň automatizace a snadnost použití. [27]

Lze také dělit dle vzdálenosti a místa pořízení snímku. Tedy na vesmírnou (snímky ze satelitů), leteckou [pořizování fotografií z letadla, nebo dronu (Obr. 19)], pozemní, blízkou (objekty vzdáleny méně než 300metrů) a makro (makroskopické záběry).



Obr. 19 Letecká fotogrammetrie (vytvoření 3D objektu složením z více snímků)

[29]

Dalším dělením je počet současně pořízených fotografií. To může být jeden snímek, dva snímky (stereo fotogrammetrie) nebo více snímků. [26]

2.3.1 Kamery

Kodak DCS 200 byla první videokamera s dobrým rozlišením (3mil. pixelů) a interním ukládáním obrázků na PCMCIA karty. Dnes jsou k dispozici fotoaparáty s rozlišením 14 milionů pixelů. Tyto kamery se snadno používají, a mají také dobrou geometrickou stabilitu, což je vyžadováno pro fotogrammetrické měření. Některé společnosti vyvinuly speciální fotogrammetrické kamery s integrovanými funkcemi pro zpracování snímků – tzv. „inteligentní kamery“, jako je například INCA od GSI nebo ICAM od Imetric. Pro monitorování dynamických procesů se využívají vysokorychlostní kamery.

2.3.2 Zaměřování cílů

Retroreflexní terče se používaly v průmyslové fotogrammetrii mnoho let. Výsledné snímky umožňují dobré rozlišení cíle a pozadí. Také je řízen kompletní řetězec osvětlení, který činí získání obrazu mnohem více nezávislé od individuálního nastavení fotoaparátu. Dalšími důvody byly kratší vyhledávací a měřicí časy v digitálních obrazech. Také lze použít terče z obyčejného papíru. Dále jsou pak zachovány získané informace o pozadí obrazu. Některé aplikace využívají projektované cíle, jako jsou tečkové nebo mřížkové vzory. Jedním z nejdůležitějších kroků byl vynález kódovaných terčů (Obr. 20), který se využívá v automatizaci. Kódované cíle představila poprvé společnost AICON v roce 1991. Kódované cíle mají svůj jedinečný identifikátor v podobě prstencového kódu nebo geometrického cílového vzoru. Každý bod je detekován, označen a měřen automaticky s pomocí softwaru.



Obr. 20 Kódované a nekódované terče [26]

2.3.3 Software a algoritmy

Vylepšení v oblasti měření obrazu souvisí také se softwarem. Dalším krokem bylo vyvinutí robustní výpočetní techniky. V základu mohou vést k selhání a úpravě svazku jen dvě chyby.

- špatné rozložení bodů
- nesprávné počáteční parametry

Špatné rozložení bodů na obrázcích způsobuje problémy s geometrií. První problém lze vyřešit kontrolou rozložení bodů. Druhý problém lze vyřešit vylepšením strategie odhadu chyb. Poslední důležitý bod v softwaru je – efektivní uživatelské rozhraní. Hlavní část vývoje softwaru v dnešní době je programování funkcí pro následné zpracování výsledků, jako je například deformační analýza nebo kontrola kruhovitosti.

2.3.4 Systémy

Typický systém pro offline fotogrammetrii se skládá z digitálního fotoaparátu s vysokým rozlišením, notebooku s vyhodnocovacím softwarem a zaměřovacího materiálu. Standardně se používají pro měření velkých dílů a jakýchkoliv deformačních analýz. Pro online nastavení se používají dva nebo více digitálních fotoaparátů s vysokým rozlišením upevněných na stativěch. Jejich relativní poloha je vypočítána pomocí kalibrační procedury. Určit polohu kamery lze pomocí prostorové resekce nad polem kontrolních kódovaných cílů, které se změří předem pomocí offline systému. Touto metodou lze zohlednit i relativní pohyby mezi jednotlivými kamerami a dalšími součástmi v průběhu měření. Příklady těchto systémů jsou GSI V-STARS, nebo AICON TraceCAM systems. Především TraceCAM se používá i pro sledování a určování polohy. Pomocí dodatečné dotykové sondy lze kombinovat optické a dotykové měření. Odlišný typ online systému je AICON ProCAM. Zde je princip převrácený, nastavení kamery je pevné a cíle jsou pohyblivé. Kamera s hrotem sondy je zde neaktivním prvkem. Referenční body zde slouží kromě měření i k navigaci sondy v prostoru. Výhodou tohoto uspořádání je rychlejší nastavení a možnost vytvořit i rozsáhlá měření. Pod online systémy spadají i systémy reálného času. Ty se používají hlavně pro sledování a kontrolu pohybu objektu.

2.3.5 Skenování povrchu

Povrchové skenery používající bílé světlo jako je Steinbichler Comet, nebo systém ATOS od GOM. Ty využívají aktivní okrajové projekce v kombinaci s jednou nebo více kamerami. Nejsou to přímo fotogrammetrické systémy, ale využívají hlavní fotogrammetrické principy pro nastavení kamer a kalibraci. Systémy jsou schopny pořizovat snímky hustých sítí bodů, ale jsou omezeny zorným polem, které je cca 500x500 mm. Postup při vyhodnocování výsledků je většinou kombinace technologie kódovaného světla a metody fázového posunu. U měření větších objektů lze jednotlivé fotografie skládat dohromady pomocí bodů nebo pomocí sítě referenčních bodů, která je většinou vytvořena offline fotogrammetrií.

2.3.6 Jednouúčelové systémy

Typický příklad je trubkový měřicí systém Tubelnspect vyvinutý firmou AICON. Tento systém umožňuje velmi precizní měření tlaku brzdové kapaliny v potrubí nebo hydraulických potrubích v motoru vozidel či letadel. Systém je programovatelný a schopný měřit jakoukoliv formu vedení, nebo trubice. Výsledky, úhly ohybů, zákruty a délky se porovnávají přímo s konstrukčními daty a jsou pak graficky znázorněny. Systém je plně automatický od měření po generování protokolu. Následně je možné odesílat korekce dat pro výrobu korigovaných trubek. [27]

3 Experimentální část

Cílem práce je určit jaký vliv mají technologické parametry na únosnost nýtového spoje. Důvodem je možnost náhrady bodových svarů v automobilovém průmyslu. Technologie nýtování je energeticky méně náročná než svařování. Také při nýtování nevzniká tepelně ovlivněná oblast materiálu v okolí svarového spoje, která může mít odlišné vlastnosti od zbytku materiálu. Při nýtování není potřeba hlídat vodivost materiálu – je jedno, jestli se spojují stejné nebo odlišné materiály. U svařování se také musí hlídat svařovací čas, jinak by se materiál propálil.

Únosnost nýtového spoje byla zkoušena pro dvě kombinace materiálů:

- ocel-ocel
- ocel-hliník

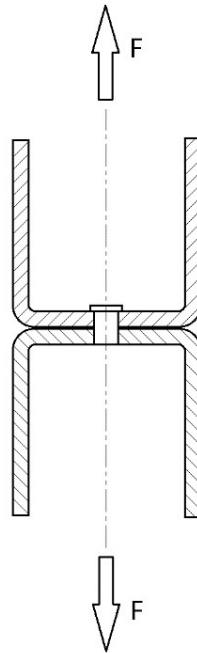
Obě dvě kombinace byly hodnoceny na základě praktické zkoušky smykem a zkoušky tahem.

- Zkouška tahem – Nýtový spoj byl zatěžován silou působící ve směru osy nýtu. (Obr. 21)
- Zkouška smykem – Nýtový spoj byl zatěžován silou působící kolmo k ose nýtu. (Obr. 22)

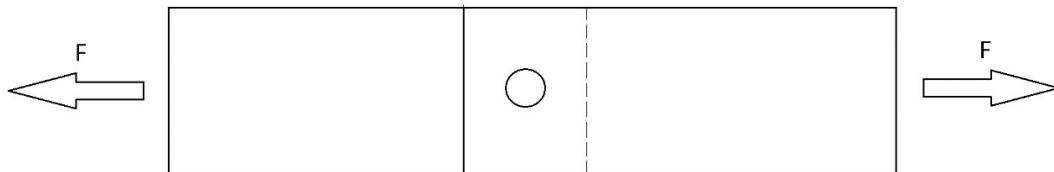
Zkoušky byly provedeny v laboratoři Technické univerzity Liberec na Katedře strojírenské technologie.

Pro účely zkoušek byl použit laboratorní trhací přístroj TIRA 2300.

Výsledky zkoušek byly následně zpracovány a vyhodnoceny v programu software Labtest 4.9.



Obr. 21 Schéma zkoušky tahem



Obr. 22 Schéma zkoušky smykem

V této práci byla zpracována a vyhodnocena maximální únosnost nýtového spoje. Bylo rozhodnuto o provedení zkoušky pro tři různé lisovací síly. Pro různé kombinace materiálů byly určeny různé rozsahy sil.

Pro každou lisovací sílu a kombinaci materiálů bylo vytvořeno osm zkušebních vzorků. Celkem bylo použito 48 vzorků. Lisovací síly byly určeny podle průměru hydraulického pístu a hodnot tlaku hydraulického média. Průměr hydraulického pístu byl 87 mm.

Kombinace materiálů ocel-ocel:

- Lisovací síla 48 kN – tlak média: 8 MPa
- Lisovací síla 54 kN – tlak média: 9 MPa
- Lisovací síla 60 kN – tlak média: 10 MPa

Kombinace materiálů ocel-hliník:

- Lisovací síla 36 kN – tlak média: 6 MPa
- Lisovací síla 42 kN – tlak média: 7 MPa
- Lisovací síla 48 kN – tlak média: 8 MPa

Kombinace materiálů ocel-ocel je DC05 + ZE75/75 BPO a HX260BD+Z100MB, a kombinace materiálů ocel-hliník je DC05 + ZE75/75 BPO a TL91.

Bylo provedeno také hodnocení nýtového spoje pomocí optických metod k určení dostatečného a nedostatečného zalisování nýtu.

3.1 Specifikace materiálů

3.1.1 Materiál DC05 + ZE75/75 BPO [32]

DC05 + ZE

- dle EN 10020 nelegovaná ušlechtilá ocel
- zvlášť uklidněná
- $R_m = 270$ až 350 [N/mm²]
- chemické složení (hmotnostní podíl v %, max): C = 0,06; P = 0,025; S = 0,025; Mn = 0,35

ZE75/75

Jmenovité hodnoty:

- tloušťka zinkového povlaku na každé straně = $7,5$ [μm]
- hmotnost = 54 [g/m²]

Minimální hodnoty:

- hmotnost povlaku na každé straně: tloušťka = $6,6$ [μm]
- hmotnost = 47 [g/m²]

B – jakost povrchu

PO – povrch fosfátovaný a olejovaný

3.1.2 Materiál HX260BD+Z100MB [33]

HX260BD

- chemické složení (hmotnostní podíl v %, max): C= 0,1; Si= 0,5; Mn= 0,8; P= 0,1; S= 0,025; Al_{total}≤ 0,1; Nb= 0,09; Ti= 0,12
- $R_m = 360$ až 440 MPa
- H – plochý produkt s vysokou pevností pro tváření za studena
- X – podmínky válcování (za tepla nebo za studena) nejsou specifikovány
- 260 – minimální bezpečná pevnost $R_{p0,2}$ [MPa]
- D – určeno pro žárové povlakování
- B – ocel po zahřátí do oblasti 170°C po dobu 20 minut vykazuje navýšení pevnosti

Z100

- minimální hmotnost zinkového povlaku na obou stranách plechu:
- triple spot test = 100 [g/m²]
- single spot test = 85 [g/m²]
- teoretické hodnoty tloušťky zinkového povlaku na povrchu při single spot test:
- jmenovitá hodnota = 7 [μm]
- mezní hodnoty = 5 až 12 [μm]
- MB – zlepšený povrch

3.1.3 Materiál TL091 [34]

- chemické složení: $\text{Si} \leq 1,5$; $\text{Fe} \leq 0,5$; $\text{Cu} \leq 0,3$; $\text{Mn} \leq 0,8$; $\text{Mg} \leq 1$; $\text{Cr} \leq 0,15$; $\text{Zn} \leq 0,3$; $\text{Ti} \leq 0,25$
- tepelné zpracování: T4 podle DIN EN 515
- po dodání musí splňovat požadované vlastnosti šest měsíců
- tloušťka plechu 2 mm
- $R_m = 250 \text{ N/mm}^2$
- $R_{p0,2} = 16 \text{ N/mm}^2$
- $A_{80\text{mm}} \geq 22 \%$
- zkoušky provedeny podle DIN EN 10 002-1

3.2 Určení mechanických hodnot materiálů

Mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů byly určeny statickou zkouškou v tahu. Každá série měla pět vzorků. Testovací vzorky byly odebrány vzhledem ke směru válcování materiálu – ve směru 0°, 45° a 90°.

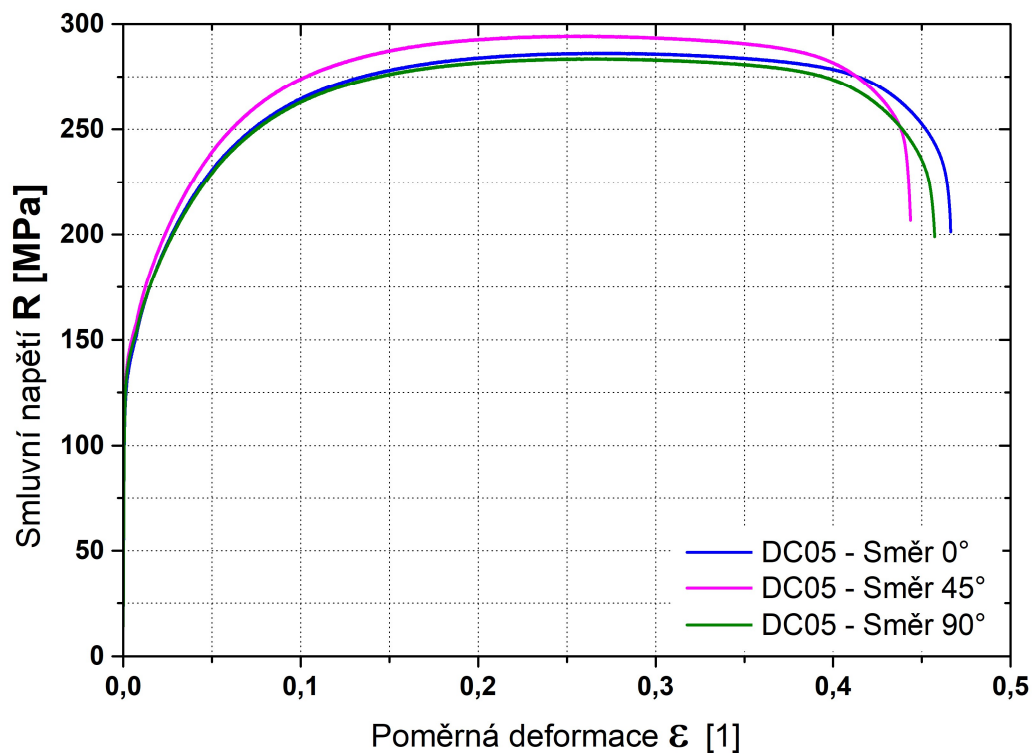
Parametry vzorků (rozměry, tvar) byly určeny v souladu s normou ČSN ISO 6892-1. Rozměr vzorku byl 1,3 x 20 mm. Rychlost posuvu příčnicku byla 1 mm/min.

Parametry, průběh zkoušky a hodnocení zkoušky bylo provedeno dle dříve uvedené normy ČSN ISO 6892-1. Při testech byl použit trhací stroj TIRAtest 2300. Pro měření tahové síly byl použit tenzometrický snímač síly KAF 100kN. Pro vyhodnocení byl použit software Labtest 4.9. Tento software umožňuje nastavení všech parametrů potřebných pro započítání, provedení a ukončení zkoušky.

Souhrnné grafy průběhů zkoušek pro všechny tři testované materiály jsou znázorněny na Obr. 23, Obr. 24, Obr. 25.

Hodnoty naměřených mechanických vlastností pro všechny použité materiály jsou uvedeny v Tab. 1, Tab. 2 a Tab. 3. V tabulkách jsou uvedeny průměrné hodnoty výsledků z jednotlivých souborů zkoušek. Detailní informace o jednotlivých zkouškách jsou v přílohách I až IX.

3.2.1 Materiál: DC05+ZE75/75 BPO

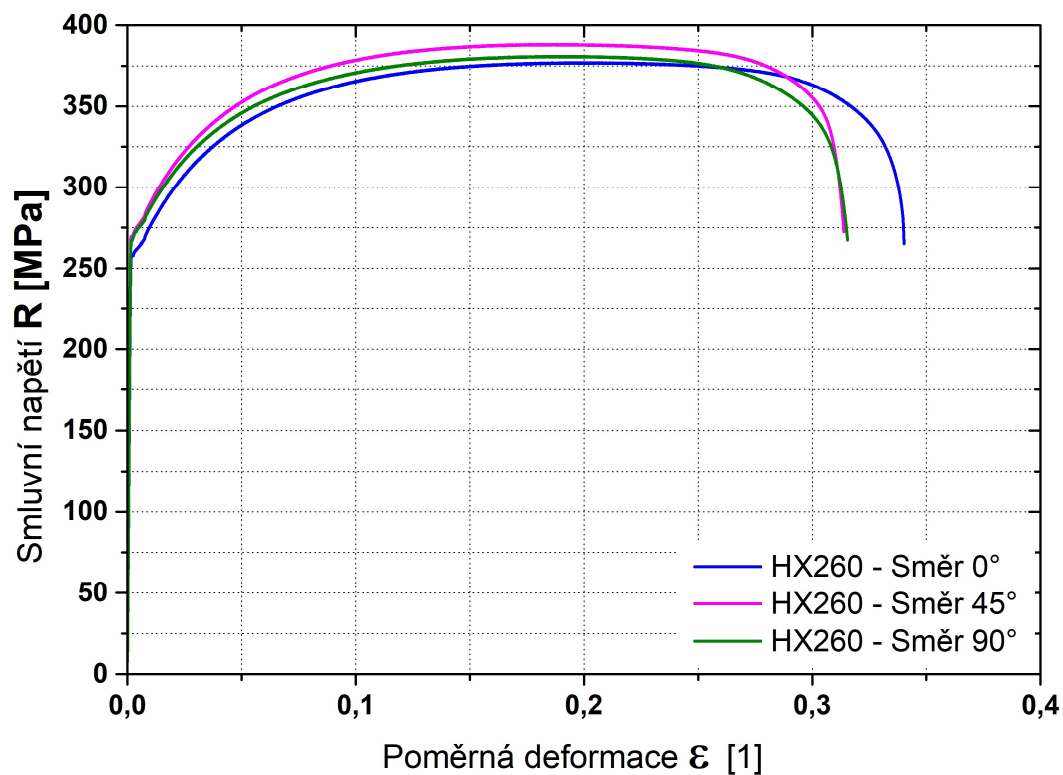


Obr. 23 Souhrnný graf pro materiál DC05+ZE75/75 BPO

Tab. 1: Naměřené hodnoty pevností v tahu pro materiál DC05+ZE75/75 BPO

| Vzorek | Průměrná hodnota \pm směrodatná odchylka | | | | |
|----------|--|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | $R_{p0,2}$ [MPa] | R_m [MPa] | A_g [%] | A_{80mm} [%] | r |
| Směr 0° | 132,4 \pm 2,7 | 285 \pm 2,1 | 27,3 \pm 0,7 | 46,6 \pm 0,9 | 2 \pm 0,01 |
| Směr 45° | 142 \pm 0,6 | 294,5 \pm 0,8 | 25,4 \pm 0,6 | 44,2 \pm 0,5 | 1,8 \pm 0,01 |
| Směr 90° | 138,7 \pm 0,4 | 283,6 \pm 0,9 | 26,4 \pm 0,4 | 45,3 \pm 0,7 | 2,5 \pm 0,01 |

3.2.2 Materiál: HX260BD+Z100MB

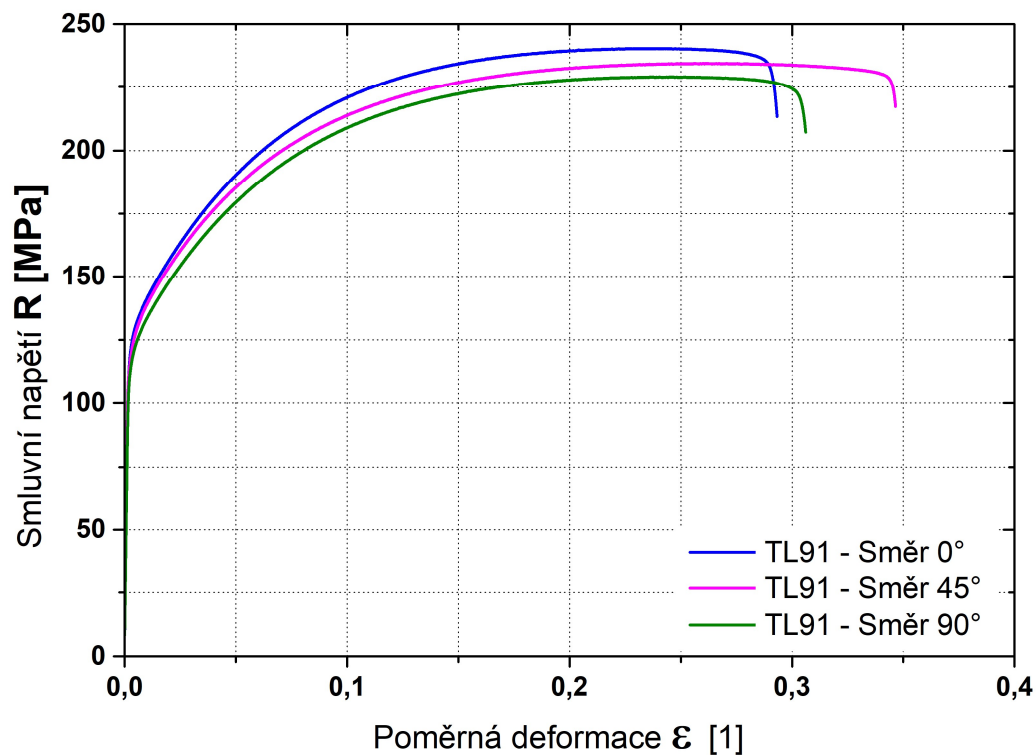


Obr. 24 Souhrnný graf pro materiál HX260BD+Z100MB

Tab. 2: Naměřené hodnoty pevností v tahu pro materiál HX260BD+Z100MB

| Vzorek | Průměrná hodnota ± směrodatná odchylka | | | | |
|----------|--|-------------|-----------|----------------|----------|
| | $R_{p0,2}$ [MPa] | R_m [MPa] | A_g [%] | A_{80mm} [%] | r |
| Směr 0° | 261,6±1,3 | 377,5±1,4 | 19,2±0,2 | 33,8±0,4 | 1,5±0,01 |
| Směr 45° | 273,3±0,7 | 388,4±0,9 | 18,4±0,2 | 31,4±0,3 | 1,3±0,01 |
| Směr 90° | 272,2±0,6 | 381,2±0,9 | 19±0,2 | 31,4±0,3 | 1,8±0,01 |

3.2.3 Materiál: TL91



Obr. 25 Souhrnný graf pro materiál TL91

Tab. 3: Naměřené hodnoty pevností v tahu pro materiál TL91

| Vzorek | Průměrná hodnota \pm směrodatná odchylka | | | | |
|----------|--|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | $R_{p0,2}$ [MPa] | R_m [MPa] | A_g [%] | A_{80mm} [%] | r |
| Směr 0° | 127 \pm 0,3 | 240,3 \pm 0,7 | 23,2 \pm 0,2 | 28,9 \pm 0,3 | 0,7 \pm 0,01 |
| Směr 45° | 122,6 \pm 0,3 | 234,6 \pm 0,6 | 26,7 \pm 0,7 | 34,7 \pm 1,3 | 0,6 \pm 0,01 |
| Směr 90° | 119,7 \pm 0,4 | 229,2 \pm 0,4 | 23,8 \pm 0,2 | 30,6 \pm 0,4 | 0,6 \pm 0,01 |

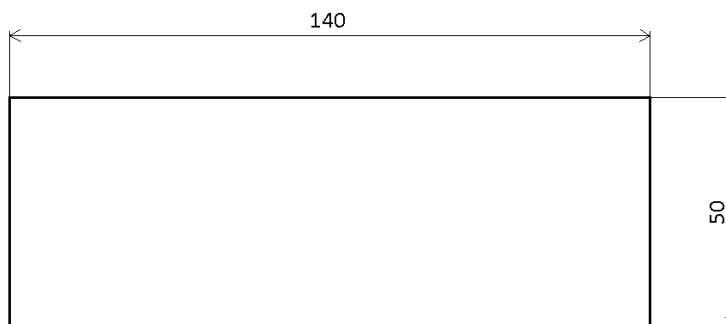
3.3 Příprava vzorků

3.3.1 Příprava vzorků na smyk

Trhací stroj byl pro zkoušky osazen upínacími čelistmi, které byly schopny upnout ploché vzorky. Bylo tedy potřeba nastříhat polotovary na výrobu vzorků. K tomu byly použity tabulové nůžky DURMA MS2504 (Obr. 26). Polotovary byly o rozměrech 140x50 mm (Obr. 27). Celkem bylo takto připraveno čtyřicet osm vzorků. Materiál ocel DC05 byl použit jako materiál s menší tloušťkou. Nýt jím prošel skrz a byl rozevřen a zalisován do druhého materiálu, tedy do materiálu ocel HX260 nebo hliník TL91.



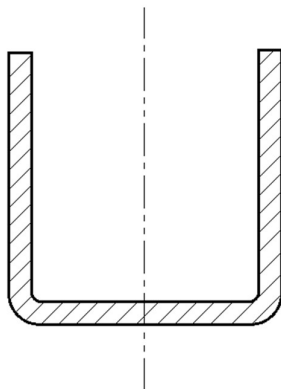
Obr. 26 Tabulové nůžky DURMA MS2504



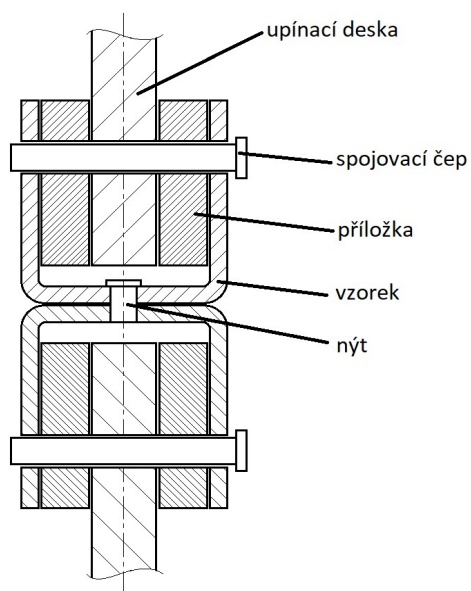
Obr. 27 Polotovar pro vzorky na zkoušku smykem

3.3.2 Příprava vzorků na tah

Trhací stroj byl pro zkoušky osazen upínacími čelistmi, které byly schopny upnout ploché vzorky. Zde byl problém s upnutím vzorku do stroje, protože nýt musel být namáhán silou v ose. Nakonec bylo rozhodnuto o ohnutí polotovarů do tvaru U (Obr. 28) pro dosažení zatížení spoje v ose nýtu. Další problém byl, že takovýto vzorek nelze upnout do čelistí trhacího stroje. Bylo tedy rozhodnuto o vytvoření upínacího přípravku (Obr. 29).



Obr. 28



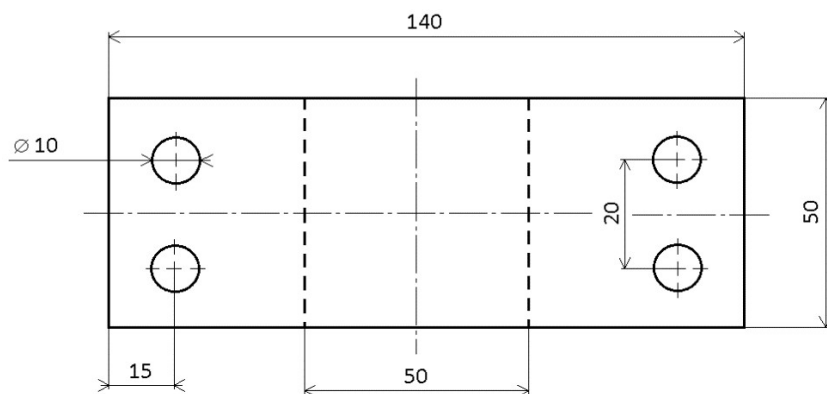
Obr. 29 Upínací přípravek

Jednalo se o dvě desky upnuté v čelistech trhacího stroje a čtyři příložky, dvě ke každé desce, aby se vzorek příliš nedeformoval. Tyto příložky i upínací desky měly dva otvory na čepy, díky kterým držel přípravek pohromadě a zároveň upínaly i vzorek k přípravku. Příložky také zajišťovaly, aby nýtový spoj byl namáhán tahem, nikoli odlupem.

Nejprve bylo potřeba nastříhat polotovary na výrobu vzorků. K tomu byly použity tabulové nůžky DURMA MS2504 (Obr. 26). Polotovary měly rozměry 140x50 mm. Celkem bylo takto připraveno čtyřicet osm vzorků. Materiál ocel DC05 byl použit jako tenčí. Nýt jím prošel skrz a byl rozevřen a zalisován do druhého materiálu, tedy do materiálu ocel HX260 nebo hliník TL91.

Následně byly do polotovarů vyvrtány otvory na čepy, kterými byly upnuty v přípravku (Obr. 30). Pro vyvrtání otvorů byla použita sloupová vrtačka (Obr. 31).

Pak byly polotovary ohnuty do tvaru dle Obr. 31 o rozměrech dle Obr. 33. Dno ohnutého polotovaru muselo být širší než výška stěn, jinak by nešlo polotovar ohnout. K ohýbání vzorků byl použit ohraňovací lis APHS 2104x60 (Obr. 32).



Obr. 30 Finální polotovar připravený k ohnutí



Obr. 31 Sloupová vrtačka

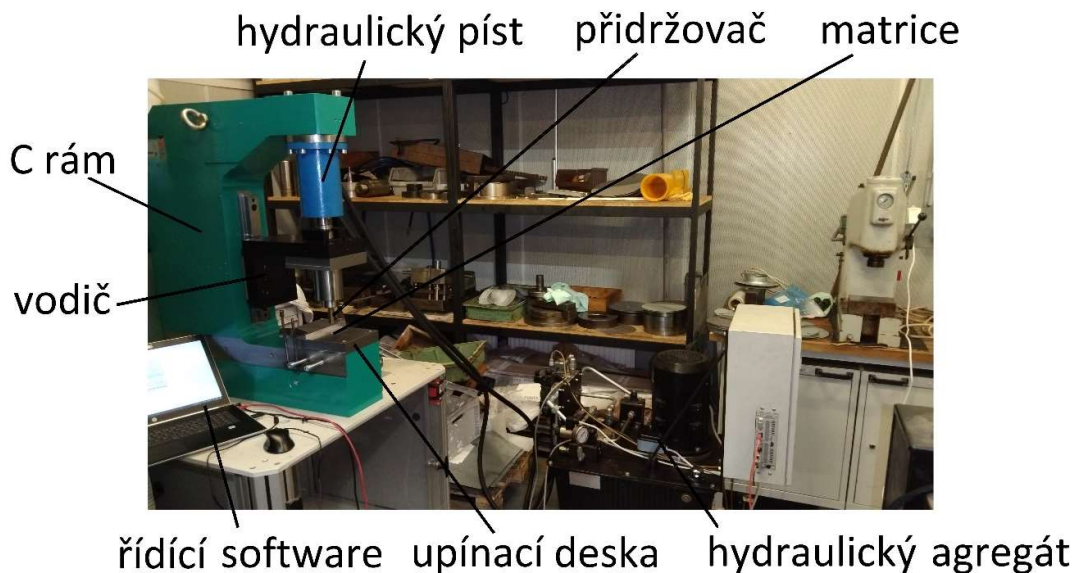


Obr. 32 ohraňovací lis APHS 2104x60

3.4 Nýtování vzorků

Jedná se o poslední úkon při přípravě vzorků. Pro nýtování byla využita technologie samoděrovacího nýtování.

K nýtování vzorků byl použit nýtovací stroj od výrobce TOX (Obr. 33), sestávající se z C rámu, hydraulického pístu, nástrojové desky, matrice, přídržovače, vodiče, hydraulického agregátu a řídicího softwaru.



Obr. 33

K samoděrovacímu nýtování je nutné použít správné matrice. Matrice je nástroj, který napomáhá rozevření nýtu a vytvoření optimálního spoje.

Pro konkrétní materiál se používá specifická matrice. Pro hliník se používá matrice na Obr. 34 z důvodu nižších mechanických vlastností, kdy není potřeba napomáhat rozevření nýtu. Pro ocel se používá matrice na Obr. 35. Na tomto obrázku je vidět kuželový hrot se zaoblenou špičkou. Tento kuželový hrot napomáhá rozevření nýtu ve spoji. Na obrázcích Obr. 36 a Obr. 37 jsou vidět rozdíly ve dnu nýtu při použití jednotlivých matic.



Obr. 34 Matrice pro hliník



Obr. 35 Matrice pro ocel



Obr. 36 Tvar nýtového spoje pro ocel-Al



Obr. 37 Tvar nýtového spoje pro ocel-ocel

Pokud na matici nýtovačky tento hrot není, hrozí nedostatečné rozevření nýtu ve spoji. Důvodem jsou vysoké hodnoty mechanických vlastností oceli, a tedy vytvoření nedokonalého spoje s nižší únosností. V extrémním případě by nemuselo dojít k vytvoření nýtového spoje.

Během nýtování byly použity dva druhy samoděrovacích nýtů (Obr. 38, Obr. 39), Použité nýty měly průměr 5 mm. Tento rozměr jsem zvolil, protože stejný průměr má i bodový svar používaný v automobilovém průmyslu.

Lze tedy posléze porovnat vlastnosti nýtového a svarového spoje. Hlava obou nýtů měla průměr 8 mm a délky nýtů byly 3 a 5 mm. Pro kombinaci materiálů ocel-ocel byl použit nýt dlouhý 3 mm. Pro druhou kombinaci materiálů, tedy pro ocel-hliník, byl použit nýt dlouhý 5 mm.



Obr. 38



Obr. 39

3.4.1 Příprava vzorků pro smykovou zkoušku

Vzorky na zkoušku smykem byly vytvořeny tak, že byly přeloženy přes sebe o 40 mm a snýtovány. Nýt byl vždy umístěn do geometrického středu přeložení obou vzorků. (Obr. 40)



Obr. 40 Vzorek na zkoušku ve smyku

3.4.2 Příprava vzorků na zkoušku tahem

U nýtování vzorků pro zkoušku tahem byl problém, že nebylo možné snýtovat k sobě ohnuté polotovary. Bylo tedy rozhodnuto nechat vyrobít přídatnou podložku pod matici, aby bylo možné vzorky nýtovat (Obr. 41).



Obr. 41 Přídatná podložka pod matici

Na upínací desku nýtovacího stroje byla nejprve umístěna podložka, do které se vložila matrice. Následně byl na podložku s maticí umístěn polotovar. Dospodu byl vždy umístěn ten silnější ze spojovaných materiálů. Důvodem bylo to, že v silnějším materiálu byl nýt zalisován větší částí a primárně držel tedy v tomto materiálu (Obr. 42). Následně byl umístěn také druhý materiál. Poté byl založen nýt do nýtovačky (Obr. 43), následovalo nýtování. Na nýtovačce byl použit dvojčinný hydraulický píst a pro správnou funkci se muselo přepínat mezi jednočinným a dvojčinným chodem pístu (Obr. 44).



Obr. 42 Silnější polotovar vespod



Obr. 43 Polotovary připravené k nýtování

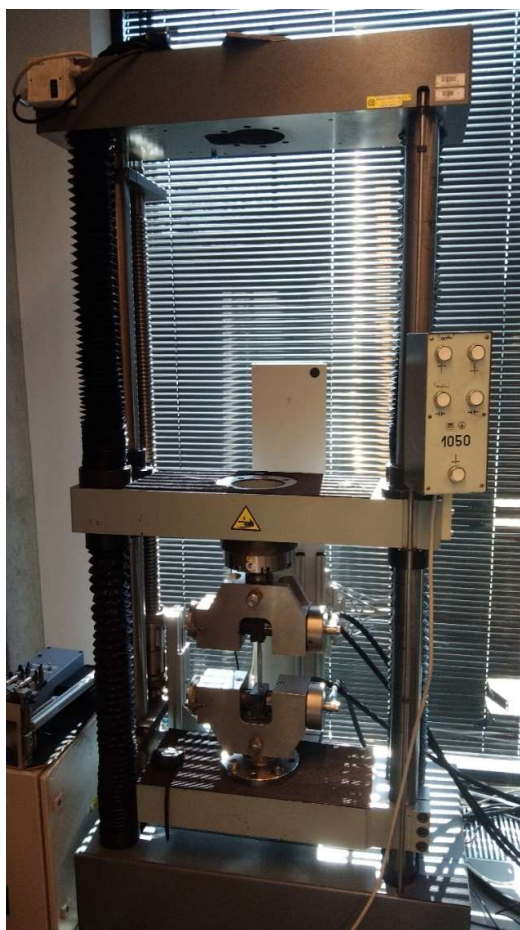


Obr. 44 Pohled na vyhotovený spoj

3.5 Zkouška nýtového spoje

Ke zkoušce byl využit trhací stroj TIRAtest 2300 (Obr. 45) Pro zkoušku byl použit tenzometrický snímač KAF 10 kN a rychlost posuvu příčnicku byla zvolena 10 mm/min. Pro každou kombinaci materiálů a technologických parametrů byla vyhotovena série osmi vzorků.

Únosnost spoje byla hodnocena dle nejvyšší naměřené síly. Výsledky pro zkoušku smykem jsou v Tab.4, pro zkoušku v tahu jsou výsledky v Tab.5. Detailní informace o jednotlivých zkouškách ve smyku jsou v přílohách IX až XV a informace o zkouškách v tahu jsou v přílohách XVI až XXI.



Obr. 45 Trhací přístroj TIRAtest 2300

3.5.1 Zkouška nýtového spoje ve smyku

Pro tuto zkoušku bylo možné upnout vzorek klasickým způsobem do čelisti (Obr. 46).



Obr. 46 Vzorek upnutý v trhacím stroji před zkouškou

Následně byl spuštěn test, při kterém byla měřena síla namáhající spoj. Vzorek se během zkoušky zdeformoval (Obr. 47, Obr. 48, Obr. 49, Obr. 50).



Obr. 47 Vzorek po zkoušce



Obr. 48 Deformace vzorku po zkoušce



Obr. 49 Deformace dna nýtu po zkoušce



Obr. 50 Deformace plechu po zkoušce

Tab. 4: Výsledky měření únosnosti nýtového spoje ve smyku

| Kombinace materiálů | HX260-DC05 | | | DC05-TL91 | | |
|---------------------|------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| Zkouška | Smyk | | | Smyk | | |
| | 48 kN | 54 kN | 60 kN | 36 kN | 42 kN | 48 kN |
| | F* [N] | F* [N] | F* [N] | F* [N] | F* [N] | F* [N] |
| 1 | 2310 | 2310 | 2336 | 2312 | 2210 | 2236 |
| 2 | 2285 | 2312 | 2287 | 2407 | 2256 | 2230 |
| 3 | 2315 | 2315 | 2312 | 2258 | 2235 | 2210 |
| 4 | 2301 | 2364 | 2310 | 2404 | 2255 | 2186 |
| 5 | 2319 | 2337 | 2322 | 2387 | 2303 | 2173 |
| 6 | 2266 | 2313 | 2272 | 2369 | 2233 | 2188 |
| 7 | 2324 | 2282 | 2346 | 2450 | 2287 | 2220 |
| 8 | 2140 | 2305 | 2308 | 2393 | 2244 | 2206 |
| Průměrná hodnota | 2282 | 2317 | 2312 | 2373 | 2253 | 2206 |
| Směrodatná odchylka | 61 | 24 | 24 | 60 | 30 | 22 |
| Minimální hodnota | 2140 | 2282 | 2272 | 2258 | 2210 | 2173 |
| Maximální hodnota | 2324 | 2364 | 2346 | 2450 | 2303 | 2236 |

3.5.2 Zkouška nýtového spoje na tah

Pro tuto zkoušku nebylo možné upnout vzorek klasickým způsobem do čelistí jako u předchozí zkoušky. Byl tedy použit upínací přípravek (Obr. 51).



Obr. 51 Vzorek upnutý v přípravku pro zkoušku tahem

Přípravek však úplně neodstranil deformace vzorku během zkoušky, ale snížil je na přijatelnou hodnotu tak, aby bylo možné namáhání spoje prohlásit za tahové (Obr. 52, Obr. 53).



Obr. 52 Vzorek po zkoušce tahem



Obr. 53 Vzorek po zkoušce tahem

Tab. 5: Výsledky měření únosnosti nýtového spoje v tahu

| Kombinace materiálů | HX260-DC05 | | | DC05-TL91 | | |
|---------------------|------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | Tah | | | Tah | | |
| Zkouška | 48 kN | 54 kN | 60 kN | 36 kN | 42 kN | 48 kN |
| | F* [N] | F* [N] | F* [N] | F* [N] | F* [N] | F* [N] |
| 1 | 2098 | 1900 | 2030 | 1925 | 1900 | 1780 |
| 2 | 1818 | 2067 | 2651 | 1777 | 2067 | 1934 |
| 3 | 1979 | 1874 | 2288 | 1965 | 1874 | 2157 |
| 4 | 1619 | 2017 | 2043 | 2077 | 2017 | 1781 |
| 5 | 2294 | 1870 | 2142 | 1919 | 1870 | 2082 |
| 6 | 1902 | 1818 | 2599 | 1943 | 1818 | 1745 |
| 7 | 1952 | 1954 | 2276 | 1978 | 1954 | 2066 |
| 8 | 2437 | 1864 | 2300 | 1849 | 1864 | 1873 |
| Průměrná hodnota | 2012 | 1920 | 2291 | 1929 | 1920 | 1927 |
| Směrodatná odchylka | 261 | 85 | 232 | 89 | 85 | 158 |
| Minimální hodnota | 1619 | 1818 | 2030 | 1777 | 1818 | 1745 |
| Maximální hodnota | 2437 | 2067 | 2651 | 2077 | 2067 | 2157 |

3.6 Optické hodnocení spoje

Nejprve bylo potřeba připravit výbrusy jednotlivých vzorků, které byly následně hodnoceny pomocí optických metod. Poté bylo třeba vzorky nařezat. K tomuto účelu byly použity dvě kotoučové pily, jedna na hrubé odříznutí vzorku a druhá na čistý řez pro následné zalisování vzorku.



Obr. 54



Obr. 55

Na Obr. 54 je zobrazena pila pro hrubé oříznutí vzorku a na Obr. 55 je pila, která byla použita pro odříznutí vzorku načisto. Vzorek se zde upíná pomocí upínek pro zajištění polohy a pila sama má možnost přesného posuvu stolu se vzorkem.



Obr. 56 Odříznutý vzorek připravený k zalisování



Obr. 57 Simplimet 1000 BUEHLER

Uříznutý vzorek (Obr. 56) se následně zalisuje do plastu pomocí přístroje Simplimet (Obr. 57). Nejprve se připraví vzorek na pracovní stolec stroje, ten následně zajede až na doraz dovnitř stroje. Následně se vzorek zasype granulátem plastu a uzavře se pojistné víko.

Poté se již přístroj řídí nastaveným pracovním cyklem. Ten zahrnuje lisování, ohřev granulátu a následné chlazení.

Chlazení se provádí za pomoci vody. Bez použití vody by ochlazování trvalo příliš dlouho. Po ukončení cyklu (který trvá asi patnáct minut) přístroj zahlásí ukončení cyklu. Po ukončení cyklu lze vyjmout zalisovaný vzorek (Obr. 58).



Obr. 58

Takto připravený vzorek se brousí na brusce (Obr. 59) pro odstranění přebytečného plastu z povrchu vzorku. Důvodem broušení je zlepšení vizuální stránky vzorku, z hlediska ostroty, lesku a drsnosti povrchu vzorku. Tyto vlastnosti jsou nutné pro následné vyhodnocení vzorků.

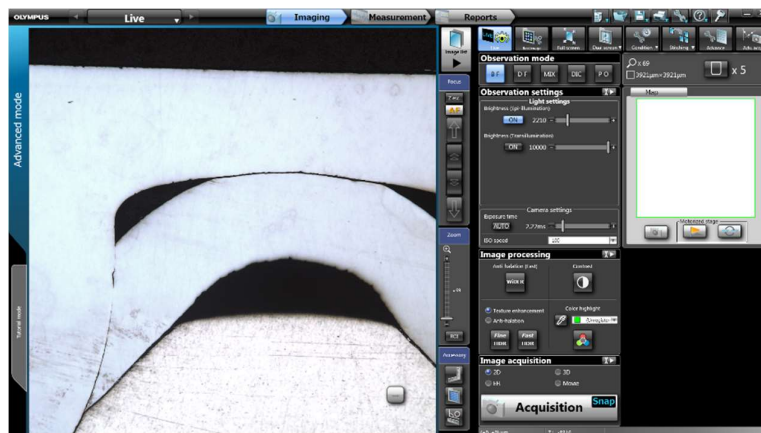


Obr. 59

Pro vyhodnocení vzorků a pořízení snímků byl použit mikroskop Olympus DSX500 (Obr. 60). Mikroskop není primárně určen pro pořizování makrosnímků, takže výsledný snímek je složen ze šesti menších snímků. Tyto snímky se skládají dohromady za pomoci softwaru. K tomuto účelu byl použit program DSX-BSW (Obr. 61).



Obr. 60



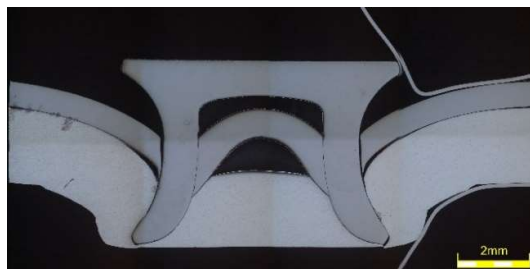
Obr. 61

3.6.1 Materiály: HX260-TL91

Vyhodnocení vzorků bylo provedeno na základě vizuální kontroly, při které bylo vizuálně hodnoceno, jestli je nýt dostatečně zalisovaný.



Obr. 62 Lisovací síla 24 kN



Obr. 63 Lisovací síla 36 kN



Obr. 64 Lisovací síla 42 kN



Obr. 65 Lisovací síla 48 kN

- Na Obr. 62 je vidět nýt, který je zalisovaný lisovací silou 24 kN. Tento nýt je nedostatečně zalisován do spojovaných materiálů.
- Na Obr. 63 je vidět nýt, který je zalisovaný lisovací silou 36 kN. Tento nýt je také nedostatečně zalisován do materiálu.
- Na Obr. 64 a Obr. 65, jsou nýty při použití lisovací síly 42 kN a 48 kN. Tyto nýty jsou již dostatečně zalisované. Oba spoje jsou vyhovující.

3.6.2 Materiály: HX260-DC05

Vyhodnocení vzorků bylo provedeno stejně jako v předchozím případě na základě vizuální kontroly, při které bylo hodnoceno pouze, jestli je nýt dostatečně zalisován.



Obr. 66 Lisovací síla 36 kN



Obr. 67 Lisovací síla 48 kN



Obr. 68 Lisovací síla 54 kN



Obr. 69 Lisovací síla 60 kN

- Na Obr. 66 je nýt zalisovaný lisovací silou 36 kN. Tento nýt je nedostatečně zalisován do materiálu.
- Na Obr. 67 je nýt zalisovaný lisovací silou 48 kN. Tento nýt je již dostatečně zalisován. Je vyhovující.
- Na Obr. 67 (lisovací síla 48 kN), Obr. 68 (lisovací síla 54 kN) a Obr. 69 (60 kN) je vidět, že již nedošlo k výraznému rozdílu v kvalitě lisovaného spoje. Zvyšování lisovací síly nad hodnotu 48 kN již nemá viditelný vliv na výsledný spoj.

4 Diskuze výsledků

Výsledky v Tab.4 a v Tab.5 byly podrobeny analýze pomocí statistiky za účelem určení, jestli má změna technologických vlastností procesu nýtování vliv na výslednou únosnost spoje.

Naměřená data byla použita v analýze rozptylu. Jedná se o metodu pro posouzení variability výsledných dat opakovaného náhodného pokusu. Posuzuje se tedy proměnlivost náhodné veličiny.

Cílem této analýzy je určit faktory, které mají na výsledek statisticky významný vliv a které jsou pouze náhodné ve vztahu k dané proměnné. Použití této metody vyžaduje stejnou četnost prvků výběrového souboru, vzájemnou nezávislost prvků, srovnatelný rozptyl a normální rozdělení. [35]

HX260-DC05-SMYK

Anova: jeden faktor

| Faktor | | | | | |
|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--|
| <i>Výběr</i> | <i>Počet</i> | <i>Součet</i> | <i>Průměr</i> | <i>Rozptyl</i> | |
| Sloupec 1 | 8 | 18260 | 2282,5 | 3684,857 | |
| Sloupec 2 | 8 | 18538 | 2317,25 | 581,6429 | |
| Sloupec 3 | 8 | 18493 | 2311,625 | 582,2679 | |

ANOVA

| <i>Zdroj variability</i> | <i>SS</i> | <i>Rozdíl</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Hodnota P</i> | <i>F krit</i> |
|--------------------------|-----------|---------------|-----------|----------|------------------|---------------|
| Mezi výběry | 5566,583 | 2 | 2783,292 | 1,722061 | 0,202988 | 3,4668 |
| Všechny výběry | 33941,38 | 21 | 1616,256 | | | |
| Celkem | 39507,96 | 23 | | | | |

DC05-TL91-SMYK

Anova: jeden faktor

| Faktor | | | | |
|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| <i>Výběr</i> | <i>Počet</i> | <i>Součet</i> | <i>Průměr</i> | <i>Rozptyl</i> |
| Sloupec 1 | 8 | 18980 | 2372,5 | 3657,429 |
| Sloupec 2 | 8 | 18023 | 2252,875 | 903,2679 |
| Sloupec 3 | 8 | 17649 | 2206,125 | 500,125 |

ANOVA

| Zdroj variability | SS | Rozdíl | MS | F | Hodnota P | F krit |
|-------------------|----------|--------|----------|----------|-----------|--------|
| Mezi výběry | 117803,6 | 2 | 58901,79 | 34,91634 | 2,1E-07 | 3,4668 |
| Všechny výběry | 35425,75 | 21 | 1686,94 | | | |
| Celkem | 153229,3 | 23 | | | | |

HX260-DC05-TAH

Anova: jeden faktor

| Faktor | | | | |
|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| <i>Výběr</i> | <i>Počet</i> | <i>Součet</i> | <i>Průměr</i> | <i>Rozptyl</i> |
| Sloupec 1 | 8 | 16099 | 2012,375 | 68059,7 |
| Sloupec 2 | 8 | 15364 | 1920,5 | 7246,857 |
| Sloupec 3 | 8 | 18329 | 2291,125 | 53800,7 |

ANOVA

| Zdroj variability | SS | Rozdíl | MS | F | Hodnota P | F krit |
|-------------------|----------|--------|----------|----------|-----------|--------|
| Mezi výběry | 596014,6 | 2 | 298007,3 | 6,924645 | 0,004901 | 3,4668 |
| Všechny výběry | 903750,8 | 21 | 43035,75 | | | |
| Celkem | 1499765 | 23 | | | | |

DC05-TL91-TAH

Anova: jeden faktor

| Faktor | | | | | |
|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--|
| <i>Výběr</i> | <i>Počet</i> | <i>Součet</i> | <i>Průměr</i> | <i>Rozptyl</i> | |
| Sloupec 1 | 8 | 15433 | 1929,125 | 7916,696 | |
| Sloupec 2 | 8 | 15364 | 1920,5 | 7246,857 | |
| Sloupec 3 | 8 | 15418 | 1927,25 | 25037,07 | |

| ANOVA | | | | | | |
|--------------------------|-----------|---------------|-----------|----------|----------------|---------------|
| <i>Zdroj variability</i> | <i>SS</i> | <i>Rozdíl</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Hodnota</i> | |
| | | | | | <i>P</i> | <i>F krit</i> |
| Mezi výběry | 329,25 | 2 | 164,625 | 0,012285 | 0,987797 | 3,4668 |
| Všechny výběry | 281404,4 | 21 | 13400,21 | | | |
| Celkem | 281733,6 | 23 | | | | |

Je-li ve statistickém testu $F > F_{krit}$, pak v takovém případě má změna technologických parametrů vliv na výsledný nýtový spoj. V opačném případě, tedy když je $F < F_{krit}$, změna technologických parametrů nemá vliv na výsledný nýtový spoj.

Tab. 6: Vliv technologických parametrů

| Zkouška na: | | Smyk | | Tah | |
|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| Kombinace materiálů | | DC05-TL91 | HX260-DC05 | DC05-TL91 | HX260-DC05 |
| Změna lisovací síly | má vliv | X | | | X |
| | nemá vliv | | X | X | |

5 Závěr

Cílem práce bylo určit, jaký vliv mají technologické parametry na únosnost nýtového spoje. Důvodem je možnost náhrady bodových svarů v automobilovém průmyslu. Technologie nýtování je energeticky méně náročná než svařování. Také při nýtování nevzniká tepelně ovlivněná oblast materiálu v okolí svarového spoje, která může mít odlišné vlastnosti od zbytku materiálu. Při nýtování není potřeba hlídat vodivost materiálu – je jedno, jestli spojují stejné nebo odlišné materiály.

V části zaměřené na teorii byly popsány jednotlivé metody spojování různých druhů materiálů. Popsány jsou výhody a nevýhody jednotlivých typů spojování materiálů.

Zároveň byla popsána příprava jednotlivých vzorků a materiálů, které byly pro účely této práce použity. Zkoušky byly provedeny v laboratoři Technické univerzity Liberec na Katedře strojírenské technologie. Data byla zpracována v programu Labtest 4.9, následně byl posouzený vliv změny lisovací síly na únosnost nýtového spoje.

Z naměřených hodnot vyplývá, že je rozhodující nejen druh materiálů, ale zároveň i působ zatížení nýtového spoje.

Při zatížení spoje smykem má změna parametrů vliv na únosnost spoje pro kombinaci ocel-hliník DC05-TL91. Pro kombinaci ocel-ocel HX260-DC05 vliv na únosnost spoje nemá.

U namáhání spoje tahem má změna parametrů vliv na únosnost spoje pro kombinaci ocel-ocel HX260-DC05. Pro kombinaci ocel-hliník DC05-TL91 nemá vliv na únosnost spoje.

U obou kombinací byl materiál ocel DC05 použit jako materiál s menší tloušťkou. Nýt jím prošel skrz a byl rozevřen a zalisován do druhého materiálu. Tedy do materiálu HX260, nebo TL91.

Z optického hodnocení vyplývá, že při lisování nýtů je třeba vždy použít dostatečnou sílu k úplnému zalisování nýtů do spojovaných materiálů.

- Pro ocel-ocel je tato síla 48 kN
- Pro ocel-hliník je tato síla 42 kN

Pokud budeme tuto sílu zvyšovat nad uvedené hodnoty, nepřinese už žádné výrazné zlepšení nýtového spoje.

6 Zdroje:

[1]

SPOJOVÁNÍ DÍLCŮ TECHNOLOGIÍ TVÁŘENÍ - PDF Free Download. adoc.pub [online] [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://adoc.pub/spojovani-dilc-technologie-tvaeni.html>

[2]

Základní druhy šroubových spojů a jejich zobrazení na výkrese | MůjSolidworks.cz [online] [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.mujsolidworks.cz/zakladni-druhy-sroubovych-spoju-a-jejich-zobrazeni-na-vykrese-2/>

[3]

Teorie. iars 1/9 Čepové a kolíkové spoje - PDF Free Download [online] [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6115198-Teorie-iars-1-9-cepove-a-kolikove-spoje.html>

[4]

Spoje a spojovací součásti [online] [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/208/02.html#1-2-4>

[5]

BC. TRHOŇ, Vojtěch. *VLIV POVRCHU NA PEVNOST LEPENÉHO SPOJE* [online]. Brno, 2011 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/16918/final-thesis.pdf>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. ING. Jaroslav KUBÍČEK

[6]

Lepení technických plastů | PLASTUM Trading s.r.o. [online] [vid. 2022-06-27]. Dostupné z: <https://plastum.cz/lepeni/>

[7]

VÁCHAL, Václav, 2019. Technologie pájení heterogenních pájených spojů. [online]. [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://dspace5.zcu.cz/handle/11025/37832>

[8]

Tvrdá pájka Silfos 15 (Ag 15%), 6 ks/113g - Tvrde pájky a pasty - Pájení a hořáky - Nipo Tools s.r.o. [online] [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.nipo.cz/tvrda-pajka-silfos-15-ag-15-6-ks-113g-P7349/>

[9]

KUČERA, Lukáš, 2010. Smáčení a roztékání roztavené pájky po kovovém povrchu. [online]. [vid. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6210/final-thesis.pdf?sequence=6>

[10]

SHOP5.CZ, prosvareni.cz prosvareni@seznam.cz na systemu, [b.r.]. Cínové pájky v tyčkách. prosvareni.cz [online] [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://prosvareni.cz/kategorie/cinove-pajky-v-tyckach/>

[11]

SLAVATA, Jakub, 2019. Elektricky vodivé spoje. [online]. [vid 2021-12-13]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/82830/F3-BP-2019-Slavata-Jakub-Elektricky%20vodive%20spoje.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

[12]

NEUMANN, Heinz. *Teorie svařování a pájení*. Část 1, Tavné svařování. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-171-9.

[13]

Navařování laserem, laserové navařování (LaserTherm spol. s r.o.) [online] [vid. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/p/navarovani-laserem-laserove-navarovani/14804a0e-afaf-45e9-a5bf-2f24154a03ca/>

[14]

TIG svařování I - základní principy. [online] [vid. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>

[15]

A.S, IMP Net & ESL, [b.r.]. Teorie přenosu tepla - deskové výměníky | ESL a.s. [online] [vid. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://www.esl.cz/blog/teorie-prenosu-tepla>

[16]

CWS ANB: Typy vad , příčiny jejich vzniku a hodnocení [online] [vid. 2022-01-06].
Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>

[17]

Pórovitost svarů oceli svařovaných metodou MIG/MAG | MM Průmyslové spektrum. www.mmspektrum.com [online] [vid. 2022-01-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/porovitost-svaru-oceli-svarovanych-metodou-mig-mag>

[18]

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic, sv. 3. ISBN 978-80-214-2629-0.

[19]

WANG, Hongyang, YANG, Fan, ZHANG, Zhaodong a LIU, Liming, 2020. Bonding mechanism of Al/steel interface formed by laser-TIG welding assisted riveting technology. *Materials Today Communications* [online]. 1 prosinec 2020. Vol. 25, p. 101487. [Viděno 13 leden 2022]. DOI 10.1016/j.mtcomm.2020.101487. Získáno z: <https://www.sciencedirect.com/...983>

[20]

Elsevier Enhanced Reader, nedatováno. [online]. [Viděno 13 leden 2022]. Získáno z: <https://reader.elsevier.com/...711>

[21]

Elsevier Enhanced Reader, nedatováno. [online]. [Viděno 13 leden 2022 a]. Získáno z: <https://reader.elsevier.com/...711>

[22]

Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT Spoje a spojovací součásti. Ing. Magdalena Svobodová Číslo: VY_32_INOVACE_ Anotace: - PDF Free Download [online] [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: https://docplayer.cz/15221234-Inovace-a-zkvalitneni-vyuky-prostrednictvim-ict-spoje-a-spojovaci-soucasti-ing-magdalena-svobodova-cislo-vy_32_inovace_-13-18-anotace.html

[23]

ANTSTUDIO.CZ, vytvořili v, [b.r.]. Těsnící trhací nýty Nerez A2. Šrouby online | velkoobchod - spojovací materiál, kotvení a upevňovací technika [online] [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.sroubyonline.cz/nerez-a2-97xxxx-nnt>

[24]

ANTSTUDIO.CZ, vytvořili v, [b.r.]. Rozklepávací nýty DIN 660 Ocel Bez povrchové úpravy. Šrouby online | velkoobchod - spojovací materiál, kotvení a upevňovací technika [online] [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.sroubyonline.cz/spojovaci-material/nyty/ostatni-nyty/din-660-ocel-bez-povrchove-upravy>

[25]

Polodutý nýt [online] [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/spojovani-s-prvky/poloduty-nyt/>

[26]

VOLEK, Aleš. *METODIKA USTAVENÍ SOUŘADNÉHO SYTÉMU PRO OPTICKÉ MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ PONTOS* [online]. Brno, 2008 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/getFile/240/Ales_Volek_DP.pdf.

Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. ING. Daniel KOUTNÝ

[27]

BÖSEMANN, Werner, 2005. Advances in photogrammetric measurement solutions. *Computers in Industry* [online]. 1 prosinec 2005. Vol. 56, no. 8, p. 886–893. [Viděno 22 únor 2022]. DOI 10.1016/j.compind.2005.05.014. Získáno z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361505001260>

[28]

Museum Theulegium: Albrecht Meydenbauer [online] [vid. 2022-04-04]. Dostupné z: <http://www.theulegium.de/index.php?id=meydenbauer>

[29]

Letecká fotogrammetrie. JamCopters [online] [vid. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://jamcopters.cz/industry/letecka-fotogrammetrie>

[30]

Hexagon: Fotogrammetrická měření do dílenských prostředí – Zakazka.cz [online] [vid. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.zakazka.cz/hexagon-fotogrammetricka-mereni-do-dilenskych-prostredi/>

[31]

JANDA, Luděk. *TAHOVÁ ZKOUŠKA TRUBEK* [online]. Brno, 2015 [cit.2022-04-25]. Dostupné z:https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104795. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. Ing. Eva PETERKOVÁ, Ph.D.

[32]

ČSN EN 10152: Ocelové ploché výrobky válcované za studena elektrolyticky pozinkované- Technické dodací podmínky, 1997

[33]

DIN EN 10346: Continuously hot-dip coated flat products- Technical delivery conditions, 2009

[34]

TL091: Bleche, Bänder aus AlMgSi-Legierung Werkstoffanforderungen, 2004

[35]

ŠTÍPKOVÁ, Michaela. *Vliv doby stárnutí na mechanické vlastnosti slitiny EN AW-2024* [online]. 2019-04-08T14:20:50Z [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/152037>. Bakalářská práce.

7 Seznam příloh

Příloha I: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05, směr odebrání vzorku 0°

Příloha II: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05, směr odebrání vzorku 45°

Příloha III: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05, směr odebrání vzorku 90°

Příloha IV: Protokol statická zkouška tahem, mat. HX260, směr odebrání vzorku 0°

Příloha V: Protokol statická zkouška tahem, mat. HX260, směr odebrání vzorku 45°

Příloha VI: Protokol statická zkouška tahem, mat. HX260, směr odebrání vzorku 90°

Příloha VII: Protokol statická zkouška tahem, mat. TL91, směr odebrání vzorku 0°

Příloha VIII: Protokol statická zkouška tahem, mat. TL91, směr odebrání vzorku 45°

Příloha IX: Protokol statická zkouška tahem, mat. TL91, směr odebrání vzorku 90°

Příloha X: Protokol statická zkouška smykem, mat. DC05-TL91

Příloha XI: Protokol statická zkouška smykem, mat. DC05-TL91

Příloha XII: Protokol statická zkouška smykem, mat. DC05-TL91

Příloha XIII: Protokol statická zkouška smykem, mat. DC05-HX260

Příloha XIV: Protokol statická zkouška smykem, mat. DC05-HX260

Příloha XV: Protokol statická zkouška smykem, mat. DC05-HX260

Příloha XVI: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05-TL91

Příloha XVII: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05-TL91

Příloha XVIII: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05-TL91

Příloha XIX: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05-HX260

Příloha XX: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05-HX260

Příloha XXI: Protokol statická zkouška tahem, mat. DC05-HX260

Příloha I.

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

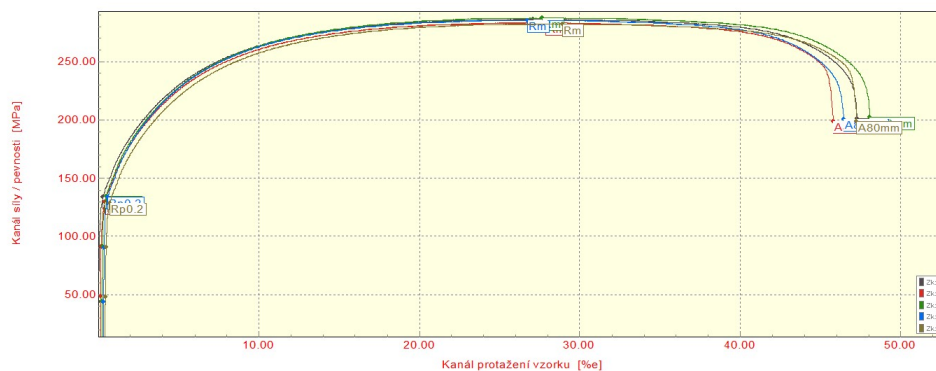
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 + ZE75/75 BPO
 Rozměry vzorku : [0.7 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 0°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 134.28 | 286.34 | 26.92 | 47.15 | 2.047 |
| 2 | 129.96 | 283.26 | 27.54 | 45.51 | 2.056 |
| 3 | 134.83 | 287.57 | 27.26 | 47.75 | 2.033 |
| 4 | 133.98 | 285.53 | 26.26 | 46.00 | 2.051 |
| 5 | 129.07 | 282.45 | 28.25 | 46.68 | 2.062 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 132.42 | 285.03 | 27.25 | 46.62 | 2.050 |
| Směrodatná odchylka | 2.69 | 2.13 | 0.74 | 0.89 | 0.011 |
| Minimální hodnota | 129.07 | 282.45 | 26.26 | 45.51 | 2.033 |
| Maximální hodnota | 134.83 | 287.57 | 28.25 | 47.75 | 2.062 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

Příloha II

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

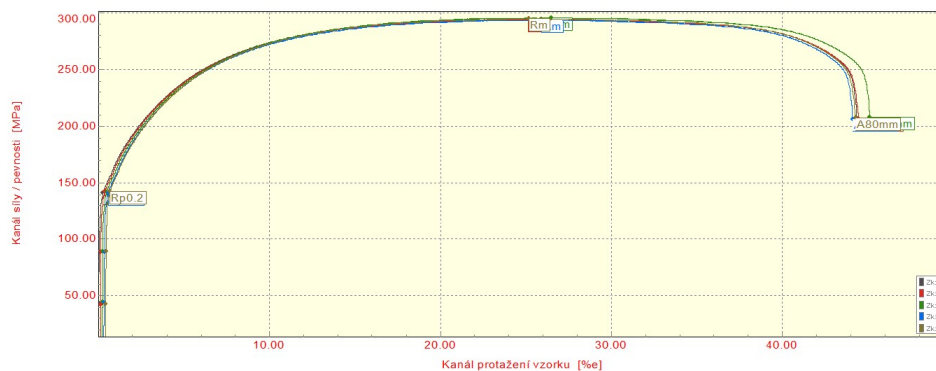
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 + ZE75/75 BPO
 Rozměry vzorku : [0.7 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 45°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 141.58 | 294.40 | 25.77 | 44.25 | 1.783 |
| 2 | 142.47 | 294.25 | 24.87 | 44.24 | 1.759 |
| 3 | 142.10 | 295.66 | 26.10 | 44.81 | 1.762 |
| 4 | 141.38 | 293.56 | 25.46 | 43.71 | 1.752 |
| 5 | 142.65 | 294.67 | 24.61 | 43.78 | 1.766 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 142.04 | 294.51 | 25.36 | 44.16 | 1.764 |
| Směrodatná odchylka | 0.55 | 0.76 | 0.62 | 0.45 | 0.012 |
| Minimální hodnota | 141.38 | 293.56 | 24.61 | 43.71 | 1.752 |
| Maximální hodnota | 142.65 | 295.66 | 26.10 | 44.81 | 1.783 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

Příloha III

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

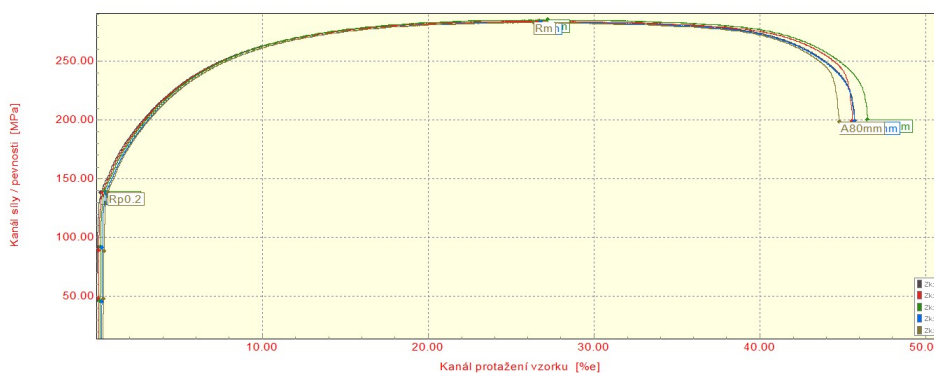
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 + ZE75/75 BPO
 Rozměry vzorku : [0.7 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 90°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 138.80 | 283.66 | 26.50 | 45.61 | 2.537 |
| 2 | 138.81 | 283.78 | 26.45 | 45.36 | 2.512 |
| 3 | 139.29 | 284.87 | 26.83 | 46.18 | 2.541 |
| 4 | 138.45 | 282.85 | 26.31 | 45.28 | 2.549 |
| 5 | 138.32 | 282.58 | 25.80 | 44.25 | 2.528 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 138.73 | 283.55 | 26.38 | 45.33 | 2.533 |
| Směrodatná odchylka | 0.38 | 0.90 | 0.37 | 0.70 | 0.014 |
| Minimální hodnota | 138.32 | 282.58 | 25.80 | 44.25 | 2.512 |
| Maximální hodnota | 139.29 | 284.87 | 26.83 | 46.18 | 2.549 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

Příloha IV

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

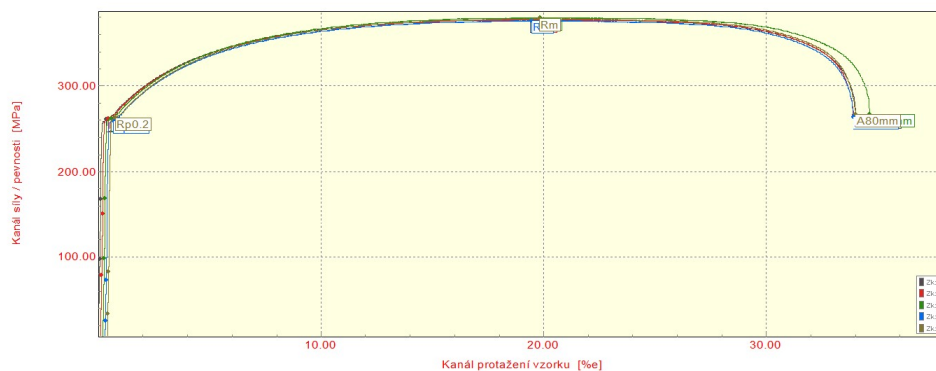
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260BD + Z100 MB
 Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 0°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 260.65 | 377.15 | 19.20 | 33.88 | 1.468 |
| 2 | 262.24 | 377.17 | 19.31 | 33.69 | 1.456 |
| 3 | 262.29 | 379.49 | 19.44 | 34.31 | 1.472 |
| 4 | 259.79 | 375.69 | 18.96 | 33.46 | 1.462 |
| 5 | 262.95 | 378.05 | 19.19 | 33.47 | 1.471 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 261.58 | 377.51 | 19.22 | 33.76 | 1.466 |
| Směrodatná odchylka | 1.31 | 1.39 | 0.18 | 0.35 | 0.007 |
| Minimální hodnota | 259.79 | 375.69 | 18.96 | 33.46 | 1.456 |
| Maximální hodnota | 262.95 | 379.49 | 19.44 | 34.31 | 1.472 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

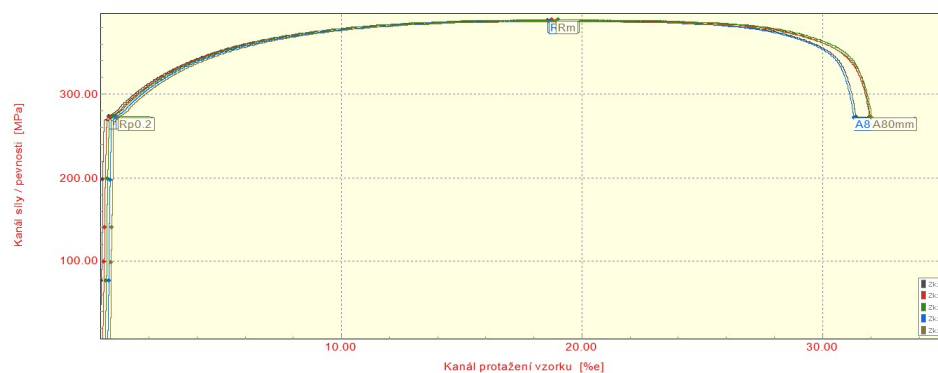
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260BD + Z100 MB
 Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 45°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 273.61 | 388.40 | 18.37 | 31.25 | 1.347 |
| 2 | 273.49 | 389.20 | 18.46 | 31.71 | 1.336 |
| 3 | 274.10 | 389.30 | 18.60 | 31.64 | 1.352 |
| 4 | 273.06 | 387.50 | 18.14 | 30.86 | 1.331 |
| 5 | 272.24 | 387.40 | 18.34 | 31.51 | 1.355 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 273.30 | 388.36 | 18.38 | 31.39 | 1.344 |
| Směrodatná odchylka | 0.70 | 0.90 | 0.17 | 0.34 | 0.010 |
| Minimální hodnota | 272.24 | 387.40 | 18.14 | 30.86 | 1.331 |
| Maximální hodnota | 274.10 | 389.30 | 18.60 | 31.71 | 1.355 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

Příloha VI

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

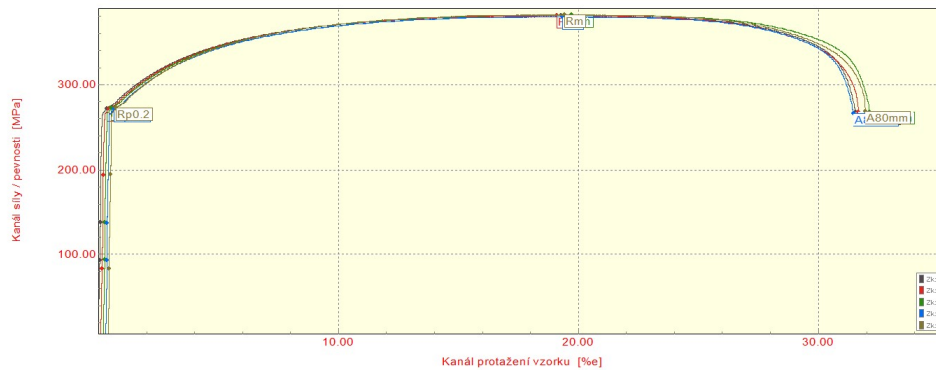
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260BD + Z100 MB
 Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 90°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 272.13 | 381.03 | 19.07 | 31.41 | 1.825 |
| 2 | 271.94 | 381.00 | 18.81 | 31.43 | 1.816 |
| 3 | 272.64 | 381.91 | 19.32 | 31.81 | 1.832 |
| 4 | 271.33 | 379.85 | 18.84 | 31.02 | 1.840 |
| 5 | 272.78 | 382.19 | 18.81 | 31.43 | 1.822 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 272.16 | 381.20 | 18.97 | 31.42 | 1.827 |
| Směrodatná odchylka | 0.58 | 0.92 | 0.22 | 0.28 | 0.009 |
| Minimální hodnota | 271.33 | 379.85 | 18.81 | 31.02 | 1.816 |
| Maximální hodnota | 272.78 | 382.19 | 19.32 | 31.81 | 1.840 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

Příloha VII

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

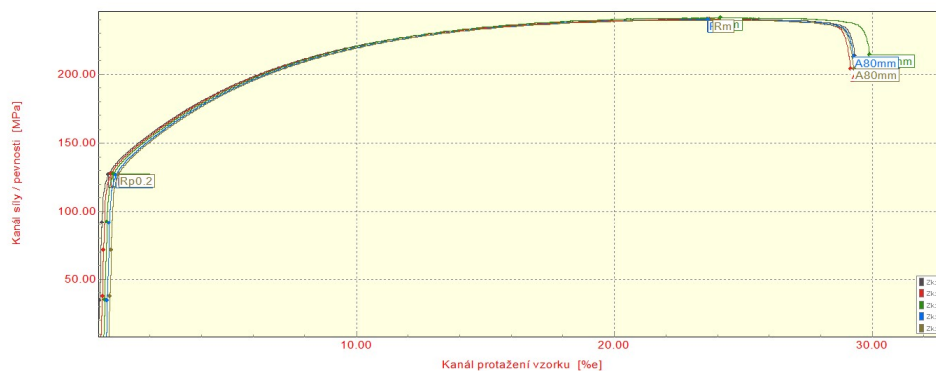
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : TL91
 Rozměry vzorku : [2 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 0°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 126.79 | 240.40 | 23.25 | 29.01 | 0.692 |
| 2 | 127.22 | 240.12 | 23.20 | 28.75 | 0.688 |
| 3 | 127.17 | 241.40 | 23.54 | 29.38 | 0.698 |
| 4 | 126.56 | 239.81 | 22.96 | 28.65 | 0.682 |
| 5 | 127.07 | 239.73 | 23.06 | 28.57 | 0.684 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 126.96 | 240.29 | 23.20 | 28.87 | 0.689 |
| Směrodatná odchylka | 0.28 | 0.68 | 0.22 | 0.33 | 0.006 |
| Minimální hodnota | 126.56 | 239.73 | 22.96 | 28.57 | 0.682 |
| Maximální hodnota | 127.22 | 241.40 | 23.54 | 29.38 | 0.698 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

Příloha VIII

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

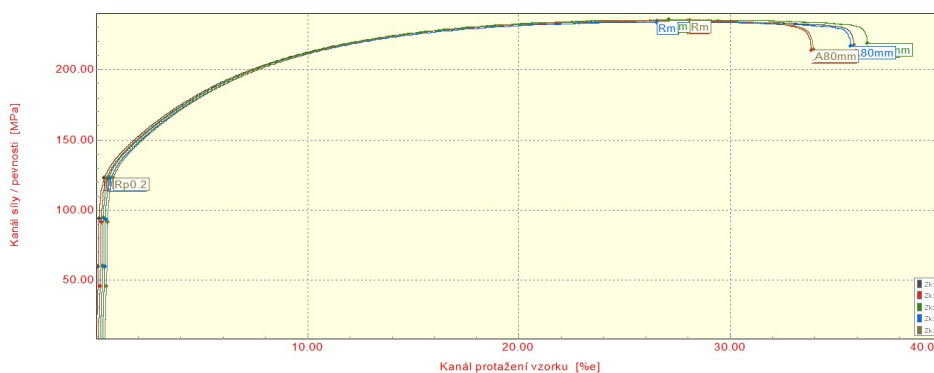
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : TL91
 Rozměry vzorku : [2 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 45°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 122.66 | 234.48 | 26.21 | 35.55 | 0.601 |
| 2 | 122.32 | 234.46 | 27.50 | 33.43 | 0.594 |
| 3 | 123.01 | 235.45 | 26.55 | 36.00 | 0.613 |
| 4 | 122.36 | 233.70 | 25.89 | 35.11 | 0.596 |
| 5 | 122.58 | 234.85 | 27.33 | 33.22 | 0.611 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 122.59 | 234.59 | 26.70 | 34.66 | 0.603 |
| Směrodatná odchylka | 0.28 | 0.64 | 0.70 | 1.26 | 0.009 |
| Minimální hodnota | 122.32 | 233.70 | 25.89 | 33.22 | 0.594 |
| Maximální hodnota | 123.01 | 235.45 | 27.50 | 36.00 | 0.613 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

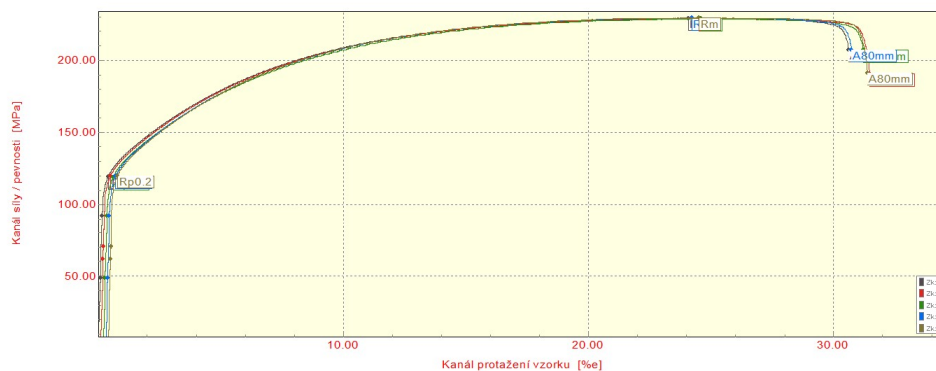
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : TL91
 Rozměry vzorku : [2 x 20] mm
 Směr odebrání vzorku : 90°
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.
 Vypracoval : Ondřej Vele
 Datum provedení testu : 14.1.2022
 Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| 1 | 119.48 | 229.15 | 23.68 | 30.28 | 0.632 |
| 2 | 119.71 | 228.81 | 24.06 | 31.09 | 0.629 |
| 3 | 119.14 | 228.77 | 23.98 | 30.66 | 0.636 |
| 4 | 119.72 | 229.53 | 23.54 | 30.09 | 0.624 |
| 5 | 120.22 | 229.57 | 23.77 | 30.71 | 0.640 |

| Statistika | Rp0.2 MPa | Rm MPa | Ag % | A80mm % | R |
|---------------------|--------------|-----------|---------|------------|-------|
| Počet zkoušek | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Průměrná hodnota | 119.65 | 229.16 | 23.81 | 30.56 | 0.632 |
| Směrodatná odchylka | 0.40 | 0.38 | 0.22 | 0.39 | 0.006 |
| Minimální hodnota | 119.14 | 228.77 | 23.54 | 30.09 | 0.624 |
| Maximální hodnota | 120.22 | 229.57 | 24.06 | 31.09 | 0.640 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA SMYKEM NÝTŮ

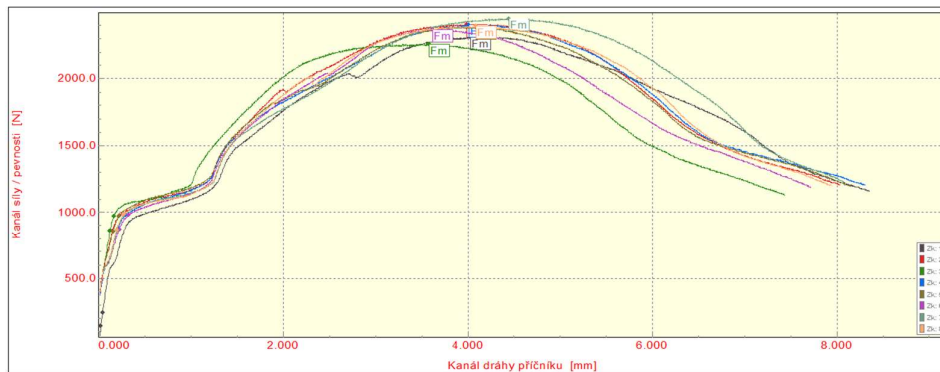
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05_TL91
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 36 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2312 |
| 2 | 2407 |
| 3 | 2258 |
| 4 | 2404 |
| 5 | 2387 |
| 6 | 2369 |
| 7 | 2450 |
| 8 | 2393 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2373 |
| Směrodatná odchylka | 60 |
| Minimální hodnota | 2258 |
| Maximální hodnota | 2450 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA SMYKEM NÝTŮ

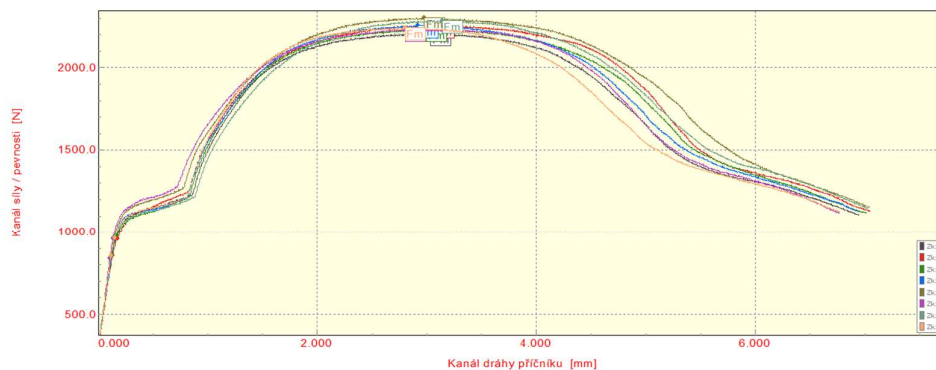
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05_TL91
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 42kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2210 |
| 2 | 2256 |
| 3 | 2235 |
| 4 | 2255 |
| 5 | 2303 |
| 6 | 2233 |
| 7 | 2287 |
| 8 | 2244 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2253 |
| Směrodatná odchylka | 30 |
| Minimální hodnota | 2210 |
| Maximální hodnota | 2303 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

Příloha XII.

STATICKÁ ZKOUŠKA SMYKEM NÝTŮ

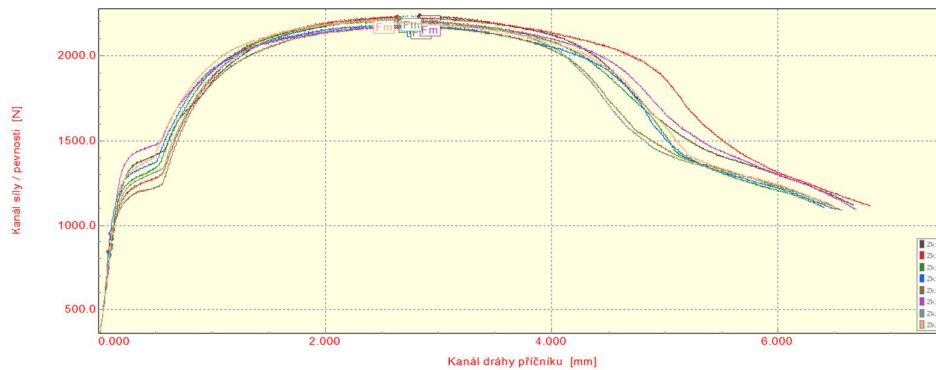
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05_TL91
Rozměry vzorku :
Směr odebrání vzorku :
Teplota : RT
Rychlost posuvu : 10 mm/min.
Vypracoval : Vele Ondřej
Datum provedení testu : 1.3.2022
Pozn. : lisovací síla 48 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2236 |
| 2 | 2230 |
| 3 | 2210 |
| 4 | 2186 |
| 5 | 2173 |
| 6 | 2188 |
| 7 | 2220 |
| 8 | 2206 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2206 |
| Směrodatná odchylka | 22 |
| Minimální hodnota | 2173 |
| Maximální hodnota | 2236 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA SMYKEM NÝTŮ

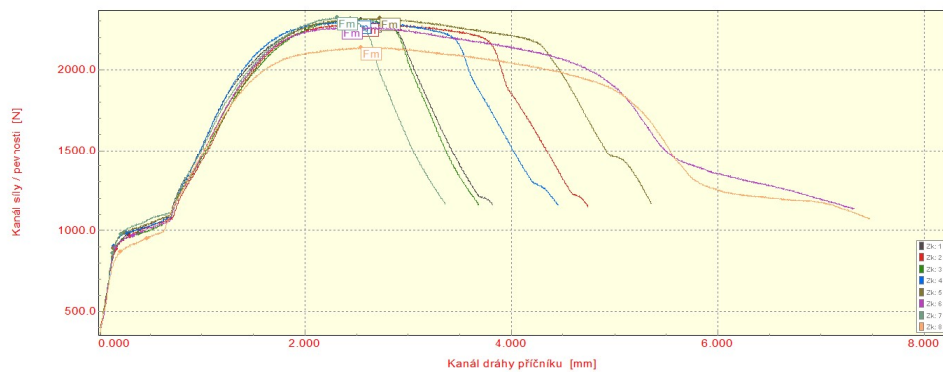
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260_DC05
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 48 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2310 |
| 2 | 2285 |
| 3 | 2315 |
| 4 | 2301 |
| 5 | 2319 |
| 6 | 2266 |
| 7 | 2324 |
| 8 | 2140 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2282 |
| Směrodatná odchylka | 61 |
| Minimální hodnota | 2140 |
| Maximální hodnota | 2324 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA SMYKEM NÝTŮ

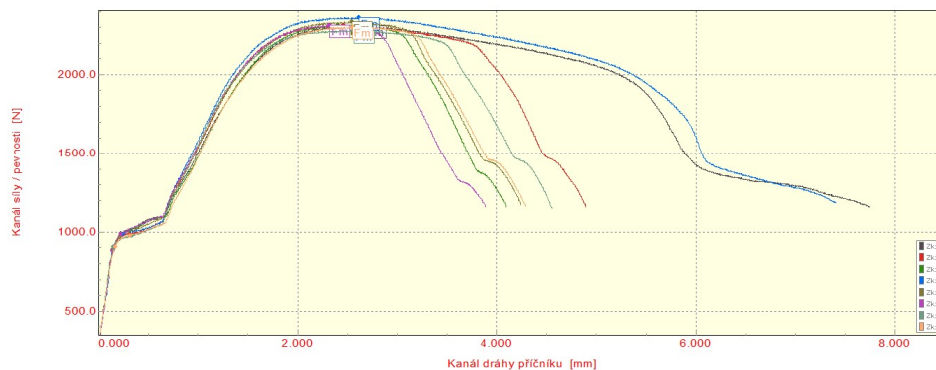
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260_DC05
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 54 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2310 |
| 2 | 2312 |
| 3 | 2315 |
| 4 | 2364 |
| 5 | 2337 |
| 6 | 2313 |
| 7 | 2282 |
| 8 | 2305 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2317 |
| Směrodatná odchylka | 24 |
| Minimální hodnota | 2282 |
| Maximální hodnota | 2364 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA SMYKEM NÝTŮ

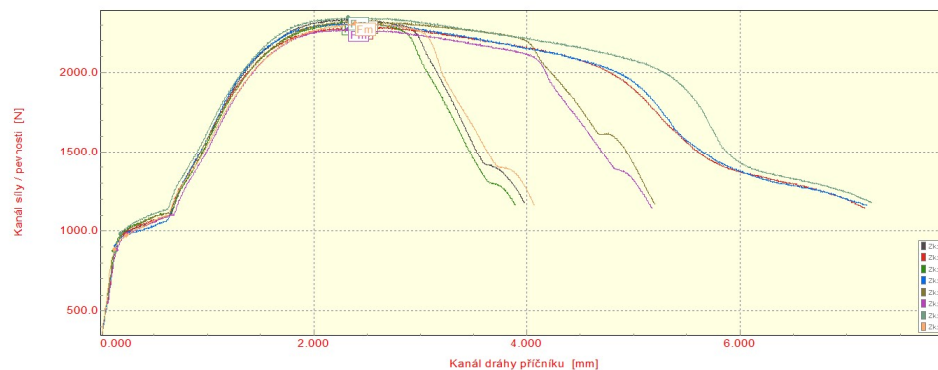
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260_DC05
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 60 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2336 |
| 2 | 2287 |
| 3 | 2312 |
| 4 | 2310 |
| 5 | 2322 |
| 6 | 2272 |
| 7 | 2346 |
| 8 | 2308 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2312 |
| Směrodatná odchylka | 24 |
| Minimální hodnota | 2272 |
| Maximální hodnota | 2346 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM NÝTŮ

VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05_TL91
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 36kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 1925 |
| 2 | 1777 |
| 3 | 1965 |
| 4 | 2077 |
| 5 | 1919 |
| 6 | 1943 |
| 7 | 1978 |
| 8 | 1849 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 1929 |
| Směrodatná odchylka | 89 |
| Minimální hodnota | 1777 |
| Maximální hodnota | 2077 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM NÝTŮ

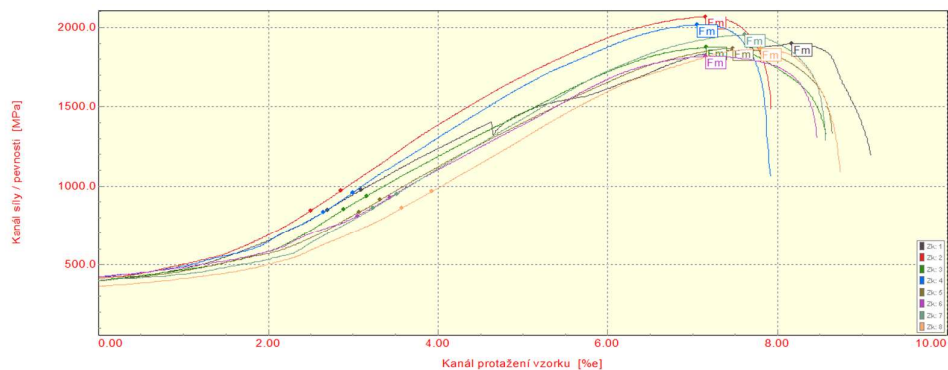
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05_TL91
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 42 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 1900 |
| 2 | 2067 |
| 3 | 1874 |
| 4 | 2017 |
| 5 | 1870 |
| 6 | 1818 |
| 7 | 1954 |
| 8 | 1864 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 1920 |
| Směrodatná odchylka | 85 |
| Minimální hodnota | 1818 |
| Maximální hodnota | 2067 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM NÝTŮ

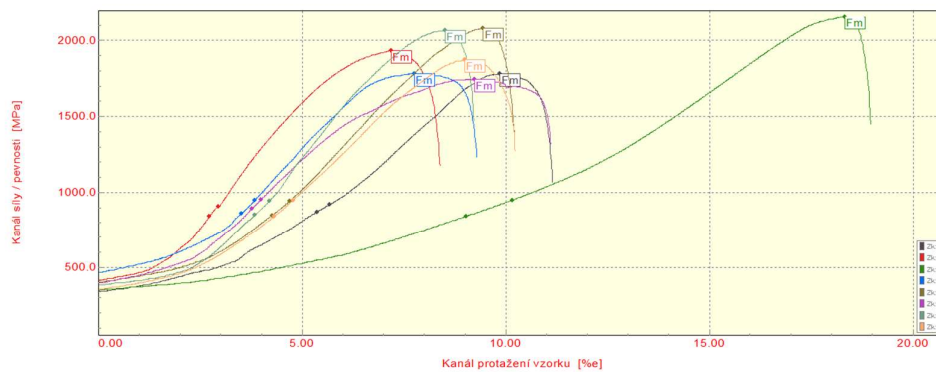
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05_TL91
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 48 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 1780 |
| 2 | 1934 |
| 3 | 2157 |
| 4 | 1781 |
| 5 | 2082 |
| 6 | 1745 |
| 7 | 2066 |
| 8 | 1873 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 1927 |
| Směrodatná odchylka | 158 |
| Minimální hodnota | 1745 |
| Maximální hodnota | 2157 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM NÝTŮ

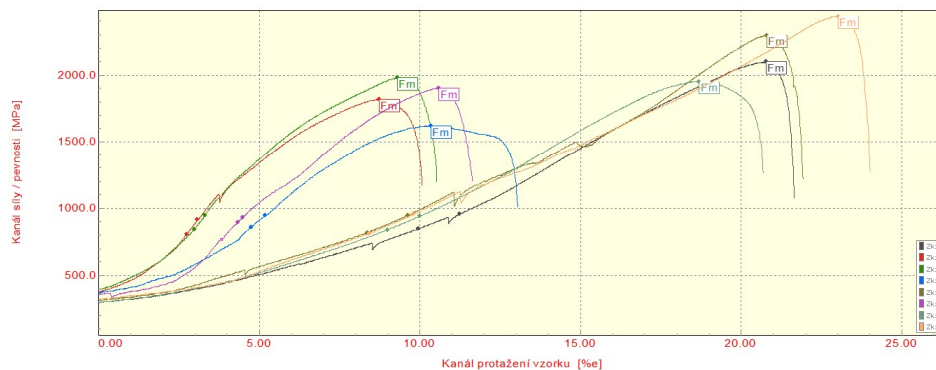
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260_DC05
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 48 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | F _m N |
|---------|---------------------|
| 1 | 2098 |
| 2 | 1818 |
| 3 | 1979 |
| 4 | 1619 |
| 5 | 2294 |
| 6 | 1902 |
| 7 | 1952 |
| 8 | 2437 |

| Statistika | F _m N |
|---------------------|---------------------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2012 |
| Směrodatná odchylka | 261 |
| Minimální hodnota | 1619 |
| Maximální hodnota | 2437 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM NÝTŮ

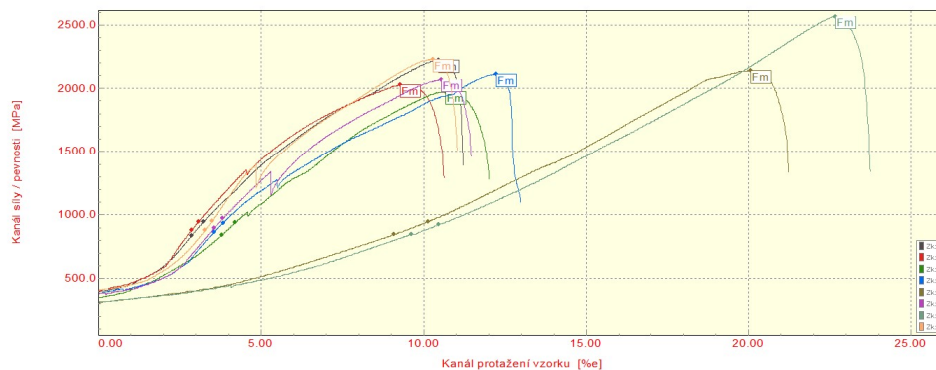
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260_DC05
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 54 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2223 |
| 2 | 2029 |
| 3 | 1975 |
| 4 | 2113 |
| 5 | 2141 |
| 6 | 2072 |
| 7 | 2567 |
| 8 | 2230 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2169 |
| Směrodatná odchylka | 184 |
| Minimální hodnota | 1975 |
| Maximální hodnota | 2567 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM NÝTŮ

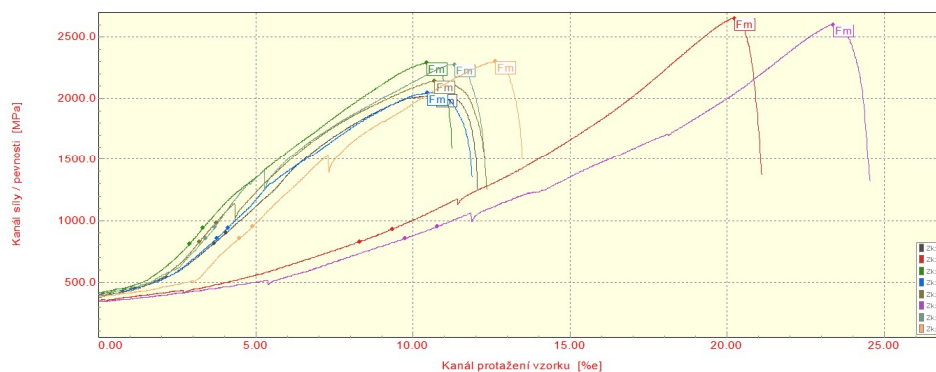
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260_DC05
 Rozměry vzorku :
 Směr odebrání vzorku :
 Teplota : RT
 Rychlost posuvu : 10 mm/min.
 Vypracoval : Vele Ondřej
 Datum provedení testu : 1.3.2022
 Pozn. : lisovací síla 60 kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

| Zkouška | Fm N |
|---------|---------|
| 1 | 2030 |
| 2 | 2651 |
| 3 | 2288 |
| 4 | 2043 |
| 5 | 2142 |
| 6 | 2599 |
| 7 | 2276 |
| 8 | 2300 |

| Statistika | Fm N |
|---------------------|---------|
| Počet zkoušek | 8 |
| Průměrná hodnota | 2291 |
| Směrodatná odchylka | 232 |
| Minimální hodnota | 2030 |
| Maximální hodnota | 2651 |



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ