

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Parametry svařování pro částečnou nebo úplnou
eliminaci jejich nežádoucích vlivů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Inženýr: Martin Kiesewetter

© ČZU v Praze 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Kieseewetter

Zemědělské inženýrství
Zemědělská technika

Název práce

Parametry svařování pro částečnou nebo úplnou eliminaci jejich nežádoucích vlivů

Název anglicky

Welding parameters for partial or complete eliminating of their undesirable effects

Cíle práce

Cílem diplomové práce je nalezení optimálních svařovacích parametrů vedoucích k částečné až celkové eliminaci nežádoucích deformací vznikajících při sváření tenkostěnných nerezových konstrukcí, které jsou používány jako základní rámy pro simulace klimatických změn částí karoserií osobních automobilů. Podstatou práce je analýza a vyhodnocení stávajícího stavu. Výsledkem práce bude doporučený svařovací postup spolu s nastavením optimálních svařovacích parametrů pro minimalizaci nežádoucích deformací v tenkostěnném svařenci.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíl práce a metody jejího zpracování.

Řešení podstaty dané problematiky.

Přínos a závěry práce.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

Klíčová slova

Svařování, tenkostěnné konstrukce, environmentální prostředí, optimalizace

Doporučené zdroje informací

Časopis: Journal of Materials Processing Technology, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Zváranie – svařování, Welding and Metal Fabrication, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, The journal of adhesion, Journal of material science, The Journal of Physical Chemistry, International Journal of Fatigue, Journal of materials processing technology.

GHOSH, U. K. Design of welded steel structures: principles and practice. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016.

KOU, S. Welding metallurgy. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2003.

KOVAŘÍK, R., ČERNÝ, F. Technologie svařování. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008.

LIPPOLD, J. C. Welding metallurgy and weldability. Hoboken: Wiley, 2015.

MESSLER, R. W. Joining of materials and structures: from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2004.

Normy, sborníky z konferencí, firemní literatura

RAMPAUL, H. Pipe welding procedures. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2003.

SMITH, B. D. Welding practice. London: Routledge, Taylor & Francis Group, 2011.

TROUGHTON, M. J. Handbook of plastics joining: a practical guide. 2nd ed. Norwich: William Andrew, 2008.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2019

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 30. 05. 2020

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: Parametry svařování pro částečnou nebo úplnou eliminaci jejich nežádoucích vlivů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne:

.....

Martin Kiesewetter

Poděkování

Děkuji:

prof. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph.D. za odborné vedení práce, vstřícný přístup ke konzultacím obsahujícím věcné poznámky a umožnění provést laboratorní testy v nelehké době.

Ing. Viktoru Koláři za pomoc s laboratorními testy v nelehké době.

Firmě Keri a.s. za možnost zpracování diplomové práce.

Všem členům rodiny, kteří mě i v nelehkých chvílích mého studia dokázali motivovat k ještě většímu studijnímu nasazení.

Abstrakt: Cílem této diplomové práce je nalezení optimálních svařovacích parametrů ke sváření základních rámu přípravků pro klimatické zkoušky, vyrobených z tenkostěnných ocelových profilů. Přípravky pro klimatické zkoušky jsou jedním z hlavních typů vyráběných ve firmě Keri a.s. Výsledkem práce je série doporučení k technologii svařování v ochranné atmosféře, jež by měla pomoci eliminovat nepříznivé vlivy sváření. Byly provedeny zkoušky s cílem ověření vhodnosti používání karosářského tmelu a umělého dřeva v těchto konstrukcích. Na základě těchto zkoušek se prokázalo, že použití karosářského tmelu oproti umělému dřevu není zcela vhodné a byl navržen jiný typ lepidla. Doporučení byla volena s ohledem na proveditelnost v kooperaci a ekonomickou nákladnost nových investic, které by měly mít pozitivní vliv na snížení pracnosti, ekonomické nákladnosti a vést k větší vstřícnosti výrobního procesu firmy Keri a.s. vůči životnímu prostředí.

Klíčová slova: Svařování, tenkostěnné konstrukce, environmentální prostředí, optimalizace

Welding parameters for partial or complete eliminating of their undesirable effects

Summary: The aim of the diploma thesis is to find optimal welding parameters for the welding of basic frames of jigs which are used during climatic tests. These frames are made of thin-walled steel profiles. The jigs for climatic tests are one of the main types of jigs which are produced by Keri a.s. The result of this diploma thesis includes a series of recommendations for gas metal arc welding which should solve the adverse effects of welding. Tests have been carried to verify the suitability of the using a car body putty and artificial wood in these jigs. The results of these tests are that car body putty is not entirely suitable by the compare with artificial wood and another type of glue was proposed to use. The recommendations were chosen with regard to feasibility in cooperation and economic costs of new invests. There is expected positive effect on reducing laboriousness and economic costs. It should lead to a more environmentally friendly production process of Keri a.s.

Keywords: Welding, thin-walled constructions, environment, optimization

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Svařování	2
2.1	Teorie svařování	3
2.1.1	Svařovací technologie MIG/MAG	7
2.1.2	Tepelný proces obloukového svařování.....	11
2.1.3	Praskání chladnoucích svarů	12
2.1.4	Tvarové deformace.....	13
2.1.5	Toky materiálů při obloukovém svařování.....	13
2.1.6	Druhy přenosu přídavného materiálu	15
2.1.6.1	Sprcha.....	15
2.1.6.2	Pulzní sprcha	17
2.1.6.3	Zkratový přenos.....	18
2.1.6.4	Kapkový přenos	19
2.1.7	Ochranné plyny.....	19
2.2	Umělé dřevo Ebalta 140	22
2.3	Karosářský tmel Body soft 211	23
3	Cíl práce	24
4	Metodika.....	25
5	Výroba ve firmě Keri a.s.....	26
5.1	Výroba přípravků pro simulaci klimatických změn.....	27
5.1.1	Skladování, příprava polotovarů a expedice	28
5.1.2	Kooperace s externími firmami	28
5.1.2.1	Žihání a lakování.....	30
5.1.2.1.1	Žihání k odstranění pnutí.....	31
5.1.2.1.2	Vibrační žihání.....	32
5.1.3	Zkouška odolnosti vůči střídavému klimatu (+80/-40) °C	32
6	Ověření vhodnosti stávajícího řešení	34
6.1	Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav dle ČSN EN 1465	35

6.2	Zkouška tvrdosti podle Brinella – část 1: Zkušební metoda dle: ČSN EN ISO 6506-1 36	
6.3	Ověření pevnostní stálosti karosářského tmelu.....	37
6.3.1	Metodika měření	38
6.3.2	Měření neovlivněných vzorků karosářského tmelu	39
6.3.3	Měření vzorků karosářského tmelu ovlivněných klimatickou komorou	41
6.3.4	Vyhodnocení měření karosářského tmelu	43
6.4	Ověření stálosti Ebalty 140 pomocí zkoušky tvrdosti.....	47
6.4.1	Metodika měření	47
6.4.2	Měření neovlivněných vzorků umělého dřeva	48
6.4.3	Měření ovlivněných vzorků umělého dřeva	49
6.4.4	Vyhodnocení naměřených dat	49
6.5	Vyhodnocení vhodnosti současného řešení	51
7	Doporučení	53
7.1	Svařování	53
7.2	Vibrační žíhání	55
7.3	Karosářský tmel	56
7.4	Lepení	57
7.5	FMEA procesu.....	58
8	Závěr	59
9	Seznam zdrojů:	63
10	Seznam obrázků.....	65
11	Seznam tabulek	67
12	Seznam příloh	68

1 Úvod

Společnost Keri a.s. byla založena panem Pavlem Hlinovským v roce 1994 jako subdodavatelská firma pro německý automobilový trh. Jednalo se o zajištění kooperací v ČR a následnou expedici do Německa. V roce 1999 začala firma vyrábět první přípravky pro automobilový průmysl a spustila všeobecnou kovovýrobou. Vlastní konstrukci přípravků zahájila firma v roce 2000, kdy si později v roce 2003 pronajímá první vlastní výrobní prostory na koňském trhu v Turnově. V téže roce byl firmou vyroben první měřicí přípravek, který obsahoval laserové měřicí systémy. O rok později již firma dodávala historicky první cubingový přípravek do Magny v Liberci. Cubingovým přípravkem se rozumí zhotovení kovového přípravku, kdy jeho jednotlivé části simulují skutečné navazující okolí měřeného dílu. Zdatnost v tvorbě cubingových přípravků potvrdila firma o rok později, kdy jej dodávala do zahraniční firmy Venture corporation v Šanghai. V těchto přípravcích se dále zdokonalovala a roku 2009 zhotovila první kompletní cubingový přípravek. Tento přípravek simuloval kompletní přední části vozu Seat Alhambra pro Wolkswagen group v Portugalsku. Ve stejném roce vzniklo ve firmě obchodní oddělení. O rok později vzniklo i CAD a CAM oddělení. V následujících dvou letech se firma dále rozrůstala na poli CAD oddělení a pořídila další dvě nová CNC obráběcí centra pro navýšení výrobních kapacit. V roce 2013 začala dodávat pro ruský trh a koupila celý areál na Koňském trhu, jímž si zajistila vlastní výrobní prostory. O dva roky později vstoupil do firmy investiční partner Onyx Capital a firma se stává akciovou společností. Došlo k jejímu přejmenování na současný název Keri a.s. O dva roky později byly rekonstruovány kancelářské prostory a rozšířilo se CAD oddělení, následně i CAM oddělení a bylo zřízeno pracoviště pro 3D měření dílů.

V současnosti se vedení firmy soustředí na 4 hlavní skupiny přípravků. Jsou jimi: cubingové přípravky, kontrolní stanice, rámy pro klimatické zkoušky a přípravky pro měření, upínání a kontrolu jednotlivých dílů.

2 Svařování

Svařování a spojování jsou jedněmi z nejdůležitějších technologií používaných při výrobě. Všeobecně s sebou tyto procesy přinášejí větší náklady a spoustu dalších výrobních problémů, než by se na první pohled mohlo zdát. Konkrétně svařování je velmi variabilní technologií, ovšem možné chyby, vady a problémy vzniklé při aplikaci této technologie se promítnou i daleko do výrobního procesu. Jejich případné neodstranění může skončit i vyřazením svařence jako odpadu, kde i relativní hodnota vyřazeného dílu může představovat vysoké náklady. Nejčastěji se vady na konstrukcích nacházejí v místech s největším namáháním. Tato místa pak můžeme označit za nejslabší místa svařence. Pečlivá volba umístění a pořadí při tvorbě svarů nám může zvýšit spolehlivost konstrukce a snížit finanční náročnost výrobního procesu. [1]

Dokonalým spojem je ten, který je od spojovaného materiálu nerozeznatelný. Lze si to představit jako spoj, u kterého nejde rozeznat, kde jeden materiál končí a druhý začíná, natož aby bylo možné identifikovat, kde byl případně použit přídavný materiál. Použitím spojovacích procesů jakými jsou lepení a difúze lze dosáhnout výsledků velmi podobných ideálnímu spoji. Ovšem jejich použití bývá zpravidla velmi drahé nebo bývají aplikovatelné jen na několik materiálů. Žádná univerzální technologie ke spojování materiálů, která by se shodovala s teorií ideálního spoje, neexistuje. Lze však spojit jakýkoliv materiál za použití vhodné technologie, když se přijme fakt, že vytvořený spoj bude mít jinou strukturu než spojovaný materiál. [1]

Právě nově vznikající mikrostruktura během tvorby svarových spojů s sebou nese základní problémy týkající se akumulace napětí ve svarech, jejich praskání a vznik tvarových deformací svařence. Po vychladnutí svaru na pevné skupenství započne mnoho metalurgických procesů, jako například fázová transformace, rekrytalizace, růst zrn a tak dále. Právě tyto metalurgické procesy mohou výrazně změnit mikrostrukturu a vlastnosti svarového kovu od kovu základního. Kombinace těchto metalurgických procesů mohou vést ke zkřehnutí svarů nebo jejich prasknutí. Právě zkřehnutí a následné praskání svarů může nastat vlivem ztráty tažnosti. Výsledná mikrostruktura svarového kovu, pro daný typ základního materiálu, pak vzniká na základě cyklů tepelného ovlivnění během procesu tvorby svaru. [2]

Volbu spojovací technologie ovlivňují vlastnosti použitého konstrukčního materiálu, spolu s náklady na tvorbu daného typu spoje. Zvolený materiál pak může snížit vstupní náklady a mít výborné mechanické vlastnosti, ovšem ekonomická náročnost spojování jednotlivých částí může být velmi vysoká, a tím pro efektivní využití nevhodná. Je tedy nezbytné, aby si konstruktér při navrhování konstrukcí pečlivě rozmyslel volbu materiálů a případné technologie jejich spojování. V případně precizní volby materiálů, technologií a přesné výroby lze proces spojování velmi zjednodušit, zlevnit, zkvalitnit a výsledný produkt může být spolehlivější. V opačném případě se stává proces ekonomicky nákladnější, dochází k plýtvání materiálem, které má nepříznivý vliv na životní prostředí a udržitelný rozvoj. Díky tomu produkt ztrácí na kvalitě, cenové dostupnosti a spolehlivosti. [1]

2.1 Teorie svařování

Základním rysem všech svařovacích technologií je intenzita zdroje tepla potřebná k roztavení spojovaných materiálů. V případě použití nedostatečně intenzivního zdroje tepla by spojované materiály mohly veškeré teplo odvést a nedošlo by tak k natavení těchto materiálů. Všeobecně uváděná hustota výkonu zdroje, potřebného k roztavení většiny kovů, činí 1000 Wcm^{-2} . Hustota energie zdrojů tepla pro všechny tavné technologie svařování by měla optimálně ležet mezi $0,001$ a 1 MWcm^{-2} . Ve skutečnosti je hustota energie nepřímo úměrná době vystavení materiálu zdroji tepla. To představuje přechodný problém s odvodem tepla z místa ohřevu. Z Einsteinovy rovnice 2.1. lze vyčíst, že teplo pronikající do spojovaného materiálu poroste s druhou mocninou času. To znamená, že čím delší, větší a hlubší bude svar, tím více tepelné energie vneseme do spojovaných materiálů, a tím větší oblast spojovaných materiálů tepelně ovlivníme. [1]

$$X \sim \sqrt{at} \quad 2.1.$$

X – představuje hloubku průniku tepla do materiálu [cm]

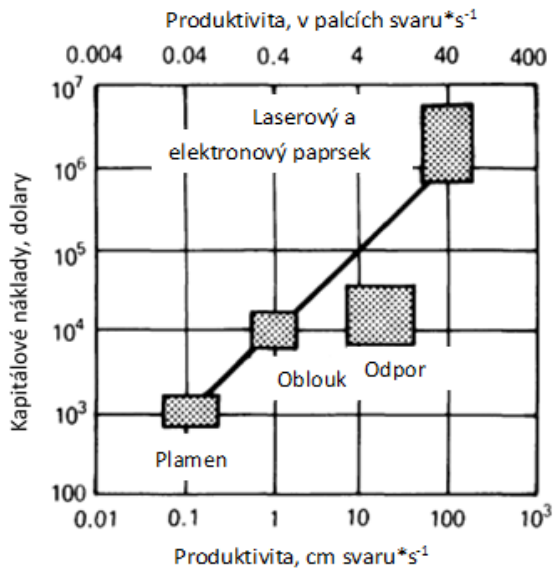
a – tepelná vodivost pevné látky [cm^2s^{-1}]

t – čas [s]

Zdroje tepla s hustotou energie 1000 Wcm^{-2} , jakými jsou například kyslíko-acetylenový plamen nebo elektrický oblouk při sváření obalenou elektrodou, potřebují k natavení svařovaného ocelového materiálu 2,5s, zatímco při použití laserového nebo elektronového paprsku, kde se hustota energie pohybuje okolo 1MWcm^{-2} , je potřebný čas

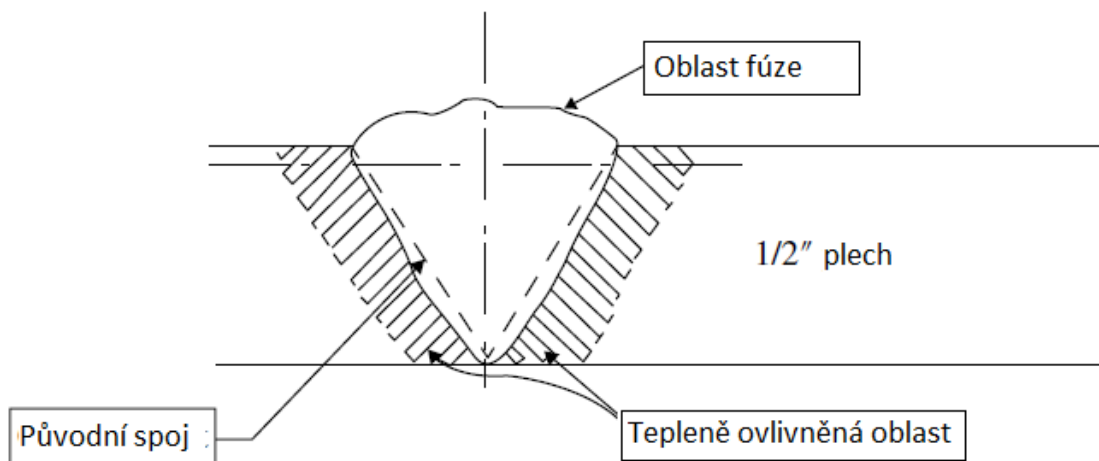
k natavení svářené oceli pouhých 25 μ s. Výkonné zdroje tepla tedy umožňují rychlejší proces svařování. To s sebou nese kratší čas na tvorbu svaru, menší tepelně ovlivněnou část svářeného materiálu a sní i méně napětí v okolí svarového spoje. [1]

Důvod, proč je svařování kyslíko-acetylenovým plamenem spolu se svařováním pomocí elektrického oblouku hojně využíváno i přes nepříznivé tepelné ovlivnění svařovaných materiálů, je ten, že se jedná o relativně pomalé technologie. Díky delší době při tvorbě svarové lázně tak nevyžadují rychlé reakce ohledně kontroly tvaru a velikosti lázně. Svařování pomocí elektrického oblouku již vyžaduje větší zručnost obsluhy oproti kyslíko-acetylenovému plameni, ovšem stále je velmi dobře proveditelné lidmi. V případě použití laserové a elektronové technologie jsme již nuceni použít číslicově řízené stroje, které zvládají řídit proces svařování velmi rychle, při zachování vysoké přesnosti. V případě použití elektronového paprsku je celý proces o to náročnější, jelikož svařování probíhá ve vakuu. Potřeba automatizace a další úprava prostředí, ve kterém se sváří, s sebou přináší i další náklady navíc. V porovnání nákladnosti svařování plamenem či elektrickým obloukem se uvádí, že technologie laserového svařování spolu s technologií svařování elektronovým paprskem jsou cca 1000x dražší. Výpočty uvádějící tento rozdíl nezohledňují náklady na údržbu a prohlídky. Náklady těchto technologií jsou tak vysoké právě proto, že ke sváření dochází na velmi malém prostoru při velmi vysokých rychlostech. Tento fakt klade velmi vysoké nároky na senzory, regulátory, procesory a celkově systém, který musí pracovat ve vyšších frekvencích. Velké nároky jsou tím kladeny i na pohony a maximální tuhost konstrukce a přesnost vedení. Všechny výše zmíněné faktory svou nákladností velmi nepříznivě ovlivňují použitelnost svařovacích technologií využívajících vysoce intenzivních zdrojů tepla. Na obrázku číslo 1 je názorně vidět, že produktivita svařování laserem nebo elektronovým paprskem je oproti elektrickému oblouku 100x vyšší, ale 1000x nákladnější. [1]



Obrázek 1 Vztah mezi náklady na svařovací zařízení a rychlosti svařování jednotlivých technologií. [1]

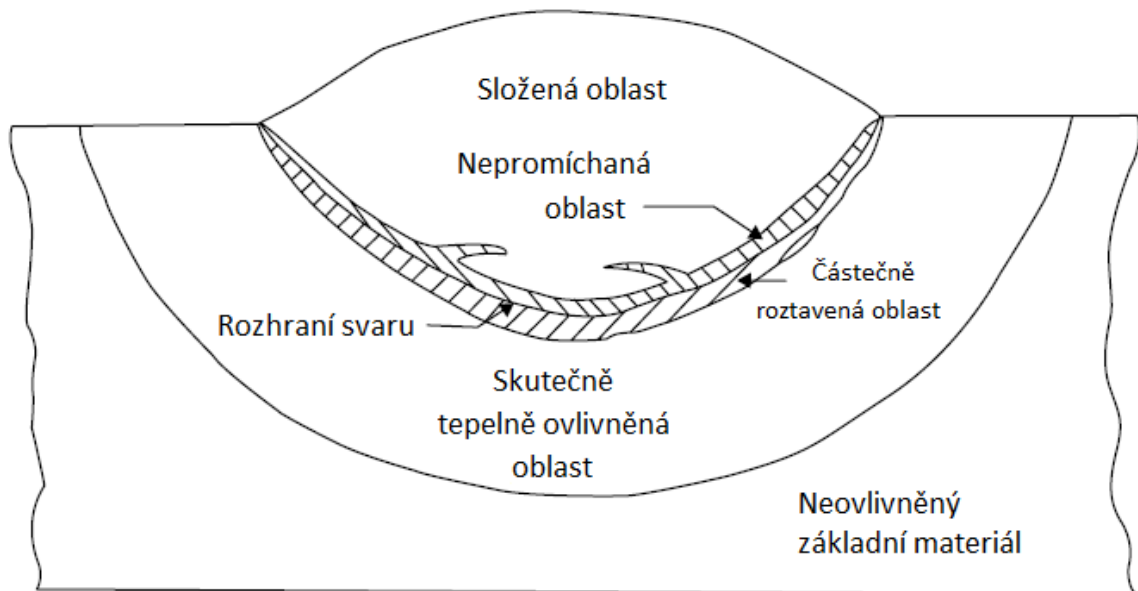
Při bližším zkoumání svarového spoje si lze povšimnout různých mikrostrukturálních oblastí. Do 60. let 20. století se předpokládalo, že se svar skládá z dvou oblastí. Oblasti fúze, tedy místa, kde vznikl svarový kov a oblasti tepelně ovlivněné vlivem sváření viz obrázek číslo 2. Oblast fúze, jak již bylo zmíněno před chvílí, je místem, kde dochází k tavení a tuhnutí během tvorby svarového spoje. Mikrostrukturu svarového kovu a vlastnosti tepelně ovlivněné části základního materiálu pak ovlivňuje především tepelný příkon samotné technologie sváření. [2]



Obrázek 2 Představa svarového spoje v první polovině 20. století [2]

Po rozsáhlých výzkumech v druhé polovině 20. století již došlo k návrhu změn terminologie při popisování oblastí mikrostruktury fúzního svaru. Oblast fúze se skládá z dvou částí, kdy dochází k promíchávání základního kovu a kovu přídavného. Tuto oblast pak obklopuje po

hranicích fúze slabé pásmo roztaveného a znovu ztuhlého základního materiálu, který se nepromísil s fúzí. Tato oblast byla nazvána jako nepromíchaná. Podle nového názvosloví se tepelné ovlivněná oblast základního materiálu rozdělila na oblasti částečně roztaveného kovu a oblast skutečně tepelně ovlivněnou. Tento model je na obrázku číslo 3.



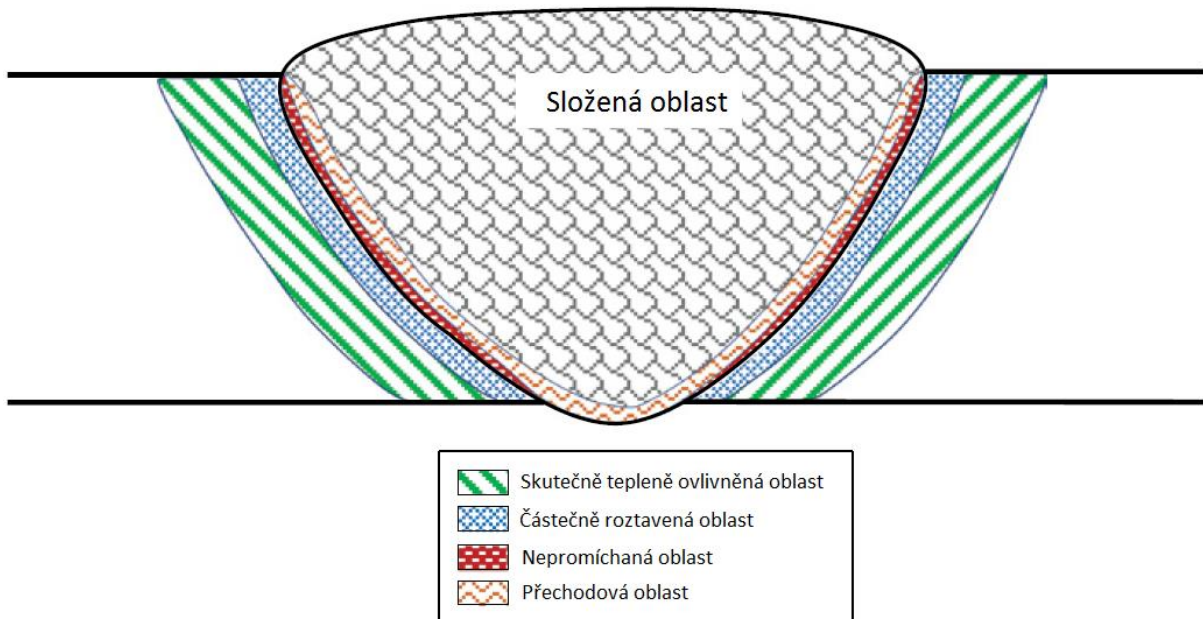
Obrázek 3 Popis mikrostruktura svarového spoje z druhé poloviny 20. století [2]

Na základě terminologie z druhé poloviny 20. století pak vznikla další řada upřesňujících terminologií pro slitinové kovy a jednotlivé druhy ocelí. [2]

V dnešní době používané schéma svarové mikrostruktury se od schématu z obrázku číslo 3 liší pouze přechodovou oblast uvnitř fúzní zóny. V některých slitinových systémech se může tato oblast vyznačovat výrazně jinou strukturou od okolních oblastí. Jako příklad může posloužit svar mezi nerezovou a nízkolegovanou ocelí, kde se v přechodové oblasti může vyskytovat martenzitická struktura, která se nikde jinde ve svaru nenachází. Moderní schéma svarové mikrostruktury je na obrázku číslo 4. [2]

Oblast kde je vyobrazena fúze představuje místo, kde vznikl kompletní fúzní svar, tedy došlo zde ke vzniku taveniny a jejího znovu ztuhnutí. Mikrostruktura fúzní oblasti je nejvíce ovlivněna rychlostí tuhnutí a ochlazování. Mikrostruktura fúzního materiálu bývá většinou velmi odlišná od tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu. Lze rozlišit tři druhy fúzních mikrostruktur. Autogenní-svary jsou, kde nebyl použit žádný přídavný materiál. Homogenní, u svarů, kde přídavný materiál svým složením téměř odpovídá

základnímu materiálu. A heterogenní, kdy byl svar vytvořen pomocí přídavného materiálu, jehož složení se liší od složení základního materiálu. [2]



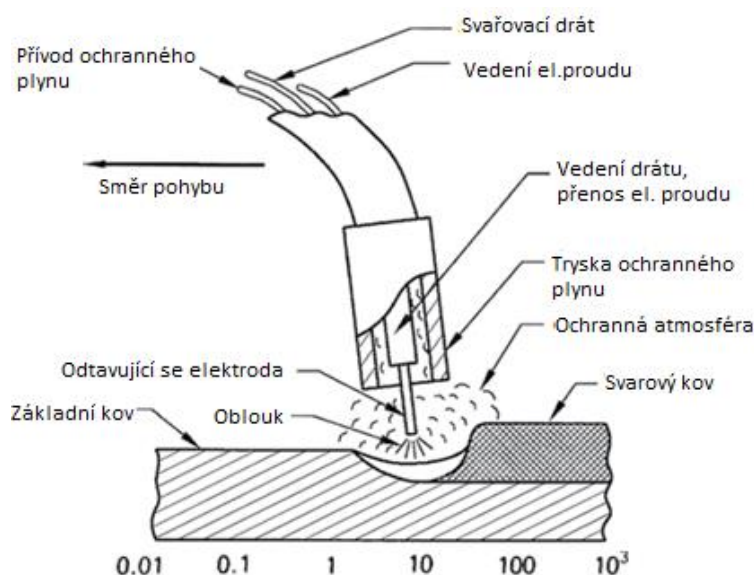
Obrázek 4 Moderní terminologie schématu svarové mikrostruktury [2]

2.1.1 Svařovací technologie MIG/MAG

MIG/MAG metoda je dnes nejrozšířenějším druhem obloukového svařování na světě. Tato metoda se začala nejvíce rozvíjet od konce 70. let 20. století. Rozdíl mezi metodou MIG a MAG je v tom, že první zmiňovaná je prováděna se stíněním oblouku inertním plynem, například argonem. Druhá zmiňovaná metoda využívá ke stínění oblouku aktivní plyn, nejčastěji CO_2 a jeho směsi. Velkou výhodou metody MIG oproti MAG je nižší tepelný příkon, kterého se využívá při svařování tenkostěnných konstrukcí či tenkých plechů, protože minimalizuje vznik deformací svařenců. Hlavními nevýhodami svařování v ochranné atmosféře oproti svařování obalenou elektrodou jsou velké rozměry svářecí soupravy a nutnost omezení proudění okolního vzduchu, aby nedocházelo k porušení ochranné atmosféry stínícího plynu, přiváděného svařovací pistolí do místa svařování. Velkými výhodami metod MIG a MAG jsou hlavně možnost svařet všechny běžně používané konstrukční materiály, možnost tvořit polohové svary a lze svařet i galvanicky pokovené polotovary. [3]

U obou technologií se jedná o svařování s nekonečně dlouhou tavnou elektrodou. Touto elektrodou se rozumí holý pokovený drát, který je pomocí podávacího zařízení nepřetržitě dodáván do místa svařování. Přídavný drát je umístěn v samotném svařovacím

agregátu na cívce. Z této cívky je natažen přes vodící kladky do podávacího zařízení, které tento drát posouvá skrze hadici až do svařovací pistole. Ve svařovací pistoli je tento drát podáván skrze měděnou trysku, jež je skrze pistoli a hadici připojena ke svařovacímu zdroji. Touto tryskou se tedy přivádí elektrický proud na svařovací drát, viz obrázek číslo 5. Okolo trysky je pak veden ochranný plyn, který při vlastním sváření obtéká okolo přídavného materiálu, usměrňuje nám přenos roztaveného materiálu do svaru a chrání vznikající svarovou lázeň před oxidací se vzdušným kyslíkem. Hadice mezi svařovacím agregátem a svařovací pistolí obsahuje vedení přídavného materiálu, vedení ochranného plynu z tlakové láhve upevněné na agregátu a měděný vodič, kterým je veden elektrický proud potřebný k tvorbě elektrického oblouku. [4]



Obrázek 5 Schéma svařovací pistole pro svařování v ochranné atmosféře. [4]

Vzhledem k částečné automatizaci tohoto procesu je tento typ svařování méně náročný oproti svařování plamenem, či svařování obalenou elektrodou. Díky těmto vlastnostem se svařování v ochranné atmosféře stalo komerčně dostupné již koncem čtyřicátých let dvacátého století. Tato technologie přinesla významné zvýšení produktivity práce, než co umožňovaly ostatní technologie té doby. Díky využití nekonečně dlouhé elektrody a velkým možnostem nastavení svařovacích parametrů je tato technologie hojně využívána v automatizovaných svářecích provozech.

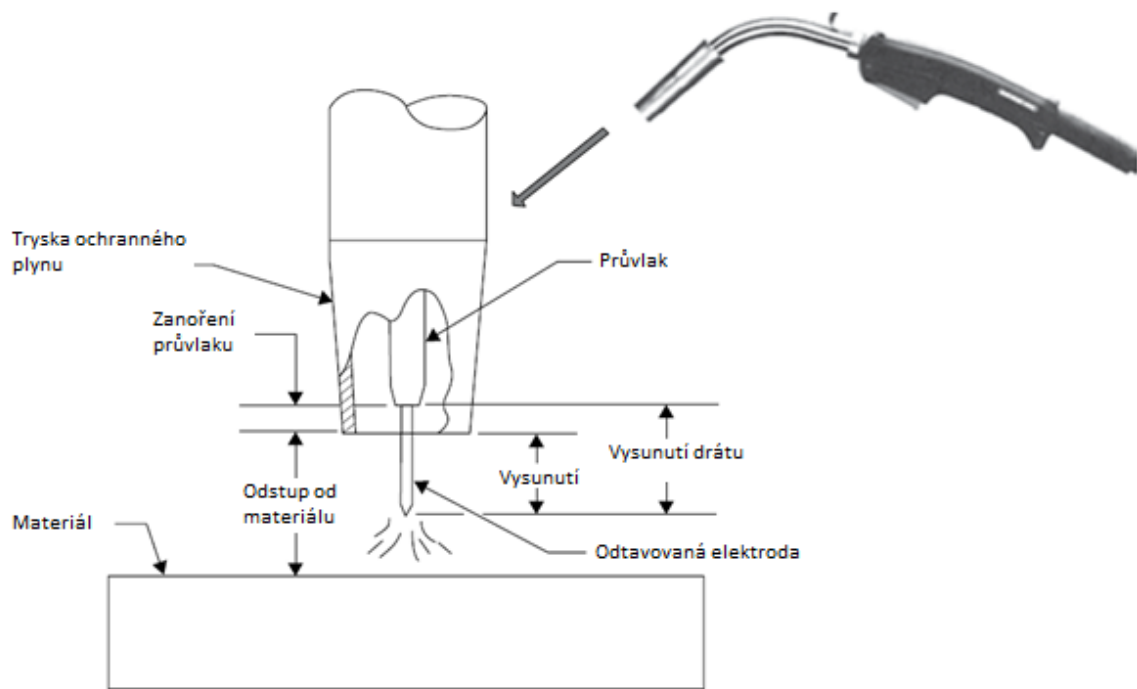
V současné době se začíná v automatizaci též využívat technologie Laser-hybrid. Výhodou této technologie oproti klasickému svařování v ochranné atmosféře je použití laserového paprsku, pomocí kterého se svařovaný materiál nataví do větší hloubky s menším

tepelným ovlivněním okolí. Do takto připraveného materiálu je přivedena svařovací tryska pro svařování v ochranné atmosféře a vytvoří svar. Takto zhotovený svar je oproti klasickému svařování v ochranné atmosféře hlubší a užší. Výhodami technologie Laser-Hybrid je pak především menší tepelně ovlivněná oblast a vyšší produktivita práce. [4]

Svařování v ochranné atmosféře je finančně nákladnější vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům zařízení, nutnosti ochranného plynu a složitějšímu provedení držáku elektrody oproti svařování obalenou elektrodou, ovšem i přes to se jedná o poměrně levnou metodu svařování. Vyšší počáteční náklady jsou totiž kompenzovány vyšší produktivitou práce. Moderní svařovací agregáty jsou v současné době díky pokročilé regulační elektronice schopny samoregulace, čímž stoupá využitelnost v automatizovaných provozech. Samoregulace u svařovacích agregátů se s výhodou používá i při ručním sváření, kdy si svářeč nastaví svařovací proud a svařovací agregát si sám sleduje a nastavuje délku elektrického oblouku. V případě jakékoli změny délky oblouku pak zdroj reaguje rychlou změnou svařovacího proudu a posuvu drátu.

Tavení průběžné elektrody je základním rysem technologie sváření v ochranné atmosféře, jehož průběh značně ovlivňuje produktivitu svařování a výsledný svar. Stabilní svařovací oblouk pak slouží jako zdroj tepla k tavení elektrody, k tvorbě svarové lázně a zároveň jako dopravní médium pro přenos přídavného materiálu. [5]

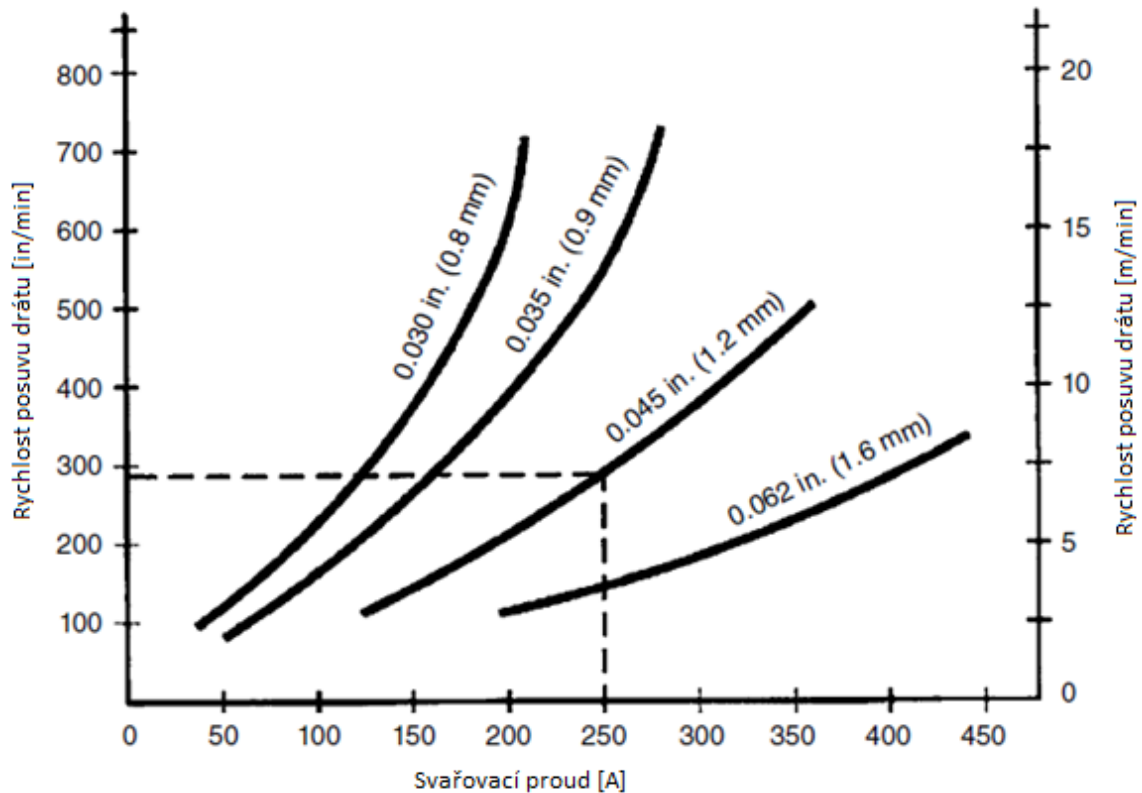
Rychlost tavení elektrody a hlídání délky oblouku má velký význam především pro správné tavení elektrody. Délka vysunutí elektrody z pistole znázorněná na obrázku číslo 6, je délkou elektrody mezi obloukem a měděnou špičkou pistole. Proč je délka vysunutí drátu tak důležitá? Čím delší je vysunutí drátu, tím více je drát odporově zahříván. K odporovému zahřívání přídavného drátu může docházet i vlivem vysokých proudů a v případě použití ocelového drátu, je zde promítnut i fakt, že je železo špatný vodič elektrického proudu. Odporové zahřívání drátu má pak za následek větší spotřebu elektrické energie na ohřev drátu, což má za následek, že zbývá méně elektrické energie pro tvorbu tepelné energie pomocí elektrického oblouku. Výsledkem je širší svarová lázeň s menší hloubkou průvaru. [4]



Obrázek 6 Vzdálenosti, elektrody, průvlaku, trysky a svařovaného materiálu [4]

Dalším nepříznivým důsledkem přílišného vysunutí drátu je zhoršení celistvosti toku ochranného plynu, který má chránit svarovou lázeň. Tuto funkci může také zhoršit i větší tvorba rozstříku způsobená přílišnou délkou vysunutí drátu. Rozstřík narušuje tok ochranného plynu a též může ulpívat mezi tryskou a měděnou špičkou. Takto zanesenou trysku je nutné vyčistit, aby opět docházelo k optimálnímu průtoku ochranného plynu. [4]

Dalším regulovaným prvkem je posuv přídatného drátu. Rychlost posuvu drátu ovlivňuje velikost proudu a rychlost posuvu svařovací pistole. Jak již bylo zmíněno dříve, čím vyšší je rychlost posuvu přídatného materiálu, tím větší musí být i svařovací proud a obráceně, aby se přídatný materiál stíhal roztavit. Z čehož vyplývá, že velikost proudu je propojená s rychlostí podávání drátu. Velikost proudu potřebného pro danou rychlost posuvu drátu pak bude funkcí průměru podávaného drátu. Větší průměr drátu znamená roztavení většího množství materiálu při stejné rychlosti než u drátu s menším průměrem. Při zachování stejného posuvu tedy bude pro silnější drát potřeba většího proudu než pro tenčí, aby bylo dosaženo stejné rychlosti odtavování drátu, viz obrázek číslo 7. [4]



Obrázek 7 Závislost svařovacího proudu na rychlosti posuvu a průměru elektrody [4]

Na obrázku číslo 7 si lze povšimnout různého zahnutí křivek. U slabších průměrů drátu s rostoucím proudem rychle vzrůstá i posuv a křivka zatáčí strmě nahoru. Oproti tomu u silných drátů je nárůst proudu k posuvu skoro lineární. Důvod proč tomu tak je, je ono odporové zahřívání drátu, které již bylo popsáno dříve. Narůstající proud v slabém drátu způsobuje růst odporového tepla v druhé mocnině. Z této skutečnosti vyplývá, že pro potřebnou rychlost tavení je potřeba menšího přírůstku proudu, oproti zvýšení rychlosti posuvu drátu, aby napětí v oblouku bylo konstantní spolu s jeho délkou. U přídatných drátů s menším průřezem je tento rozdíl větší, kvůli vyšší proudové hustotě. [4]

2.1.2 Tepelný proces obloukového svařování

Při svařování se zdroj tepelné energie pohybuje konstantní rychlostí po předem stanovené dráze. Ke svařování začne docházet krátce po natavení spojovaných součástí, kdy se během pohybu tepelného zdroje při sváření oba díly natavují a spolu s přídatným materiálem vytvářejí lázeň roztaveného kovu. Část energie přivedené do svařovacího agregátu vytváří zmiňovanou lázeň, která se dále rozlévá do předem připravené geometrie a vytváří kořenovou vrstvu svaru. Další část této energie se ztrácí v samotném elektrickém

oblouku a část je odvedena z místa sváření za pomoci vedení tepla. Po ukončení svařování se ve svaru a přiléhajícím okolí vlivem chladnutí začínají tvořit tři metalurgické zóny. Zóna svaru, tepelně ovlivněná zóna a zóna základního materiálu. [1]

Velmi důležitými jsou pro svařování schémata postupů svařovacích procesů, spolu se zkušenostmi svářečů. Stejně jako znalost základních vztahů mezi tepelným chováním svarů, metalurgií svaru, parametrů svařování a kroucením svařovaných konstrukcí vlivem následného pnutí. Všechny tyto zkušenosti a znalosti jsou důležitými prvky pro nastavení správných svařovacích podmínek, kterými mohou být například minimální tepelný příkon, nutnost přehřevu, rychlost vlastního svařování apod. V případě optimalizace automatizovaného svářecího pracoviště nebo při výpočtech svařovacích parametrů obtížně svařitelných materiálů náchylných na odchylky teplot při svařování lze použít kvazistacionární teplotní model. Za pomoci moderní výpočetní techniky, matematického modelu a vhodně zvolených okrajových podmínek lze svařovací podmínky též velmi efektivně a vhodně optimalizovat. [1]

2.1.3 Praskání chladnoucích svarů

K praskání chladnoucích svarů dochází vlivem napětí ve svaru a nově vzniklé metalurgické struktury. Napětí ve svaru je výsledkem vlastního svařování, kdy teploty dosahují teplot tavení materiálu. Materiál tak změní svou původní strukturu a nabude na objemu. Následně tento materiál chladne, začíná opět krystalizovat a smršťovat se. Do tohoto procesu vstupuje i nově vznikající metalurgická struktura. Zejména se zde jedná o segregaci jednotlivých legujících prvků, pocházejících buď ze základního materiálu nebo jsou přivedeny spolu s přídavným materiálem. Dalším nepříznivým vlivem je tvorba eutektika během nerovnoměrného procesu tuhnutí svarové lázně. Se znalostmi metalurgických procesů lze určit chemickou segregaci, množství a rozložení eutektika, velikosti a směry růstu zrn. Pro přesnější výsledky je třeba zahrnout i vlivy cyklického ohřevu a ochlazování spolu s vlivem latentního tepla. Ovšem zde je již třeba použít vhodně nastavený matematický model a proces optimalizace v tomto směru je vhodný spíše pro automatizované svařovací provozy. [1]

2.1.4 Tvarové deformace

Nelineární napětí ve svařenci je způsobeno tepelným svařovacím procesem. Plastické deformace vznikají, když se ve svaru vyskytnou různorodá napětí, tato napětí se během svařovacího procesu hromadí a mají za následek výsledné zbytkové napětí a plastickou deformaci místa svaru. [1]

Zbytkové napětí ve svařenci způsobuje zhoršení vlastností svařence tím, že zvyšuje jeho náchylnost na tvorbu trhlin. K odstranění nežádoucího napětí slouží buď mechanické nebo tepelné pochody, které ovšem prodražují výslednou tvorbu svařence. Možnými metodami jak zabránit tvorbě vnitřního napětí může být aktivní ohřev nebo chlazení během procesu svařování. Do jisté míry má na vznik deformací vliv i způsob upnutí svařovaných materiálů vůči sobě. S ohledem na rozmanitost svařovaných konstrukcí nelze určit jeden univerzální postup svařování použitelný pro všechny. Velkým pomocníkem se s rozvojem výpočetní techniky staly softwary, které využívají metody konečných prvků k simulaci průběhů napětí během svařování. Za pomoci těchto programů lze v teoretické rovině poměrně přesně nasimulovat průběh svařování konkrétního typu svařence a optimalizovat postup svařování ještě před započítáním prvního svaru. [6]

2.1.5 Toky materiálů při obloukovém svařování

Pro svařování v ochranné atmosféře existují čtyři základní regulované parametry. Jsou jimi svařovací proud, napětí oblouku, délka vysunutí elektrody a průměr elektrody. V praxi jsou nejčastěji regulovanými parametry proud a napětí oblouku, jelikož nejvýrazněji ovlivňují velkou část procesu svařování. V přenosu tepla a přídavného materiálu hrají roli také rychlost tavení elektrody, proudová hustota a použitý ochranný plyn. Je ovšem velmi obtížné oddělit od sebe rychlost přenosu přídavného materiálu a zároveň snížit tepelný příkon. Toho se povedlo dosáhnout při využití pulzního proudu. Ovšem svařovací agregáty, generující vysoké frekvence pulzních proudů s sebou přinášejí velké náklady, které nejsou v aplikacích, kde je hlavním kritériem cena, vůbec žádoucí. [5]

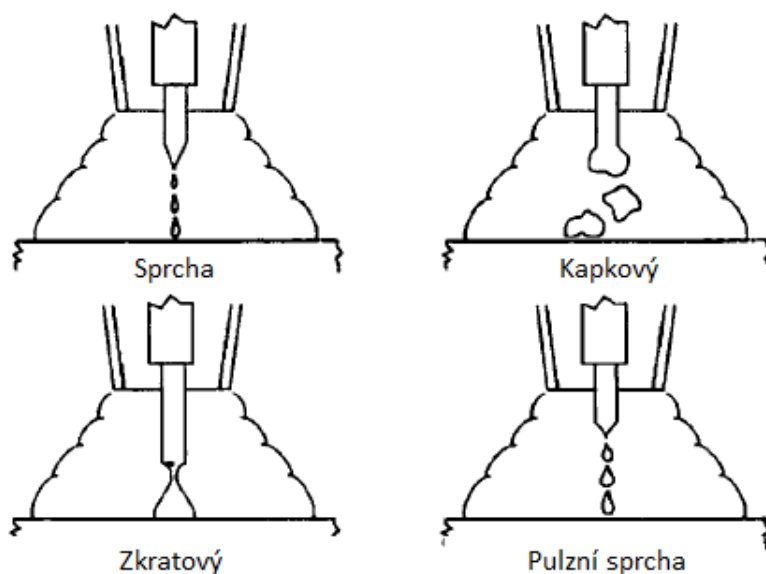
Mezinárodním institutem pro svařování je uváděno osm různých přenosů roztaveného přídavného materiálu pro obloukové svařování. V praxi jsou běžně používanými přenosy: kapkový, sprcha, zkratový, impulzní a rotační. Vznik jednotlivých typů je takový. Když budou všechny ostatní parametry udržovány konstantní, tak při nejnižší rychlosti

posunu přídavného materiálu bude přenos materiálu kapkový. Pokud dojde ke zvýšení rychlosti posuvu přídavného materiálu, změní se kapkový přenos na sprchu. Při dalším zvýšení posuvu přídavného materiálu a elektrického proudu se dostáváme již do přenosu impulzního. Při dostatečně velkém proudu a vzdálenosti mezi tavícím se přídavným materiálem a základním materiálem dochází k rotačnímu přenosu. Při tomto typu přenosu je natavena poměrně velká část elektrody, tato část se vlivem elektromagnetického pole začne otáčet a dojde k přenosu kapiček roztaveného kovu do svarové lázně na relativně velké ploše. [1]

Během svařování dochází k velmi rychlému proudění plynů okolo elektrického oblouku, který je částečně způsoben tokem plynů tvořících ochrannou atmosféru. Ovšem podstatnějším je, že je tento tok plynů iniciován elektromagnetickými silami vznikajícími spolu s elektrickým obloukem. Při svařování obalovanou elektrodou, vzniká proud plynů, tvořících ochrannou atmosféru pro vznikající svar, tavením obalu elektrody. Při tomto typu sváření dochází pomocí elektrického oblouku k přenosu přídavného materiálu z elektrody do místa svaru spolu se vznikem strusky, která nám chrání vzniklou lázeň tekutého kovu před oxidací z vnějšího prostředí. Oproti tomu u svařování v ochranné atmosféře dochází skrze elektrický oblouk pouze k přenosu přídavného materiálu do místa tvorby svaru. V obou případech má hlavní vliv na velikost a tvar svaru rychlost posuvu přídavného materiálu a rychlost posuvu po materiálu. V případě svařování v ochranné atmosféře je dalším vlivem nastavení pulzace zdroje tepelné energie. [1]

2.1.6 Druhy přenosu přídavného materiálu

Druh přenosu přídavného materiálu je při sváření v ochranné atmosféře velmi důležitým procesem. Třemi základními přenosy jsou sprcha, zkratový a kapkový přenos. Dalšími jsou sprcha a pulzní sprcha viz obrázek číslo 8. Způsob přenosu přídavného materiálu ovlivňuje mnoho hledisek, jakými jsou: rychlost přenosu přídavného materiálu, teplo vnesené do součásti, možnost tvorby polohového svaru, tloušťka svařovaných dílů, které je možno svařit, schopnost zavařit mezery. [4]



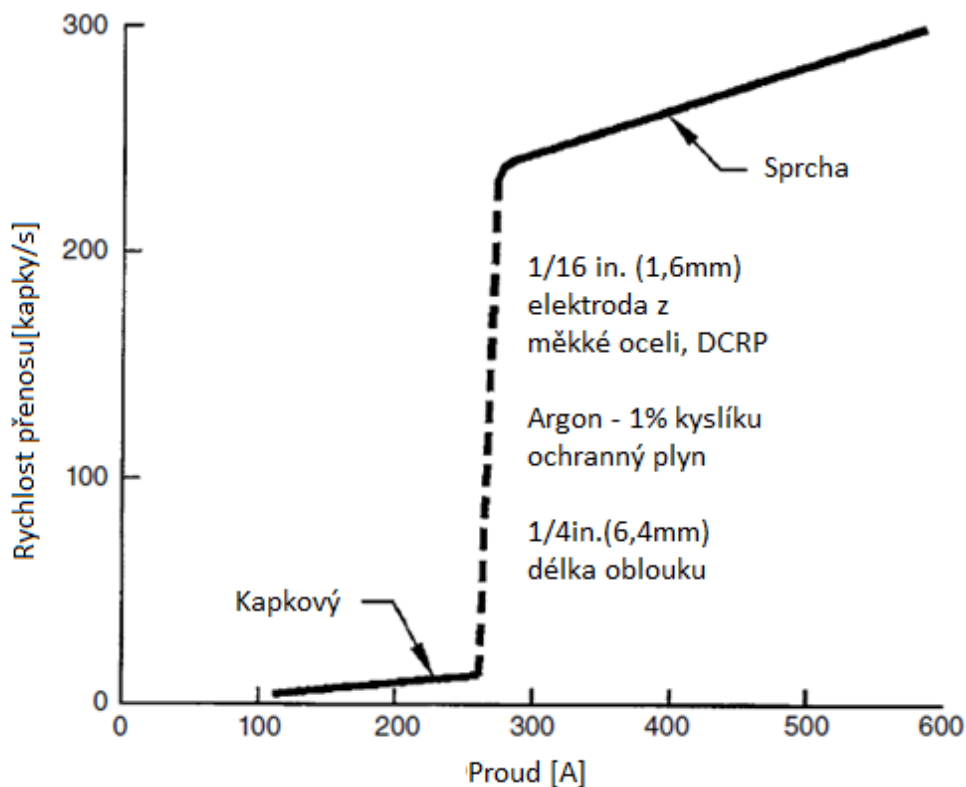
Obrázek 8 Druhy přenosu kovu: sprcha, kapkový, zkratový a pulzní. [4]

2.1.6.1 Sprcha

Nejčastěji používaný druh přenosu materiálu. Využíván je především pro svou vysokou produktivitu tvorby svaru. Vyznačuje se velkou hloubkou průvaru a velkou plochou svaru. Pro tento přenos materiálu je charakteristický jemný rozptýl kapiček kovu, které nevytvářejí zkraty v hořícím oblouku, což má za následek menší rozstřík oproti jiným druhům. [4]

K typu přenosu sprcha dojde, nastaví-li se svařovací proud nad přechodový proud. V oblasti pod přechodovými proudy dochází k přenosu kapkovému. S rostoucími průměry přídavných drátů rostou i přechodové proudy viz obrázek číslo 9. Tento druh přenosu je také spojen s výrazným snížením objemu každé kapky (vztaženo ke kapkovému přenosu). Sprchu lze vytvořit v ochranné atmosféře minimálně 80% argonu. Použití tohoto typu přenosu je

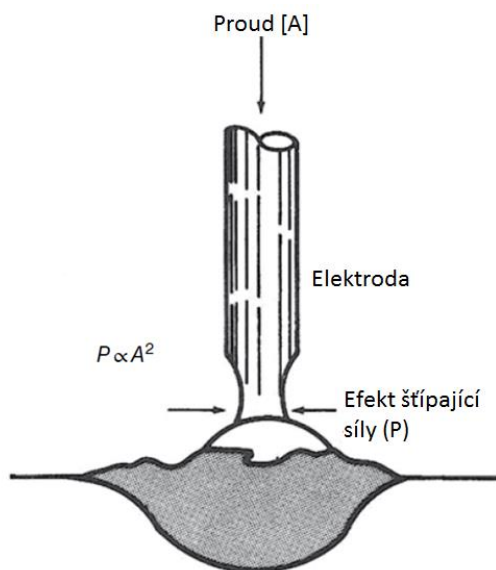
omezeno na rovné a horizontální svařovací polohy i přesto, že pulsování přináší možnost větší kontroly tepla a svařové lázně, které jindy umožňují svařování i v jiných polohách. [4]



Obrázek 9 Závislost proudu, posuvu a průměru drátu při přechodu z kapkového přenosu na sprchu. [4]

Přenos materiálu typu sprcha přímo souvisí s jevem, který je známý jako elektromagnetické štípání viz obrázek číslo 10. Tento efekt nastává v každém elektrickém vodiči umístěném v magnetickém poli a má za následek vznik vnitřní tažné síly na vodič. Se stoupající proudovou hustotou pak roste i vnitřní tažná síla magnetického pole. Tato síla působí na kapičky roztaveného přídavného materiálu, které se tvoří na konci elektrody pomocí smáčknutí nebo sevření. Tato skutečnost nám vysvětluje, proč režim přenosu sprcha vyžaduje dostatečně vysoké proudové hustoty. Gravitace zde hraje též svou roli, neméně podstatnými jsou povrchové napětí mezi kapičkou roztaveného kovu a elektrodou, spolu s ochranným plynem. Velký vliv právě na povrchové napětí má ochranný plyn. Z toho důvodu ochranné směsi plynů určené pro typ přenosu sprcha musí obsahovat nejméně 80 % argonu. S těmito typy směsných plynů lze docílit přenosu kovu pomocí pulzní sprchy, která využívá vysokonapěťových pulzů, které se nacházejí nad proudovou úrovní potřebnou pro sprchový přenos a slouží k sevření kapičky roztaveného kovu ze sprchy. Pak následuje impulz o nízkém proudu, jehož nominální hodnota je nižší než proud potřebný pro sprchu. Přenos pomocí

pulzní sprchy je možné použít při svařování tenkostěnných materiálů nebo v případě polohových svarů. Je tomu tak díky nižším průměrným svařovacím proudům. [4]



Obrázek 10 Štípání, znázornění působení elektromagnetické tažné síly na natavený konec elektrody. [4]

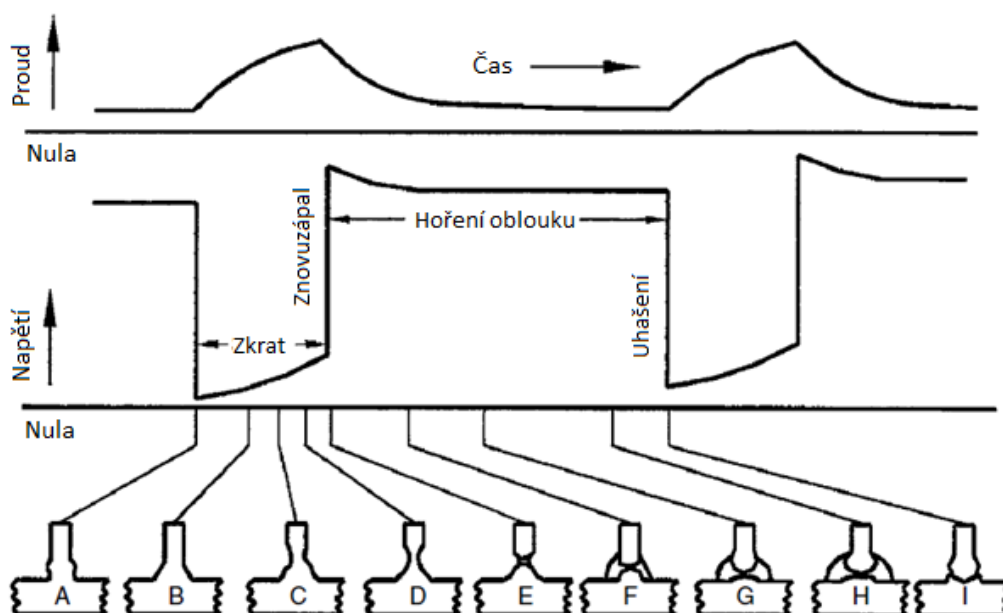
2.1.6.2 Pulzní sprcha

Stabilního přenosu materiálu, jakým je sprcha v ochranné atmosféře argonu, lze dosáhnout pomocí pulzního zdroje i v ochranné atmosféře argonu a oxidu uhličitého. Pulzní svařování u MAG při použití směsného plynu přináší menší rozstřík a vzniká jednotný a mělký svar při nižším průměrném proudu. Pulzní sprcha tedy ve výsledku pracuje s mnohem nižším svařovacím proudem, než jaký by byl potřeba pro tvorbu sprchy. Oproti kapkovému přenosu, kterému se tato práce bude věnovat v následující podkapitole, se jedná o produktivnější přenos přídavného materiálu, kterým lze docílit vyšší rychlosti svařování, ovšem za použití směsného ochranného plynu. [7]

V případě pulzní sprchy nám pak přibývají další regulované veličiny, kterými jsou základní svařovací proud, základní čas impulzu, špičkový proud a maximální doba trvání pulzu. Základní svařovací proud slouží k tvorbě a udržení stabilního oblouku a špičkový proud, který je větší než kritický proud pro sprchu, iniciuje krátkodobý vznik přenosu pulzní sprchou. [7]

2.1.6.3 Zkratový přenos

Tento typ přenosu znamená pro svařovaný materiál nejmenší tepelný přírůstek a oproti přenosu sprcha se s výhodou používá ke svařování tenkých materiálů, kořenových vrstev a při tvorbě polohových svarů. Během tohoto typu přenosu nedochází k transportu jakéhokoli roztaveného materiálu pomocí elektrického oblouku. K přenosu výplňového materiálu dojde v okamžiku, kdy se elektroda dotkne svarové lázně. V ten okamžik dojde k prudkému nárůstu proudu s konstantním průběhem napětí, kdy se konec elektrody vlivem velmi vysokého odporového ohřevu roztaví. Roztavená část elektrody steče do svarové lázně a následuje další cyklus natavení elektrody, viz obrázek číslo 11. Pro přenosy pomocí zkratu se využívá nízkých proudů, napětí a malých průměrů přídavných drátů. Tepelně ovlivněné oblasti jsou v tomto případě malé. [4]

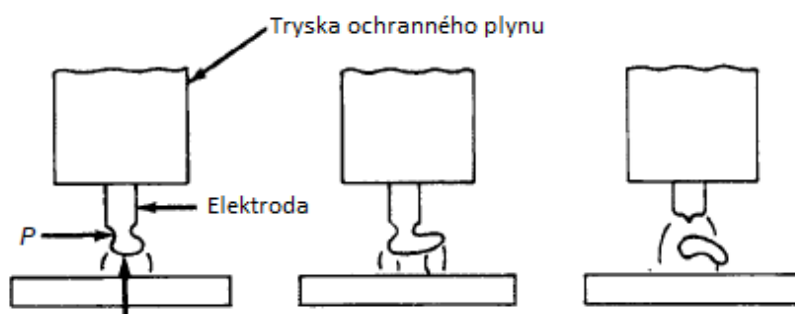


Obrázek 11 Schéma zkratového přenosu spolu se závislostí proudu na napětí. [4]

V dřívějších dobách byl pro zkratový přenos typickým velký rozstřík, který vznikal během dočasného nárůstu proudu za konstantního napětí. To mělo za následek i nestejný tepelný přírůstek. Ovšem s příchodem moderních svařovacích agregátů se tento nepříznivý jev podařilo výrazně potlačit. Moderní zařízení jsou v současné době schopna zkratového přenosu materiálu téměř bez rozstříku s přesně řízeným přenosem tepla. Obecně pracují moderní agregáty oproti těm starším s menšími zkratovými proudy. [4]

2.1.6.4 Kapkový přenos

Vyznačuje se především velkými kapkami roztaveného kovu, které mývají zpravidla větší průměr, než je průměr přídavného drátu viz obr. 12. Pro tento typ přenosu je hlavním aspektem gravitace. Z této skutečnosti tedy vyplývá, že je určen pouze pro horizontální a rovinné svařované plochy. Kapkový přenos pracuje s nižšími proudy, než jaké se vyskytují u přenosu sprchou, ale generuje velmi vysoký rozstřík. Tento typ přenosu se nemusí jevit jako optimální volba pro svařování, ovšem velkou výhodou je možnost použití 100% CO₂, který je oproti argonu mnohem levnější. [4]



Obrázek 12 Schéma kapkového přenosu [4]

Kombinace kapkového přenosu s relativně vysokými proudy a nízkým napětím je známá jako takzvaný pohřbený oblouk. Díky vyšším proudům dochází k větším elektromagnetickým silám, které způsobí stlačení svarové lázně. Díky tomu se špička elektrody ocitne v prohlubni z roztaveného kovu, čímž se minimalizuje rozstřík a zvětší se rozlití svarové lázně do stran. Těchto skutečností se s velkou výhodou využije při rychlejších posuvových rychlostech hořáku, aniž by vznikal nerovnoměrný svar. [4]

2.1.7 Ochranné plyny

Ochranný plyn při svařování v ochranné atmosféře chrání proces svařování před okolní atmosférou a zároveň funguje jako médium pro tvorbu elektrického oblouku, kterým teče elektrický proud mezi elektrodou a svařencem. Výzkumy v této oblasti ukázaly, že nedostatečné stínění elektrického oblouku ochranným plynem, způsobené příliš vysokými nebo nízkými průtoky, má za následek unášení okolního vzduchu směrem k elektrickému oblouku, což vede ke kontaminaci kapiček kovu nebo samotného svaru. Vzdušný kyslík a dusík pak tvoří nežádoucí reakce s roztaveným kovem, vzniká rozstřík a velká proměnlivost kvalitativních vlastností svaru. Například oxid uhličitý se uvolňuje ze svaru až po jeho

ztuhnutí, tím v tomto místě vzniká poréznost svaru a riziko vzniku prasklin. Objemový průtok ochranného plynu by měl být volen tak, aby dodávka ochranného plynu byla dostatečná pro požadovanou kvalitu svaru. Pro svařování MAG se uvádí průtok ochranného plynu mezi 15 až 20 litry za minutu. Použití většího průtoku je zbytečné, negativně ovlivňuje životní prostředí a vznikající turbulentní proudění může mít za následek vznik pórovitosti svaru. [8]

Další důležitou informací je, že s rostoucím průtokem ochranného plynu, roste přenos tepla konvekcí, což má za následek celkově větší tepelný přírůstek ve svařenci. Bylo dokázáno, že vlivem větších průtoků se u metody MAG zvýšila hodnota průniku a výsledný svar byl hlubší. Jako optimální hodnota průtoku ochranného plynu ověřená sérií pokusu byla stanovena hodnota 9 + litrů za minutu. [8]

Jak již bylo naznačeno dříve, volba ochranného plynu pro svařování v ochranné atmosféře může výrazně ovlivnit profil přenosu přídavného materiálu, viz obrázek číslo 13. Ochranný plyn má vliv na zahřívání oblouku, jeho tvar a stabilitu, stejně jako ovlivňuje povrchové napětí svarové lázně spolu s povrchovým napětím kapiček přenášeného kovu. Jak bylo zmíněno již dříve, pro režim sprcha je zapotřebí minimálně 80% argonu. [4]

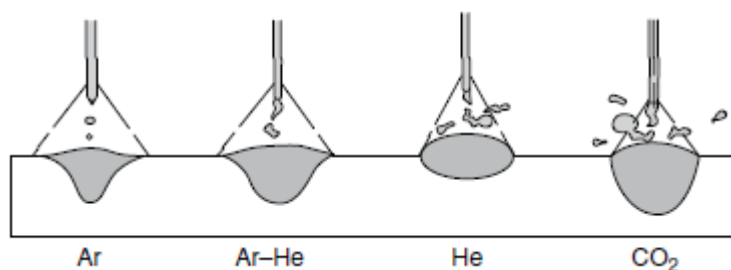
Argonový oblouk se vyznačuje vysokou teplotou uprostřed svaru a relativně velmi nízkou teplotou na okrajích svaru. Výsledkem pak je poměrně hluboký a relativně úzký svarový profil viz obrázek číslo 13. Vyšší povrchové napětí svarové lázně vytvořené argonovým obloukem pak má za následek lepší smáčení se základním materiálem. Argon někdy bývá ve směsích s malým množstvím kyslíku, tato kombinace zlepšuje stabilitu oblouku a snižuje šanci na vznik svarové nespojitosti, též známé jako takzvané podříznutí. [4]

Heliové oblouky se vyznačují vyšší tepelnou vodivostí než argonové oblouky, což má za následek více rozlitý profil svaru oproti argonovému viz obrázek číslo 13. Heliové oblouky jsou více rozvětvené a dochází u nich k většímu rozstříku. Zásadním je při použití hélia průtok, ten musí být oproti argonu, který je těžší než vzduch, až dvojnásobný. [4]

Oxid uhličitý není inertním plynem, přesto bývá s velkou účinností využíván jako ochranná atmosféra při sváření uhlíkových ocelí. Oblouky v oxidu uhličitém se vyznačují poměrně velkým rozvětvením, výrazným rozstříkem, ne vždy esteticky přívětivou svarovou housenkou, ovšem velkou doménou je vynikající hloubka a mohutnost svaru viz obrázek číslo 13. Velké oblibě se těší i díky své dostupnosti a výrazně nižším finančním nárokům na zařízení. Mechanické vlastnosti takovýchto svarů nemusí být vždy tak dobré jako u svařování

v ochranné atmosféře inertních plynů. Důvodem snížení kvality těchto svarů je mírná oxidace během svařovacího procesu s oxidem uhličitým. Pro odstranění těchto nežádoucích vlivů se běžně vyrábějí plyny směsné. Nejčastěji se jedná o kombinace oxidu uhličitého s argonem a héliem. [4]

Dalším možným zlepšením kvality svaru je použití vhodného průtočného množství ochranného plynu, které bylo zmíněno již dříve.



Obrázek 13 Tvar svaru v závislosti na použitém ochranném plynu [4]

Právě teplotní ovlivnění, tím vzniklé vnitřní pnutí ve svařenci a výsledná tvarová nepřesnost jsou hlavní důvody, proč je třeba na základní konstrukci připevnit další polotovary, které budou následně na přesný rozměr obrobena. Za účelem zlepšení stability základního svařovaného rámu se přistupuje i k žihání pro odstranění pnutí. Ovšem s ohledem na nedostačující tuhost konstrukce vůči obrábění ocelových dosedových ploch, eventuálně ploch tvořených ze slitiny hliníku, bylo potřeba najít jiný materiál, který by byl vhodný k přesnému obrábění na ocelové konstrukci se sníženou tuhostí. Za tímto účelem bylo zvoleno použít materiál Ebalta 140, který se vyznačuje především svou velmi dobrou obrobiteľnosť, tvarovou stálosťou a otěruvzdorností. Aditivní řešení, jímž je lokální instalace umělého dřeva, s sebou přináší další náklady na výrobu, ať se již jedná o náklady na materiál nebo časy dělníků, pracujících na připevňování umělého dřeva na konstrukci. V době zpracovávání této práce nebylo možné posoudit, zda je instalace umělého dřeva na ocelovou konstrukci pomocí karosářského tmelu vhodná s ohledem na zatěžování těchto materiálů v klimatické komoře. Konkrétním zatěžováním je myšlen průběh klimatické zkoušky, kde se uměle simuluje stárnutí materiálu částí karosérie vlivem cyklicky se měnících teplot a vlhkosti. S ohledem na vstřícnost zákazníka používajícího přípravky pro klimatické komory se přistoupilo k o věření vlivů v klimatické komoře na karosářský tmel a umělé dřevo. Kdy byly vzorky připravené k měření vystaveny jedné zkoušce střídavým klimatem. Průběh

zkoušky a měření těchto vzorků je v následujících kapitolách. S ohledem na vytíženost externího dodavatele základních svařovaných konstrukcí, jímž je osoba samostatně výdělečně činná s malou výrobní kapacitou, vznikl problém ohledně tvorby přechodného pracoviště. Toto drobné pracoviště mělo sloužit k tvorbě experimentálních svarů, za účelem optimalizace svařovacího procesu, podle informací obsažených v předchozích kapitolách. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem byla část diplomové práce věnující se pokusu věnována Ebalta 140 a karosářskému tmelu.

2.2 Umělé dřevo Ebalta 140

Jedná se o pryskyřičný materiál vzniklý polyadící, jehož základní vlastnosti jsou v tabulce číslo 1. Konkrétní typ Ebalta 140 se využívá jako materiál formovacích desek, slévárenských modelů a jaderníků. U tohoto materiálu je známa jeho dobrá obrobiteľnosť pri téměř nulové prašnosti. Obrobený tvar je poměrně otěruvzdorný a výrobky z tohoto materiálu disponují velmi nízkým koeficientem tepelné délkové roztažnosti. Pro kombinaci těchto vlastností byl ve firmě Keri a.s. zvolen jako vhodný materiál sloužící, z hlediska lepší obrobiteľnosti, jako náhrada za slitinu hliníku k tvorbě přesných dosedových ploch na přípravku určeném k testování změn klimatických podmínek. [9]

Tabulka 1 Fyzikální informace

Vlastnosti	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Pevnost v ohybu	EN ISO 178	MPa	109 ± 5
E-Modul (v ohybu)	EN ISO 178	MPa	4175 ±100
Ohyb při prohnutí	EN ISO 178	%	3,8 ± 0,15
Pevnost v tahu	EN ISO 527	MPa	-
Prodloužení	EN ISO 527	%	-
Pevnost v tlaku	EN ISO 604	MPa	102 ± 5
Rázová houževnatost (Charpy)	EN ISO 179	kJ/m ²	19,5 ± 2
Tepelná odolnost (HDT)	DIN EN ISO 75 B	°C	87 ± 3
Tvrdość Shore	DIN 53505	Shore D	85 ± 3
Koeficient délkové roztažnosti	DIN 53752	10 ⁻⁶ K ⁻¹	Cca. 69

Zdroj: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/ebablock-umele-drevo//ebablock-140> [9]

2.3 Karosářský tmel Body soft 211

Univerzální tmel vhodný pro použití na dřevo a kov. V Keri a.s. je využíván k lepení umělého dřeva na ocelový svařenec a k estetickým opravám přípravků. Při použití v druhém případě se využívá kombinace jeho rychleschnoucích a vytvrzujících vlastností s možností snadného obrábění a broušení.

Před vlastním tmelením je třeba tmelený povrch očistit od nečistot a případné oxidace. Tmel se smíchá s tužidlem v poměru 100:1, přičemž je doba zpracovatelnosti po promíchání 4 minuty a pomocí špachtle se nanese na připravený povrch. K úplnému doschnutí dochází po 20-30 minutách při teplotě 20°C kdy ho je možné obrábět a brousit. [10]

3 Cíl práce

Cílem diplomové práce je nalezení optimálních svařovacích parametrů vedoucích k částečné až celkové eliminaci nežádoucích deformací vznikajících při sváření tenkostěnných ocelových konstrukcí, které jsou používány jako základní rámy pro simulace klimatických změn částí karoserií osobních automobilů. Podstatou práce je analýza a vyhodnocení stávajícího stavu. Výsledkem práce bude doporučený svařovací postup spolu s nastavením optimálních svařovacích parametrů pro minimalizaci nežádoucích deformací v tenkostěnném svařenci.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, firma Keri a.s. se zabývá výrobou přípravků pro automobilový průmysl. V případě klima rámu se jedná o testovací přípravek. Testují se na něm sestavy automobilových dílů v klimatických komorách, kde se kontrolují rozdílné dilatace jednotlivých materiálů, použitých na karosérii vozidla, za pomoci simulací povětrnostních vlivů. Je zde kladen důraz na přesnost konstrukce, aby bylo možné objektivně měřit požadované parametry pohledových dílů při měnících se typech počasí. Největším úskalím při výrobě těchto typů přípravků je jejich základní nosná konstrukce, která se skládá z tenkostěnných, uzavřených, ocelových profilů. Tyto profily jsou voleny s ohledem na požadavek zákazníka, kdy je limitujícím faktorem velmi nízká hmotnost celého přípravku. Teplem ovlivněnou tenkostěnnou konstrukci spolu s napětím ve svarech je třeba vyžítat pro odstranění pnutí. Na kontaktní místa, s vysokým požadavkem přesnosti je pak použito umělé dřevo, které je lepeno na pokroucený svařenec pomocí karosářského tmelu. Tento postup úpravy a dodatečné opravy základního rámu byl vyhodnocen jako nákladný s ohledem na další technologické operace a případně vhodný pro optimalizaci.

V teoretické části je zpracována literární rešerše výrobního procesu ve společnosti Keri a.s. se zaměřením na stěžejní produkty společnosti, kterou doplňuje stručný úvod do technologie svařování v ochranné atmosféře.

V praktické části práce je proveden rozbor současného řešení spolu se zkoumáním vhodnosti tohoto postupu, kdy následuje pokus, pro ověření funkčnosti současného řešení, jímž jsou dosedové plochy vyrobené z umělého dřeva a připevněné ke svařenci pomocí karosářského tmelu.

Závěr pak zohledňuje nastíněné možnosti vyplývající z teoretické části, vyhodnocuje výsledky pokusů a udává doporučení k možným úpravám výrobního postupu.

4 Metodika

V sekundární části výzkumu se práce věnuje obecné problematice svařování a rozboru pryskyřičného materiálu Ebalta (umělé dřevo). Umělé dřevo a technologii svařování firma využívá ke zhotovení rámu pro testování vzájemných interakcí částí karosérie vlivem povětrnostních vlivů v klimatické komoře. Přesné kontaktní plochy tohoto přípravku jsou vyrobeny ze zmiňovaného umělého dřeva.

V primární části výzkumu je proveden test dle ČSN EN ISO 6506-1 ověřující stálost umělého dřeva vůči měnícím se teplotám a vlhkostem v klimatické komoře během koncernové zkoušky odolnosti vůči střídavému klimatu (+80/-40) °C. Ověřována je i pevnost karosářského tmelu dle ČSN EN 1465, kterým je umělé dřevo připevněno na základní svařenec. Dále jsou zde rozebrány možné příčiny velkých tvarových a rozměrových odchylek svařenců, na základě kterých se přistupuje k navržení doporučených postupů. Závěr práce vyhodnocuje možnosti firmy, konfrontuje je s navrženými řešeními a obsahuje rekapitulaci poznatků vyplývajících z primárního výzkumu.

5 Výroba ve firmě Keri a.s.

Jak již bylo uvedeno v kapitole. 1, firma Keri a.s. se zabývá strojírenskou výrobou přípravků pro automobilový průmysl. Portfolio firmy tak tvoří přípravky typu: upínací, kontrolní, měřicí, testovací a v neposlední době s rozvojem automatizace i automatické měřicí stanice.

Pro většinu přípravků se s ohledem na hmotnost a manipulovatelnost využívá hliníkových desek, odlitků a hliníkových tyčí v kombinaci s ocelovými prvky. Ovšem v případě rámu pro klimatické zkoušky je hlavním stavebním prvkem tenkostěnný uzavřený ocelový profil o tloušťce stěny 2 mm. Volba takto slabého profilového materiálu vychází z požadavku zákazníka, kterým je co nejnižší hmotnost celého přípravku s ohledem na manipulovatelnost při jeho používání.

Hlavními typy výroby ve firmě Keri a.s. jsou, obrábění hliníku a nerezové oceli a montáž. Vše ovšem začíná ve vlastním konstrukčním oddělení, kde se spolu s CAM oddělením tvoří konstrukce optimalizované pro výrobu ve firmě. Rámy pro klimatické komory nejsou výjimkou, ovšem hlavní výroba základních konstrukcí těchto přípravků je realizována pomocí kooperace. Do firmy pak přichází svařenec z tenkostěnných uzavřených ocelových profilů zhotovený na základě dokumentace z CAD oddělení. Takto zhotovený svařenec díky síle použitého profilového materiálu trpí nedostatečnou přesností dosedových ploch. Tento stav se pak musí dodatečně řešit pomocí obrábění v CNC centru. Přesné obrábění ocelových nebo kovových polotovarů na slabostěnné konstrukci je z technologického a ekonomického hlediska téměř nemožné. Může za to nedostatečná tuhost ocelového svařence, která je pro operaci frézování velmi nevhodná. Zejména tehdy, kdy začne konstrukce vlivem vnikání nástroje do materiálu rezonovat. Rezonance obráběného svařence je velmi nežádoucí vliv, jelikož díky němu obrobená plocha vykazuje tvarové a rozměrové nepřesnosti. Při použití nižších posuvů nebo pracovních otáček nástroje však dochází k nárůstu ceny za obrobení. Z tohoto důvodu se při výrobě klima rámu přistoupilo k další výrobní operaci, jíž je k lepení umělého dřeva na místa s požadovaným přesným povrchem. Umělé dřevo je na tato místa připevněno pomocí karosářského tmelu a po jeho vytvrzení je dřevo obrobena v sestavě dle dat z CAD oddělení v CNC centru. Takto připravený polotovar pak putuje na montáž, kde je zkompletován a připraven k expedici k zákazníkovi.

V současné době ovšem není jisté, jak pevné je ukotvení umělého dřeva na základní svařovaný rám pomocí karosářského tmelu. Doposud není zjištěna ani degradace materiálu umělého dřeva vlivem zátěže v klima komoře, kde je vystaveno střídavě vysokým a nízkým teplotám. Další otázkou zůstává, zda je možné svařit základní konstrukci přesněji, optimálně s vynecháním žíhání pro odstranění pnutí v konstrukci.

5.1 Výroba přípravků pro simulaci klimatických změn

Firma obdrží od zákazníka 3D CAD data finálních dílů, které vůči sobě zaujímají přesně stanovené pozice. V těchto datech jsou přesně definovány body, ve kterých mají být jednotlivé díly podepřeny, případně upnuty. Konstruktor vytvoří 3D sestavu jednotlivých dílů, vloží do ní body zadané zákazníkem a na základě zkušeností s přípravkem podobného typu začne tvořit návrh konstrukce, který se po odsouhlasení zákazníkem předá dál do výroby. Na CAM oddělení se pro jednotlivé díly a podsestavy vytvoří obráběcí programy do CNC center, dokumentace pro svařovaný rám se předá příslušné firmě ke kooperaci, která si jednotlivé profily nařeže na jmenovité délky a dle vlastních zkušeností nastaví svářecí agregát a zvolí postup svařování celé konstrukce. Dodavatel následně celý rám nechá vyžít pro odstranění pnutí ve svarech, nalakuje a odešle do Keri a.s. k montáži. Zde se na místa s požadavkem na velkou tvarovou a rozměrovou přesnost pomocí karosářského tmelu uchytlí umělé dřevo. Takto připravená konstrukce jde po vytvrzení tmelu do CNC obráběcího stroje, kde jsou jednotlivé segmenty umělého dřeva obrobena v požadovaných tolerancích na čisté rozměry, které má přípravek mít. Následuje znovu montáž, kde jsou přidělané další části přípravku a kompletní přípravek putuje na pracoviště 3D měření, kde se musí cca 4 hodiny temperovat na teplotu 22°C, která je stanovena pro opakovatelnost měření. Měření přípravku se provádí vůči původním datům vytvořených konstruktérem na základě přijaté zakázky. Takto zkontrolovaný přípravek putuje spolu s výstupní složkou obsahující i měrové protokoly k zákazníkovi, kde slouží jako nosný prvek pro části karosérie, simulující jejich skutečné upnutí na vozidle. Přípravek i s díly je pak vystaven simulaci změn počasí v klima komoře, kde se sledují a vyhodnocují dilatace jednotlivých částí karosérie vůči sobě.

5.1.1 Skladování, příprava polotovarů a expedice

Hlavním konstrukčním prvkem v případě klima ráků je tenkostěnný uzavřený ocelový profil, který tvoří základ přípravku. Tento materiál si opatřuje dodavatel sám a do Keri a.s. dodává, jak již bylo zmíněno dříve, hotový vyžíhaný a nalakovaný rám. Strategii firmy Keri a.s. ohledně skladových položek je systém JIT (Just In Time), tedy minimalizace skladových zásob, které pro firmu znamenají uzamčený kapitál v ceně skladových položek. Firma tedy disponuje malým meziskladem pro objednané polotovary přímo na jednotlivé zakázky. Tento mezisklad je rozdělen na normalizované díly označené v jednotlivých krabičkách kanbanovými kartami a malým skladem objednaných odlitků, hliníkových desek a tyčového materiálu.

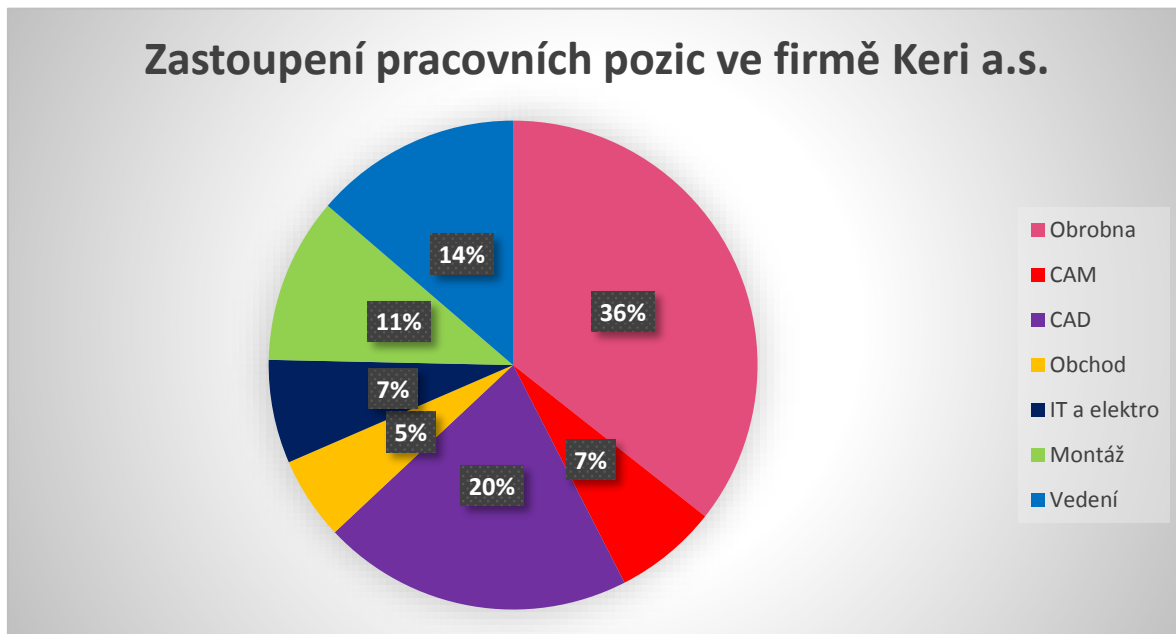
Materiál je pak vydáván na jednotlivé rozpracované zakázky podle potřeb výroby. Pro tyto účely jsou zde dva skladníci, kteří vychystávají jednotlivé položky potřebné pro konkrétní zakázku do beden označených číslem konkrétní zakázky. V případě velkých polotovarů, jakými jsou svařence z tenkostěnných profilů pro klima ráky, jsou jednotlivé skladové položky vychystány v označené bedně, která je umístěna na přepravní paletě spolu se svařencem.

Po ukončení všech výrobních operací se zkompletovaný přípravek převáží z 3D měřicího pracoviště zpět na montáž, kde je podroben zkoušce založení dílů a opakovatelnosti upnutí. Dále k němu konstruktér přidá výstupní složku. Výstupní složka obsahuje protokoly o měření, výrobní dokumentaci spolu s daty, na která byl přípravek tvořen, návod k použití a instrukce k údržbě přípravku. Přípravek je spolu se složkou zabalen dle požadavků zákazníka a odvezen do skladu, kde čeká na odvoz k zákazníkovi.

5.1.2 Kooperace s externími firmami

Firma Keri a.s. se soustředí především na obrábění hliníkových a ocelových polotovarů potřebných pro konstrukci přípravků. Dalším obráběným materiálem pak bývá umělé dřevo, konkrétně typ Ebalta 140 blue. Pro tento účel je firma vybavena několika CNC obráběcími centry, CAM oddělením, které tvoří potřebné programy pro jednotlivé stroje a druhy výrobků. Dalšími odděleními jsou konstrukce, připravující 3D modely jednotlivých přípravků, obchodní oddělení, které se stará i o průběh zakázek, nezbytnou součástí je i IT a elektro oddělení, které má na starosti zprovoznování poloautomatických a automatizovaných

přípravků. S ohledem na zastoupení pracovních pozic viz obrázek číslo 14, velikost areálu a požadavky top managementu, aby firma dále nerostla, je nezbytné, aby operace, jakými jsou například lakování a svařování přípravků, byly prováděny externě. Pro volbu externí výroby je samozřejmě rozhodujícím hlediskem cena za zhotovenou práci a její kvalita.



Obrázek 14 Graf zastoupení pracovních pozic ve firmě Keri a.s. [vlastní]

V případě svařovaných konstrukcí, sloužících jako základ pro různé druhy přípravků, včetně přepravních vozíků a základních rámců přípravků pro testování klimatických změn, jsou nejzajímavějšími dodavateli těchto polotovarů drobní živnostníci z blízkého okolí firmy Keri a.s. Dalšími kritérii pro volbu jsou například možnost otevřít 3D svařence, velmi důležitým kritériem je dodržení termínů dodávek. Konkrétně termíny dodávek jsou velmi důležité. Jak bylo zmíněno dříve, Keri a.s. praktikuje ve výrobním procesu systém JIT (Just In Time), kvůli minimalizaci skladových zásob. Většina drobných živnostníků, kteří dodávají do firmy svařence, si může dovolit konkurovat svou nízkou cenou právě díky absenci nákladů na software pro otevírání 3D dat. Tím nepřímo mírně zvyšují režii Keri a.s. která jim musí na CAD oddělení zhotovit 2D výrobní dokumentaci, potřebnou k tvorbě polotovarů a svařence. Ve velké většině pak také tito dodavatelé svařují v ochranné atmosféře čistého oxidu uhličitého a směsného oxidu uhličitého, což jim též pomáhá značně snižovat náklady na svařování, viz tabulka číslo 2 a graf na obrázku číslo 15., kde si lze povšimnout téměř trojnásobné pořizovací ceny láhve argonu oproti stejnému balení technického oxidu uhličitého. Velmi vysoká je pak cena čistého Héliu, u kterého se již dříve uvádělo, že velikost průtoku tohoto

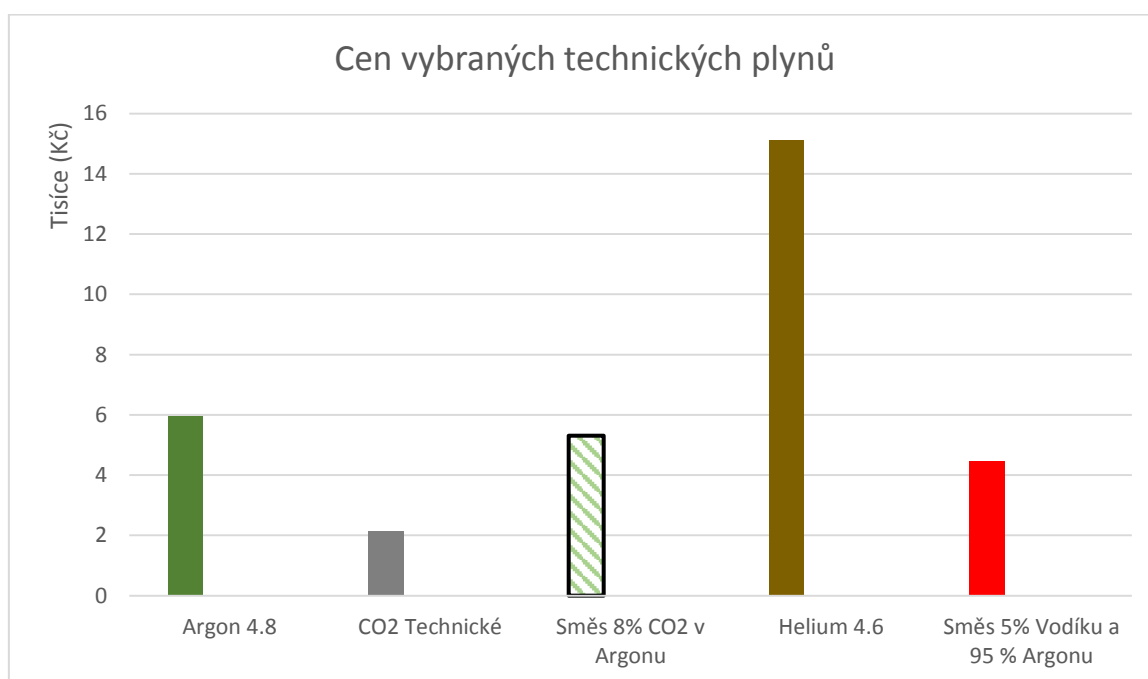
ochranného média musí být dvojnásobná oproti oxidu uhličitému, což proces svařování ještě více prodražuje.

Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, které se věnovaly problematice ochranných plynů. Svařování v oxidu uhličitém způsobuje, že je svar robustnější a tepelná zátěž okolí je poměrně velká. Dalším důležitým faktem je dříve zmiňovaná mírná oxidace svarové lázně a tím ovlivněné mechanické vlastnosti vzniklého svarového kovu.

Tabulka 2 Ceny vybraných technických plynů

Název plynu	Typ láhve	Cena za obal (Kč)
Argon 4.8	X50	5968,55
Oxid uhličitý Technický	X50	2119,86
Směs 8% ox. uhličitého v Argonu	X50	5308,00
Hélium 4.6	X50	15108,25
Směs 5% Vodíku a 95 % Argonu	X50	4446,99

Zdroj: ceník firmy airproducts, příloha 1



Obrázek 15 Graf cen vybraných technických plynů

Zdroj: ceník firmy airproducts [11], příloha 1

5.1.2.1 Žihání a lakování

Další operací zajišťovanou externě je žihání svařence pro odstranění pnutí. Za tímto účelem je svařenec převezen od výrobce do jiného závodu, kde je vyžihán. Z tohoto závodu

je po vyžhání odvezen buď do práškové nebo klasické lakovny, kde lakují mokrou barvou. Volba lakovny závisí na požadavcích zákazníka. Další cesta svařence je pak do firmy Keri a.s., kde se s ním pracuje, viz popis v předchozích kapitolách.

5.1.2.1.1 Žhání k odstranění pnutí

Žhání samo o sobě je proces tepelného zpracování sloužící k odstranění nežádoucích vlastností žhaného materiálu. Nežádoucími mohou být pnutí, jako v našem případě, dále například rekrytalizace mezi procesy tváření a snížení tvrdosti povrchové vrstvy. Žhaný materiál se ohřeje na takzvanou teplotu žhání, která je závislá na typu oceli a druhu žhání. Takto ohřátý materiál se pak nechá volně chladnout při dílenské teplotě okolního vzduchu cca 20°C.

Procesem žhání se zvyšuje stabilita svařence, odstraňují se možnosti vzniku prasklin, lomů a trhlin. Takto upravený svařenec je dále odolný vůči deformacím, které by bez vyžhání konstrukce mohly vzniknout při následném obrábění svařence.[12]

Žhání můžeme dělit na:

- **Bez překrytalizace**
 - na odstranění pnutí
 - rekrytalizační
 - protivločkové
 - na odstranění vodíku
- **S překrytalizací**
 - naměkko
 - normalizační
 - homogenizační
 - na zhrubnutí zrna
 - izotermické

Žhání ke snížení pnutí se provádí u součástí a dílů, u kterých v předešlé operaci došlo k akumulaci vnitřního napětí vlivem dočasného vnějšího tepelného ovlivnění, jakým může být obrábění s velkou třískou, obloukové svařování, odlívání kovu a tváření za studena s velkým přesunem materiálu. Žhací teplota se pak pohybuje v rozmezí 600 – 630 °C. Ohřev

na žíhací teplotu je pomalý a žíhaný materiál je vystaven této teplotě po dobu 1 – 10 hodin, kdy následuje pomalé ochlazování. [13]

5.1.2.1.2 **Vibrační žíhání**

Jedná se o poměrně levnou metodu odstranění vnitřního prnutí oproti klasickému žíhání. Důvodem, proč je tato metoda levnější, je nižší energetická náročnost. Nižší energetická náročnost této metody ve výsledku znamená i menší zátěž kladenou na životní prostředí s ohledem na procentuální získávání elektrické energie z neobnovitelných zdrojů.

Vibrační žíhání je vhodné jak pro odlitky, výkovky, tak i pro svařence. Principem vibračního žíhání je, pomocí nucených kmitů, dostat danou součást do rezonanční frekvence, při které se vnesená mechanická energie kmitů přetransformuje na pružné deformace. Vlivem těchto deformací dojde v místech s vnitřním napětím k překročení meze kluzu materiálu, to má za následek vznik plastické deformace, díky které dojde k drobnému přesunu materiálu a snížení vnitřního napětí.

Fáze kdy dojde vlivem vibrací k plastické deformaci je totožná s okamžikem, kdy se při tahové zkoušce materiálu zvyšuje zatěžující síla. Ovšem vlivem plastických deformací dochází u tvárných materiálů k tvorbě krčku a dočasnému poklesu napětí v tomto místě. [14]

Tuto metodu lze poměrně dobře praktikovat i za použití přenosného zařízení. Jedná se o kombinaci přenosného nastavitelného excentru a řídicí jednotky, která proces řídí, monitoruje a vyhodnocuje. [12]

5.1.3 **Zkouška odolnosti vůči střídavému klimatu (+80/-40) °C**

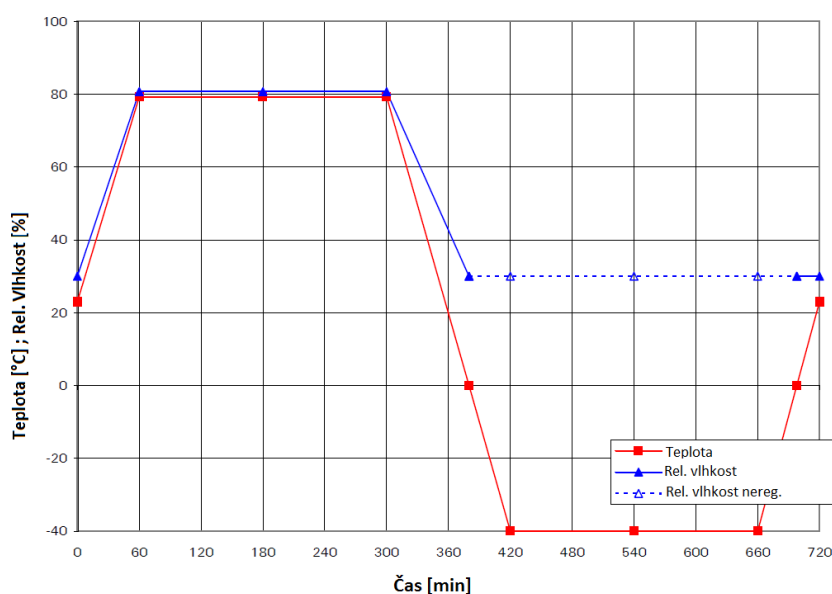
Tato specifická zkouška má za úkol otestovat vlivy životního prostředí (vysoká teplota okolí/nízká teplota okolí) na testované jednotky, kterými mohou být kupříkladu součásti v motorovém prostoru, přední kapota, či okolí pátých dveří. Chování těchto částí se pozoruje v klimatické komoře, kde dochází k cyklickému simulování změn počasí. Hlavními proměnnými jsou zde teplota a vlhkost. Na testovaných sestavách či jednotlivých dílech se zkoumá náchylnost na trhliny, deformace, oddělování kompozitních materiálů a vzájemná interakce v sestavách. Cílem těchto testů je odhalení problémových míst testovaných dílů ve zkráceném časovém úseku oproti reálnému stavu. Tento způsob zkoušení vyžaduje nepřetržitý provoz.

Jak vyplývá z nadpisu, teplotní cyklus je v rozmezí od +80°C do -40°C. Teplota v klimatické komoře by měla být po celou dobu zkoušení regulována s tolerancí $\pm 2^\circ\text{C}$. Pro relativní vlhkost uvnitř klimatické komory pak norma předepisuje toleranci $\pm 5\%$. Před založením zkušebních vzorků do klimatické komory musí být komora vytemperována na teplotu 23°C s relativní vlhkostí vzduchu 30%. Důležitou fází pak je udržet požadovanou teplotu a vlhkost ve stanovených tolerancích po nařízenou dobu. Fáze ohřevu a chlazení vnitřního prostoru komory nejsou normou stanoveny a záleží pouze na výkonnosti klimatické komory. [15]

V konkrétním případě využití klimatické komory ve firmě Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o. v Liberci se skládá jeden testovací cyklus (12 hodin = 720 minut viz obrázek číslo 16) z následujících úseků změn teploty a relativní vlhkosti. [15]

Jeden cyklus

- Ohřev na teplotu +80°C při 80% relativní vlhkosti **(60 minut)**
- Výdrž při teplotě +80°C a 80% relativní vlhkosti **(240 minut)**
- Ochlazování na -40°C; do teploty 0°C je relativní vlhkost cca 30% pod teplotu 0°C již není vlhkost dále regulována. (S ohledem na různá zařízení je možné přestat regulovat relativní vlhkost již od +10°C. **(120 minut)**
- Výdrž při -40°C bez regulace relativní vlhkosti **(240 minut)**
- Ohřev na +23°C, od teploty 0°C je relativní vlhkost opět regulována, a to na hodnotu 30%. **(60 minut)**



Obrázek 16 Graf jednoho cyklu v klimatické komoře [15]

6 Ověření vhodnosti stávajícího řešení

Vzhledem k dříve popisovaným okolnostem a nutnosti mít na svařenci přesné obráběné plochy je velmi favorizovaným řešením lepení umělého dřeva na lakovaný tenkostěnný svařenec pomocí karosářského tmelu. S ohledem na minimalizaci nežádoucích vlivů vzniklých svařováním, kterými jsou hlavně tvarové nepřesnosti, se u těchto přípravků pro klimatické testy přistoupilo k tvorbě jednotlivých svařených podsestav, které jsou na základní rám přišroubovány. Ovšem tvorba podsestav, stejně jako lepení umělého dřeva, proces výroby přípravku prodražuje.

V této kapitole se zaměříme především na testování karosářského tmelu, který slouží jako lepidlo pro upevňování bloků umělého dřeva na svařenou konstrukci. A testování samotného umělého dřeva, které je využíváno jako náhrada za kovový materiál z důvodu snazšího obrábění v sestavě. Oba tyto důvody již byly popsány blíže v předešlých kapitolách.

Důvodem k použití umělého dřeva je již dříve popisovaný problém s nedostatečnou přesností svařence, který je na základě požadavků zákazníka vyráběn z tenkostěnných, ocelových, uzavřených profilů. Obrábění případných ocelových nebo hliníkových dosedových ploch na tomto svařenci pak není, s ohledem na rezonanci celé konstrukce vlivem řezných podmínek, možné, a proto se přistupuje k použití lépe obrobitelného materiálu jakým je v současné době umělé dřevo (Ebalta 140 blue). Konkrétní testy jsou blíže popsány v následujících kapitolách, ve kterých je provedeno i vyhodnocení naměřených výsledků.

Dalšími aspekty pro použití umělého dřeva a karosářského tmelu byla i série předpokladů o vhodnosti zvolených materiálů. Umělé dřevo je poměrně dobře obrobitelné, používaný typ Ebalta 140, je pro svou otěruvzdornost a tvarovou stálost využíván jako materiál k tvorbě jader, tudíž by mohl být vhodný i pro použití při zkouškách proměnlivým klimatem. Karosářský tmel je využíván na opravy karosérií a musí odolávat klimatickým změnám, s ohledem na počáteční pevnost po vytvrzení, která je dostačující pro to, aby byl využit jako lepidlo. K ověření vhodnosti tohoto řešení doposud sloužil fakt, že na tyto úpravy dosedových ploch doposud nepřišla ze strany zákazníka žádná reklamáce.

Vhodnější alternativou oproti karosářskému tmelu by mohla být aplikace lepidla vhodného pro tento druh použití. Lepení se řadí do oblasti nerozebíratelných spojů, kdy je možné spojovat dva různé materiály pomocí vhodného a k tomu určeného lepidla.

6.1 Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav dle ČSN EN 1465

Norma ČSN EN 1465 popisuje metodu, jak stanovit pevnost ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaného spoje vytvořeného pomocí lepidla. V této diplomové práci byla tato zkouška využita pro porovnání pevnosti karosářského tmelu zatíženého cykly v klimatické komoře a tmelu, který těmto cyklům vystaven nebyl. Níže popsaná zkouška slouží k posouzení vhodnosti karosářského tmelu jako lepidla sloužícího k připevnění umělého dřeva na přípravky, které se využívají k připevnění zkoušených dílů v klimatické komoře.

Podstatou zkoušky je zjistit maximální smykové namáhání v jednoduchém lepeném přeplátovaném spoji. Zkoušený přeplátovaný spoj je zatěžován tahovou silou rovnoběžnou s plochou lepeného spoje a hlavním rozměrem pomocného zkušební tělesa.

Zkouška by měla být realizována pomocí univerzálního trhacího stroje 1. třídy s dostatečně krátkou odezvou, aby nedošlo k ovlivnění měřené síly v okamžiku přetržení spoje.

Zkušební pomocná tělesa (adherenty) musí tvarem a svými rozměry vyhovovat specifikaci v normě ČSN EN 1465, kde je doporučena délka přeplátování $12,5 \pm 0,25$ mm. Tyto spoje pak mohou být provedeny na samostatných vzorcích, zkušebních panelech s drážkami nebo bez drážek. Za účelem vytvoření optimálního lepeného spoje jsou adherenty v místech, kde bude nanášeno zkoušené lepidlo (karosářský tmel), dodatečně upraveny. Tuto úpravu stanovuje výrobce lepidla, pokud není dána jím, je třeba zmíněnou úpravu adherentů zanést do protokolu z měření. Během vlastní tvorby zkušebních vzorků je třeba věnovat pozornost rovnoměrnosti rozložení lepidla ve spoji, rovnoběžnosti adherentů a dodržení optimální vrstvy lepidla, které bude zkoušeno. Minimální počet zkušebních těles by neměl klesnout pod pět kusů, maximální počet vzorků je volen na základě požadavku směrem k přesnosti měření.

Zkouška je, jak již bylo zmíněno dříve, prováděna na univerzálním trhacím přístroji. Adherenty tvořící přeplátovaný spoj jsou založeny symetricky s vyrovnávacími podložkami do čelistí trhacího stroje. Vzdálenost obou čelistí trhacího stroje by pak měla na obou stranách vzorku činit 50 ± 1 mm od konce přeplátovaného spoje. Vyrovnávací podložky slouží

k nastavení vzorku vůči čelistem tak, aby vznikající zatěžující síla působila v rovině lepeného spoje. Průměrná doba, za jakou by mělo dojít k porušení spoje, by se měla pohybovat v časovém rozmezí 65 ± 20 s. Tomu je třeba přizpůsobit rychlost posuvu příčnicku s čelistmi, vůči pevně uchyceným čelistem. Nárůst tahové síly musí být konstantní. Nejvyšší zaznamenaná síla během zatěžování se uvede jako maximální síla potřebná k přetržení lepeného spoje. V případě porušení jednoho ze dvou adherentů se výsledky zkoušky nezaznamenávají.

Výsledky zaznamenané z průběhů všech zkoušek jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr a variační koeficient síly při přetržení v newtonech nebo jako smykové napětí v megapascalch. Smykové napětí je vypočteno z podílu maximální zatěžující síly v newtonech na smykovou plochu v milimetrech čtverečních. [16]

6.2 Zkouška tvrdosti podle Brinella – část 1: Zkušební metoda dle:

ČSN EN ISO 6506-1

Norma ČSN EN ISO 6506-1 je platná pro zkušební těleso (kuličku) z tvrdokovu a do maximální tvrdosti 650 HBW. Podle výše uvedené normy bude ověřována tvrdost zkušebních vzorků z umělého dřeva. Jedna část vzorků byla vystavena vlivům v klimatické komoře a druhá část vzorků nikoli. Výsledkem tohoto porovnání bude posouzení vhodnosti daného typu umělého dřeva, zda je vhodné k použití na dosedové plochy u přípravku používaného v klimatické komoře.

Principem zkoušky tvrdosti podle Brinella je zatlačení zkušebního tělesa do povrchu zkoušeného tělesa, kdy se měří na sebe kolmé průměry vtisku tohoto tělesa po odlehčení. Tvrdost je pak podílem zkušebního zatížení vůči ploše vtisku. U této zkoušky se předpokládá, že si vtisk zachovává tvar koule. Vnikacím tělesem je leštěná tvrdokovová kulička blíže specifikovaná v ISO 6506-2. Zkušební zařízení musí být schopno vyvinout přesně stanovené zatížení nebo zatížení v rozsahu od 9,807 N do 29,42 kN.

Zkouška je prováděna na tělese, které má hladký rovný povrch bez nečistot, mazadel a dalších cizích látek. Povrch zkušebního tělesa musí být upraven tak, aby umožnil přesné měření vtisku. Ten musí být upraven tak, aby bylo docíleno optimálního povrchu bez vyvolání jakýchkoli materiálových změn, jakými může být deformační vytvrzení a teplotní ovlivnění. Tloušťka zkušebního tělesa musí dosahovat minimálně osminásobku hloubky

vtisku zkušebního tělesa. Případná deformace na zadní straně zkušebního tělesa proti zkušebnímu vtisku indikuje jeho nedostatečnou tloušťku. Zkušební zatížení se volí tak, aby průměr výsledného vtisku ležel v rozmezí $0,24D$ až $0,6D$. Průměr zkušební kuličky je volen s ohledem na maximální možný vtisk, aby se minimalizovala chyba při odečítání hodnoty průměru vtisku. Přednostně by měla být použita kulička o průměru 10 mm, pokud si to vzhledem k tloušťce zkoušeného tělesa lze dovolit. Zkoušené těleso musí být umístěno na tuhé podpěře dostatečně pevně, aby vlivem vnikání zkušební kuličky nedošlo k jeho posunu. Zkušební tělísko se uvede do kontaktu s povrchem zkoušeného tělesa v kolmém směru. Následně je zkušební tělísko lineárně zatěžováno do předepsané hodnoty zkušebního napětí. Doba lineárního zatěžování zkušebního tělíska by měla být v rozmezí 2 až 8 s. Výdrž na maximálním zatížení by měla být v rozmezí 10 až 15 s. V případě měření tvrdosti materiálů vyžadujících delší dobu maximálního zatížení musí být tato doba dodržena s přesností ± 2 s. Střed průměru každého vtisku od okraje zkoušeného tělesa musí být minimálně 2,5 násobek středního průměru vtisku. Jak již bylo uvedeno dříve, průměr vtisku se měří ve dvou na sebe kolmých směrech. Pro stanovení požadované tvrdosti je použit aritmetický průměr těchto dvou měření a výpočetní tabulky. [17]

6.3 Ověření pevnostní stálosti karosářského tmelu

K ověření stálosti karosářského tmelu Body Soft 211 používaného na rámech do klimatické komory jako fixačního prvku, pro upevnění bloků umělého dřeva na rám byla zvolena zkouška pevnosti ve smyku dle ČSN EN 1465, jejíž specifikace byla ve zkratce popsána již dříve.

Za tímto účelem bylo vytvořeno 20 přeplátovaných lepených polotovarů dle ČSN EN 1465. Osm těchto vzorků bylo ponecháno v laboratoři při běžné vlhkosti a teplotě laboratoře $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ a zbylých 12 vzorků bylo odesláno do liberecké Magny, kde z důvodu velkého vytížení klimatické komory a nutnosti vzorky umístit v komoře, tak aby nebránily průběhu měření probíhajícím měřením, byly vzorky vystaveny pouze jednomu měřicímu cyklu z plánovaných čtyř. Více o průběhu cyklů v klimatické komoře obsahuje kapitola 5.1.3. Vzorků do klimatické komory bylo vytvořeno 12 záměrně. Za účelem zachování dostatečného počtu vzorků vhodných k měření, byly s ohledem na možné nežádoucí skutečnosti vytvořeny čtyři vzorky navíc, které měli případné nenadále události pokrýt.

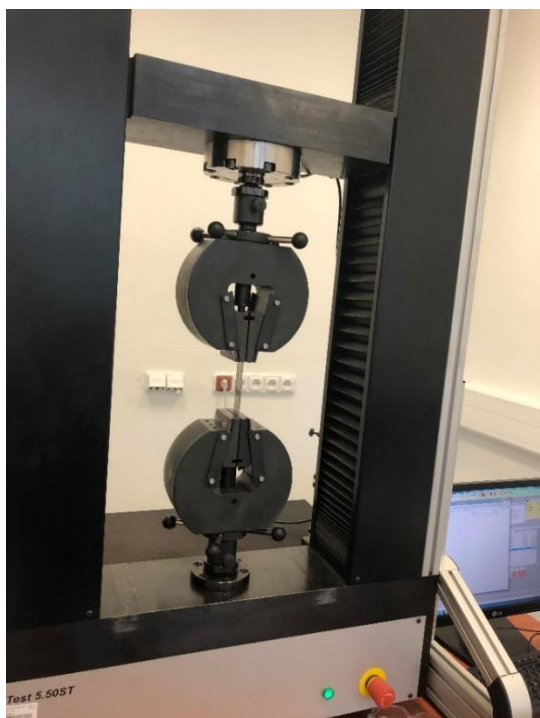
Testováno tedy bylo osm neovlivněných vzorků karosářského tmelu a osm vzorků, které byly vystaveny měření v klimatické komoře.

6.3.1 Metodika měření

Série měření byla uskutečněna na univerzálním zkušebním stroji LabTest 5.50ST od firmy Labor Tech, osazeného měřícím senzorem KAF 1205665 od firmy Angewandte System Technik, který je schopen měřit tahovou sílu do 50 kN. Teplota v laboratoři byla po celou dobu měření 22°C a relativní vlhkost v místnosti se vlivem deštivého počasí pohybovala okolo 40 % vodních par ve vzduchu. Pro testování vzorků dle ČSN EN 1465 byla zvolena rychlost posuvu příčnicku univerzálního zkušebního stroje 2mm.min⁻¹.

Před vlastním měřením bylo provedeno spuštění zkušebního stroje, který se během nastavování ovládacího a řídicího software stihl zahřát a došlo tak k jeho ustálení. Následně se přešlo k nastavení pohyblivých upínacích čelistí do optimální vzdálenosti vůči nepohyblivým čelistem. Toto nastavení proběhlo s ohledem na délku přeplátovaných vzorků, viz obrázek číslo 17.

Vzorky byly zakládány do čelistí vždy stejně, to znamená v přibližně stejné vzdálenosti od kraje čelistí, tak aby se přeplátovaný lepený spoj nacházel vždy ve střední vzdálenosti mezi čelistmi a horní plech tvořící přeplátovaný spoj směřoval vždy svou horní stranou k levému vedení pohyblivého příčnicku, viz obrázek číslo 17. S ohledem na maximální opakovatelnost měření byl po každém zkušebním měření pohyblivý příčnick uveden do výchozí polohy, která byla nastavena na začátku měření a vždy proběhlo nulování hodnot vzdáleností a zatěžující síly.



Obrázek 17 Založení vzorku v univerzálním měřícím stroji LabTest 5.50ST [vlastní]

6.3.2 Měření neovlivněných vzorků karosářského tmelu

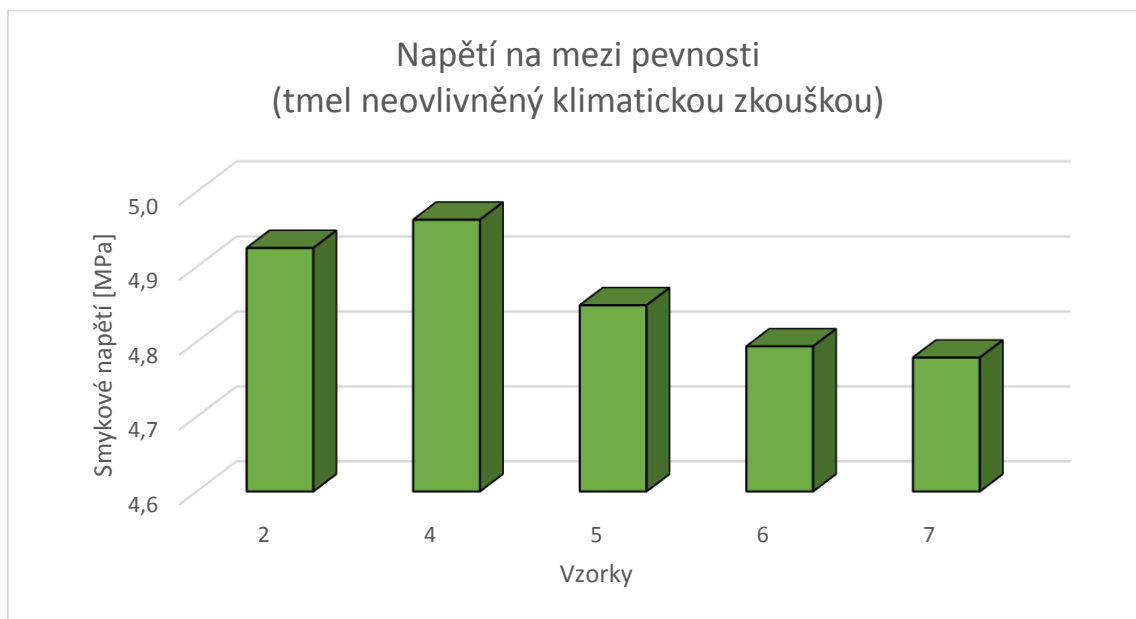
Na obrázku číslo 18 jsou vzorky po zkoušce dle ČSN EN 1465 označené jako 0, tedy vzorky, které byly ponechány v laboratoři, a k degradaci spoje mohlo dojít pouze samotným stárnutím karosářského tmelu. Vzorek číslo 3 a 8 byl vytvořen pomocí karosářského tmelu, který byl téměř na hranici zpracovatelnosti. To znamená, že tento vzorek byl zhotoven na hraně 4 minut od aplikace tvrdidla do směsi tmelu. Tato hodnota byla výrobcem uvedena jako maximální hranice zpracovatelnosti tmelu. Vzorky byly vytvořeny za účelem zjištění vlastností takového spoje v případě, že tato situace nastane na dílně při lepení umělého dřeva na lakovanou ocelovou konstrukci.



Obrázek 18 Vzorky tmelu neovlivněné klimatickou komorou po zkoušce dle ČSN EN 1465 [vlastní]

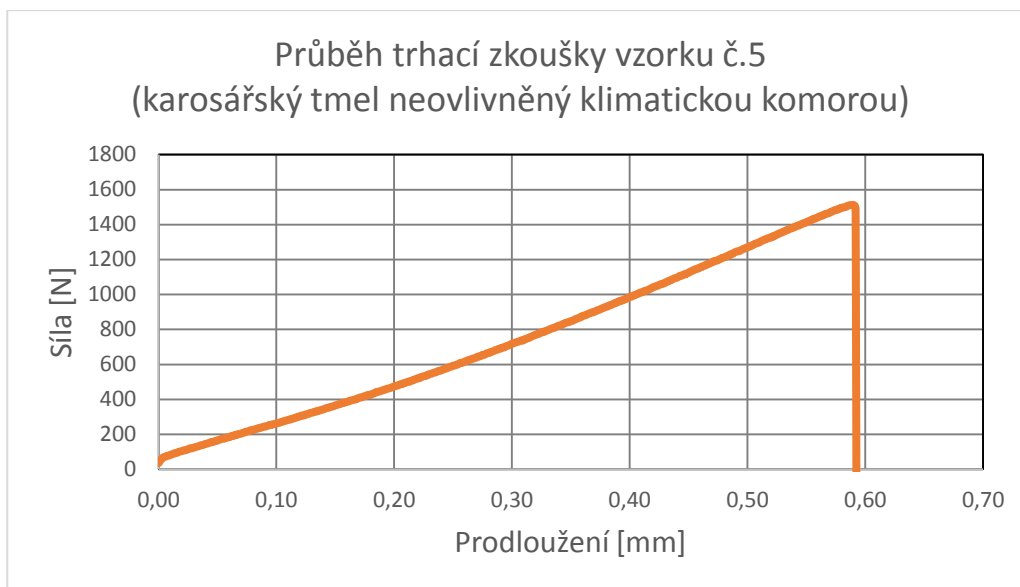
U testovaných vzorků na obrázku 18 se vyskytovalo adhezně kohezní poškození vrstvy tmelu, kdy vyhodnocení těchto ploch vycházelo z normy ISO 10365. U vzorků karosářského tmelu 3 a 8 se potvrdil předpoklad, že jejich pevnost bude ovlivněna aplikací na adherenty v době hraniční s dobou zpracovatelnosti tmelu. U vzorku číslo 3 a 8 byla vypočtena průměrná hodnota smykového napětí na mezi pevnosti $1,34 \pm 0,91$ MPa. Výsledné hodnoty testovaných vzorků tmelu, kdy byly přeplátované spoje tvořeny na hranici zpracovatelnosti, vypovídají o velké rychlosti počátečního vytvrzování. Svou roli zde bude hrát i přesný čas od doby, kdy se začalo s mísením aktivátoru s tmelem a jejich dokonalé promísení. U vzorku číslo 1 došlo vlivem nešetrné manipulace při zakládání do čelistí univerzálního zkušebního stroje LabTest 5.50ST k poškození a proto nebyl zařazen do dalších porovnávacích výpočtů.

Vypočtené hodnoty smykových napětí u zbylých vzorků, neovlivněných zkouškou v klimatické komoře, jsou vyneseny v grafu na obrázku číslo 19.



Obrázek 19 Graf Hodnot smykového napětí na mezi pevnosti u vzorků neovlivněných klimatickou komorou [vlastní, příloha číslo 4]

Průměrná hodnota smykového napětí na mezi pevnosti ze zbylých vzorků tedy činí $4,862 \pm 0,072$ MPa. Tato hodnota bude dále využita jako etalonová hodnota pro porovnání s ovlivněnými vzorky tmelu. Na následujícím obrázku číslo 20 je znázorněn průběh tahové zkoušky u vzorku číslo 5, který je se svou hodnotou smykového napětí na mezi pevnosti 4,848 MPa zvolen jako vzorovým průběhem pro porovnání s průběhem zkoušek u ovlivněných vzorků.



Obrázek 20 Graf průběhu zkoušky dle ČSN EN 1465 u vzorku číslo 5 [vlastní, příloha číslo 4]

V grafu na obrázku číslo 20 je jasně viditelná lineární závislost zatěžující síly a prodloužení vzorku číslo 5, který nebyl ovlivněn klimatickou zkouškou.

6.3.3 Měření vzorků karosářského tmelu ovlivněných klimatickou komorou

Na následujícím obrázku číslo 21 se nachází 12 vzorků po trhací zkoušce dle ČSN EN 1465. Jedná se o sérii vzorků, které byly umístěny v klimatické komoře po dobu jednoho testování, které bylo popsáno v předešlé kapitole. Typ poškození lepených ploch byl identický jako u vzorků, které klimatickou zkouškou ovlivněny nebyly. I v tomto případě se jednalo o adhezně kohezní poškození viz ISO 10365.



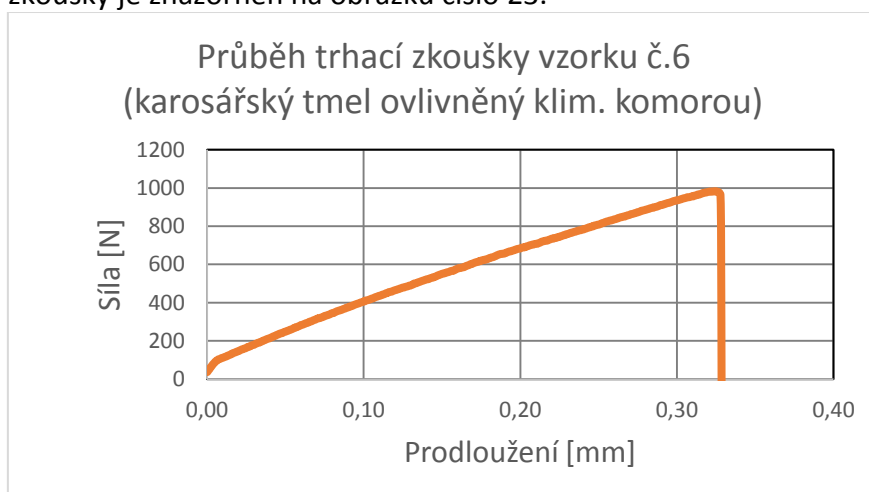
Obrázek 21 Vzorky tmelu ovlivněné klimatickou komorou po zkoušce dle ČSN EN 1465 [vlastní]

Mezi vzorky ovlivněnými průběhem zkoušky v klimatické komoře je u vzorku číslo 5 patrná mnohem nižší hodnota maximálního smykového napětí, jako u neovlivněných vzorků číslo 3 a 8. I v tomto případě se jedná o spoj vytvořený pomocí tmelu, u kterého již pokročil proces vytvrzení na tolik, že nebyl vhodný k aplikaci. Zjištěná hodnota smykového napětí na mezi pevnosti byla u vzorku číslo 5 pouhých 0,88 MPa. Opět je tato hodnota pouze orientační, jelikož nelze přesně stanovit, o jak pokročilý proces vytvrzování se ve chvíli tvorby přeplátovaného spoje jednalo. Na základě vypočteného mediánu, z vypočtených hodnot smykového napětí na mezi pevnosti zbylých vzorků, byl zvolen stejný počet ovlivněných vzorků klimatickou zkouškou. Medián pro vzorky ovlivněné klimatickou zkouškou vyšel 3,141 MPa. Na základě této hodnoty byly pro porovnání zvoleny vzorky 6,7,9,11,12 viz obrázek číslo 22, které ležely nejbližší mediánu. Velikost souboru zvolených ovlivněných vzorků se odvíjí od velikosti souboru neovlivněných vzorků, aby bylo možné tato data vhodně porovnat.



Obrázek 22 Graf smykového napětí na mezi pevnosti u vzorků 1 až 12 ovlivněných klim. komorou [vlastní, příloha číslo 5]

Průměrná hodnota smykového napětí na mezi pevnosti z vybraných vzorků má hodnotu $3,117 \pm 0,026$ MPa. Tato průměrná hodnota bude brána jako vzorová při porovnání s průměrnou hodnotou neovlivněných vzorků. Jako průměrný vzorek byl zvolen vzorek číslo 7, jelikož svou hodnotou nejvíce vyhovoval vypočtenému mediánu, průběh této trhací zkoušky je znázorněn na obrázku číslo 23.



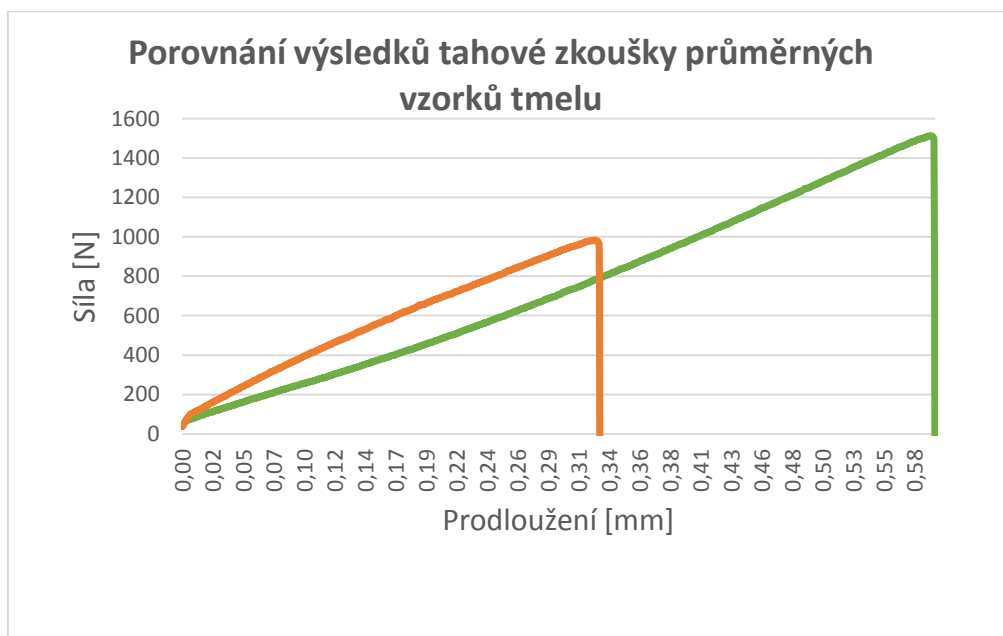
Obrázek 23 Graf průběhu zkoušky dle ČSN EN 1465 u vzorku číslo 7 [vlastní, příloha číslo 5]

V grafu na obrázku číslo 23 si můžeme povšimnout téměř totožné závislosti zatěžující síly na prodloužení jako na obrázku číslo 20, ovšem s menšími dosaženými hodnotami maximální zatěžující síly a celkového prodloužení.

6.3.4 Vyhodnocení měření karosářského tmelu

U obou sad vzorků karosářského tmelu nedošlo vlivem zatěžování, při statické zkoušce tahem k zásadním odchylkám v závislosti prodloužení na zatěžující síle. Pro porovnání nám slouží dvojice vzorků vybraná v předchozí kapitole. Vzorky byly zvoleny pro

svou blízkost k průměrné hodnotě každé testované sady. Porovnání těchto vzorků v jednom grafu na obrázku 24 nám slouží k lepšímu pochopení rozdílu mezi tmelem ovlivněným klimatickou zkouškou proměnlivého klimatu a tmelem, který touto zkouškou neprošel. V tomto grafu si můžeme povšimnout prakticky stejného průběhu závislosti prodloužení na zatěžující síle, kdy je tento průběh v obou případech téměř lineární.



Obrázek 24 Grafické porovnání závislosti prodloužení na síle u vzorků vyhodnocených jako průměrné [vlastní, příloha číslo 4 a5]

Při porovnání obou sad vzorků karosářského tmelu pomocí dvou-výběrového F-testu pro rozptyl, jehož výsledky jsou v následující tabulce číslo 3, zamítáme nulovou hypotézu $H_0: p < 0,05$ „statisticky významný rozdíl“. Rozptyly neovlivněných a vzorků ovlivněným zkouškou střídavého klimatu vzorků nejsou shodné a je zde tedy statisticky významný rozdíl mezi vzorky.

Tabulka 3 Dvou-výběrový F-test pro rozptyl

	A	B
Střední hodnota	4,861868	3,116656
Rozptyl	0,006453	0,000865
Pozorování	5	5
Rozdíl	4	4
F	7,458878	
P(F<=f) (1)	0,038623	
F (1)	6,388233	

A – vzorky karosářského tmelu neovlivněné zkouškou střídavého klimatu

B – vzorky karosářského tmelu ovlivněné zkouškou střídavého klimatu

[vlastní, příloha číslo 4 a 5]

Dále byl proveden dvou-výběrový t-test, viz tabulka číslo 4, s rovností rozptylů pro ověření závislosti výsledků jednotlivých sad zkušebních vzorků. Na základě F-testu vyšla statisticky významná závislost vypočtených smykových napětí na mezi pevnosti mezi vzorky A a B. Dvou-výběrovým t-testem bylo prokázáno, že se hodnoty těchto napětí u vzorků A výrazně liší od vzorků B. Statisticky významnou závislost obou sad vzorků nám dvou-výběrový t-test potvrdil. Střední hodnota smykového napětí na mezi pevnosti u vzorků A je 4,8619 MPa, vzorků B 3,1166 MPa.

Tabulka 4 Dvou-výběrový t-test s rovností rozptylů

	A	B
Stř. hodnota	4,861868	3,116656
Rozptyl	0,006453	0,000865
Porovnání	5	5
Společný rozptyl	0,003659	
Hyp. Rozdíl středních hodnot	0	
Rozdíl	8	
t Stat	45,61712	
P(T<=t) (1)	2,95E-11	
t krit (1)	1,859548	
P(T<=t) (2)	5,89E-11	
t krit (2)	2,306004	

A – vzorky karosářského tmelu neovlivněné zkouškou střídavého klimatu

B – vzorky karosářského tmelu ovlivněné zkouškou střídavého klimatu

[vlastní, příloha číslo 4 a 5]

Závislost prodloužení na zatěžující síle obou testovaných sad by mohla být v obou případech vyhodnocena, jako lineární viz obr. číslo 24 Na tomto obrázku si lze povšimnout rozdílu velikosti průměrného prodloužení, kdy u ovlivněného vzorku je prodloužení téměř poloviční cca 0,34 mm oproti cca 0,59 mm u průměrného neovlivněného spoje. Maximální smyková síla, kterou ovlivněný spoj dokázal průměrně přenést, byla také menší. Z grafu lze vyčíst, že je hodnota této síly oproti síle na neovlivněném spoji menší o 500 N, což je téměř o třetinu méně.

Na základě výsledků z tahové zkoušky lepeného spoje prováděné dle ČSN EN 1465 lze usoudit, že karosářský tmel, používaný jako lepidlo k připevňování umělého dřeva na svařence přípravků používaných v klimatických komorách, již po první zkoušce v komoře ztrácí jednu třetinu pevnosti ve smyku. S přihlédnutím k menšímu prodloužení ovlivněného vzorku lze usoudit, že ztráta pevnosti ve smyku je způsobena zkřehnutím karosářského tmelu vlivem střídavého klimatu v komoře. Toto zkřehnutí tmelu lze pokládat za přirozené stárnutí materiálu, které bylo pouze urychleno střídavými cykly v klimatické komoře, které u zákazníka slouží k urychlení stárnutí jednotlivých zkoušených dílů, jak již bylo popsáno dříve.

Vzhledem k takto velkému poklesu původních vlastností tmelu již po jednom zkušebním cyklu v klimatické komoře stojí za zvážení, zda je tento způsob připevnění umělého dřeva na svařovanou konstrukci vhodný. Pro přesnější ověření vhodnosti karosářského tmelu jako lepidla bude třeba zhotovit více sad vzorků a vystavit je většímu množství testů v klimatické komoře. Na základě provedených vyhodnocení měření malého počtu vzorků se ovšem potvrdilo snížení mechanických vlastností karosářského tmelu vlivem používání v klimatické komoře během zkoušek střídavým klimatem.

Dle nynějších výsledků lze předpokládat, že se vlastnosti tmelu po další zkoušce v klimatické komoře opět zhorší. Bohužel se nedá odhadnout, k jak velké degradaci tmelu dojde. Může se stát, že takto poškozený tmel bude velmi náchylný na případné nárazy během zástavby dílů na přípravek a dojde k odlomení přesné dosedové plochy. Na základě současných informací ovšem nelze stanovit, zda k takovému stavu dojde, a pokud ano, tak po jaké době dojde k neúnosné degradaci tmelu, která zapříčiní další nepoužitelnost přípravku.

6.4 Ověření stálosti Ebalty 140 pomocí zkoušky tvrdosti

Pro ověření stálosti umělého dřeva vystaveného proměnlivému klimatu v klimatické komoře byla zvolena zkouška tvrdosti podle Brinella dle ČSN EN ISO 6506-1, které se tato práce věnovala již dříve.

Za účelem této zkoušky bylo, z odřezků používaného materiálu Ebalta 140, vytvořeno celkem 20 zkušebních vzorků. Do vzorků byly na nefunkční plochy vyraženy číslice 1 a 2. Polovina vzorků označená čísly 1 byla vystavena jedné kompletní zkoušce proměnlivých klimatických podmínek v klimatické komoře spolu se vzorky karosářského tmelu. Podrobný popis zkoušky byl proveden v dřívější kapitole. Druhá polovina vzorků označená číslicí 2 byla ponechána v kancelářské místnosti s průměrnou denní teplotou okolo 22°C.

Testování bylo podrobena 10 vzorků, jež za sebou měly cyklus v klimatické komoře a 10 vzorků, které byly ponechány v kanceláři.

6.4.1 Metodika měření

Veškerá měření byla provedena na stolním tvrdoměru DuraJet G5 osazeného kuličkou z tvrdokovu o průměru 5mm. Zatěžující síla byla nastavená na hodnotu 961N. Po zapnutí tvrdoměru byla nastavena požadovaná síla zatížení a nastaven první testovaný vzorek umělého dřeva.

Každý ze vzorků na sobě měl dvě rovnoběžné a jemně ofrézované plochy se stejnou drsností povrchu. Povrchy byly očištěné, odmaštěné a nepoškozené.

Vzorky umělého dřeva byly do tvrdoměru založeny vždy tak, že jedna jemně obrobená plocha byla směrem k opěrné podložce a druhá rovnoběžná s první, směrem ke zkušebnímu tělesu viz obrázek číslo 25. Po stisknutí tlačítka pro přiblížení se ke vzorku bylo započato vlastní měření, které již bylo plně automatické.

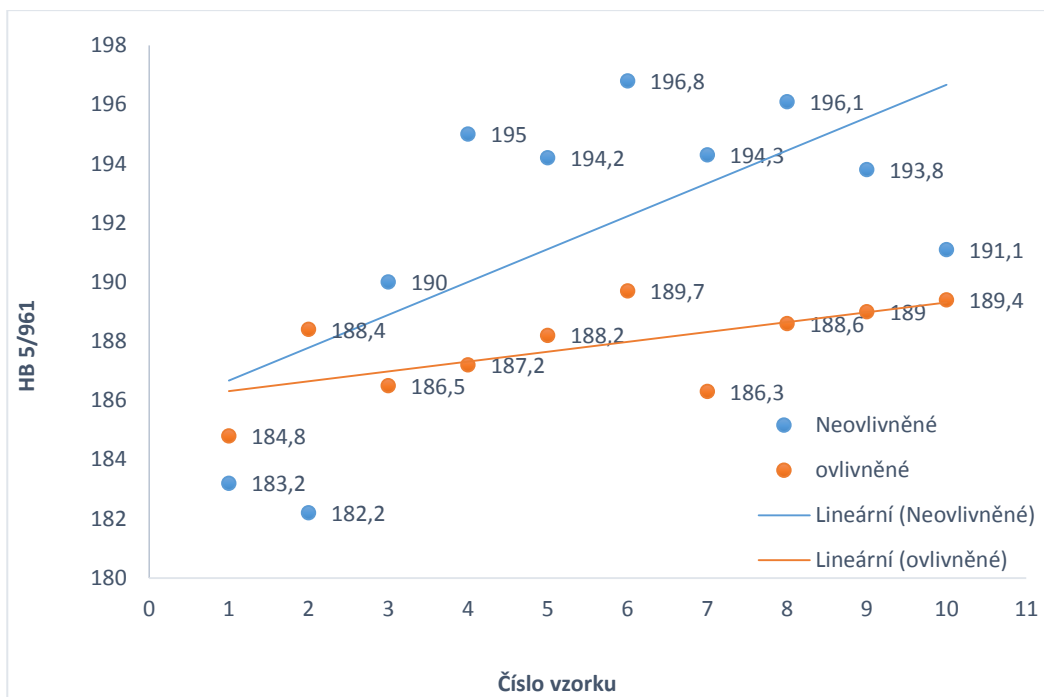


Obrázek 25 Měření tvrdosti HB 5/961 na přístroji DuraJet G5 [vlastní]

6.4.2 Měření neovlivněných vzorků umělého dřeva

Jednalo se o vzorky s číselným označením 2, které byly ponechány v kanceláři a nebyly podrobeny zkoušce proměnlivého klimatu. Sada vzorků byla vkládána od nejsilnějších po nejslabší kousky do tvrdoměru.

Při pohledu na vynesená data v grafu na obrázku číslo 26 si můžeme povšimnout odchylek v modře označených datech neovlivněných vzorků. Konkrétně hodnoty 1 a 2 vzorku jsou velmi odchýleny a zásadně ovlivňují průběh trendu. Vzorky 1 a 2 byly pro správnost měřeny třikrát, ovšem s obdobným výsledkem. Lze předpokládat, že se jednalo výrazně starší část odřezků, ze kterých byly vzorky tvořeny. Po vyřazení této dvojice dat se pohybuje průměrná hodnota tvrdosti u neovlivněného vzorku na hodnotě $193,913 \pm 4,89$ HB 5/961.



Obrázek 26 Porovnání výsledků měření tvrdosti u ovlivněné a neovlivněné Ebalty 140 klim. Komorou [příloha číslo 6]

6.4.3 Měření ovlivněných vzorků umělého dřeva

Ovlivněné vzorky byly označeny číslicí 1 a jednalo se o vzorky, které absolvovaly zkušební cyklus v klimatické komoře. Stejně jako u neovlivněných na sobě měly dvě rovnoběžné obrobené plochy vhodné k měření tvrdosti. Vzorky byly vkládány do tvrdoměru též od nejtlustšího vzorku po nejslabší, aby byla dodržena stejná metodika a dal se porovnat rozdíl v síle materiálu.

V grafu na obrázku číslo 26 jsou data ovlivněných vzorků oranžová. Z těchto dat nijak výrazně nevybočuje ani jeden ze vzorků. I první dva vzorky, které byly svou mocností totožné s neovlivněnými, jsou poměrně blízko trendu a lze je počítat jako relevantní data. Průměrná hodnota u ovlivněných vzorků se pohybuje na hodnotě $187,81 \pm 1,49$ HB 5/961.

6.4.4 Vyhodnocení naměřených dat

Z naměřených hodnot a jejich trendu vyplývá, že byla hodnota tvrdosti mírně závislá i na různé tloušťce vzorků. Při porovnání průměrných hodnot tvrdosti obou sad bylo zjištěno, že u umělého dřeva dochází vlivem zkušebního cyklu k pevnostní degradaci. Tato degradace však pro použití tohoto materiálu na přípravcích nemá zásadní vliv a dříve, než by došlo k vážnému znehodnocení, bude přípravek zastaralý a vyřazený.

Za účelem porovnání závislosti mezi vzorky umělého dřeva ovlivněného klimatickou komorou označenými číslem 1 a vzorky neovlivněnými označenými číslem 2 byl proveden dvou-výběrový F-test pro rozptyl, viz tabulka číslo 5. Na základě provedeného F-testu zamítáme nulovou hypotézu $H_0: p < 0,05$ „statisticky významný rozdíl“. Z výsledků vyplývá významná statistická závislost naměřené tvrdosti HB 5/961 mezi vzorky číslo 1 a 2.

Tabulka 5 Dvou-výběrový F-test pro rozptyl

Dvou-výběrový F-test pro rozptyl		
	2	1
Střední hodnota	191,67	187,81
Rozptyl	26,60233	2,452111
Pozorování	10	10
Rozdíl	9	9
F	10,84875	
P(F<=f) (1)	0,00076	
F (1)	3,178893	

2 – vzorky Ebalty 140 neovlivněné zkouškou střídavého klimatu

1 – vzorky Ebalty 140 ovlivněné zkouškou střídavého klimatu

[příloha číslo 6]

Dále byl proveden dvou-výběrový t-test viz tabulka číslo 6, s rovností rozptylů pro ověření závislosti výsledků jednotlivých sad vzorků Ebalty 140. Na základě F-testu vyšla statisticky významná závislost naměřené tvrdosti mezi vzorky 1 a 2. Dvou-výběrovým t-testem bylo prokázáno, že se hodnoty tvrdosti HB 5/961 u vzorků 1 liší od vzorků 2. Statisticky významnou závislost obou sad vzorků nám dvou-výběrový t-test potvrdil. Střední hodnota tvrdosti, které dosahovaly vzorky číslo 1 je 187,81 HB 5/961, vzorky 2 pak 191,67 HB 5/961.

Tabulka 6 Dvou-výběrový t-test s rovností rozptylů

Dvouvýběrový t-test s rovností rozptylů		
	2	1
Střední hodnota	191,67	187,81
Rozptyl	26,60233	2,452111
Pozorování	10	10
Společný rozptyl	14,52722	
Hyp. Rozdíl středních hodnot	0	
Rozdíl	18	
t Stat	2,264545	
P(T<=t) (1)	0,018062	
t krit (1)	1,734064	
P(T<=t) (2)	0,036123	
t krit (2)	2,100922	

2 – vzorky Ebalty 140 neovlivněné zkouškou střídavého klimatu

1 – vzorky Ebalty 140 ovlivněné zkouškou střídavého klimatu

[příloha číslo 6]

Na základě informací získaných ze zkušebních vzorků Ebalty 140 lze usoudit, že i tento materiál vlivem klimatické zkoušky střídavým klimatem ztrácí své původní vlastnosti a urychleně stárne. Avšak rozdíl měřených parametrů vypovídá pouze o malé degradaci materiálu a lze předpokládat jeho poměrně dlouhou odolnost.

Data získaná ze vzorků, je doporučeno brát pouze jako informativní. K tomuto rozhodnutí se přistupuje s ohledem na měření jedné sady neovlivněných a druhé sady ovlivněných vzorků. Ideální by pro průkaznější měření bylo změřit a označit neovlivněné vzorky, vystavit je podmínkám v klimatické komoře a následně znovu změřit a porovnat výsledky. K této variantě s ohledem na časovou náročnost nebylo přistoupeno, a proto se k výsledkům přistupuje jako k orientačním. V případě další série ověřovacích testů se doporučuje měřit na jedné a rozsáhlejší sadě vzorků zhotovené z jednoho základního polotovaru.

6.5 Vyhodnocení vhodnosti současného řešení

Z uskutečněných měření, následného porovnání výsledků jednotlivých zkoušek a provedených statistických testů vyplývá, že použití karosářského tmelu k lepení umělého dřeva na lakovaný ocelový rám přípravku pro klimatické zkoušky není zcela vhodné. Karosářský tmel vlivem proměnlivých teplot a vlhkostí v klimatické komoře velmi rychle

ztrácí svou pevnost ve smyku a tažnost. Z toho lze usuzovat, že tmel vlivem zkoušek stárne a dá se předpokládat, že by mohl při určitém počtu cyklů dosáhnout nevyhovujícího stavu. Tuto skutečnost je třeba brát dále v potaz při konstrukci nových přípravků a počítat s omezenou použitelností tmelu nebo zvolit jinou alternativu spojování.

Oproti karosářskému tmelu si velmi pozitivně vedla Ebalta 140, která je používána na obráběné přesné dosedové plochy. I když jsou výsledky měření pouze orientační, lze usoudit, že je tento materiál poměrně odolný vůči střídavým klimatickým změnám a jeho životnost je zcela dostačující.

V případě, že bude nadále využíváno tohoto řešení úpravy konstrukce rámu, se doporučuje zvolit jiný druh lepidla nebo spoje mezi umělým dřevem a lakovaným svařencem. Při dalším používání karosářského tmelu by bylo vhodné zjistit, po kolika cyklech v klimatické komoře dojde k nevyhovující degradaci tmelu a porovnat tento údaj s možným využitím přípravku, do doby než bude vyřazen pro svou zastaralost.

7 Doporučení

Následující kapitola se bude věnovat návrhům možných řešení v jednotlivých úsecích výroby přípravků pro zkoušky střídavým klimatem. Navrhované možnosti vyplývají z představení základních vlivů vstupujících do procesu výroby, z vlastností používaných materiálů při výrobě a vyhodnocení aditivního řešení. Doporučení v následující kapitole se tak týkají úpravy výrobních technologií, volby materiálů a zavedení jiných postupů při odstraňování nežádoucích vlivů ze svařence.

7.1 Svařování

Vlivem svařování u externího dodavatele je do svařence vnesena velká tvarová a rozměrová nepřesnost, kterou je nutno dodatečně odstranit pomocí obrábění dalších materiálů. Jak bylo uvedeno v kapitole věnované technologii sváření a ochranným plynům. Při sváření v ochranné atmosféře velmi záleží na volbě ochranného plynu. Tento plyn určuje, jak bude vypadat výsledný svar, k jakému typu přenosu během svařování dojde a jaké druhy svařování nám umožní. S ohledem na problémy s tvarovou a rozměrovou nepřesností se předpokládá, že je tenkostěnný svařenec svářen v ochranné atmosféře CO₂, která je pro výrobce nejlevnější variantou. Tento ochranný plyn způsobuje velký rozstřík přídavného materiálu, dojde tím k rozptýlení přivedeného tepla to poměrně velké oblasti. To má za následek, že je výsledný svar masivní a díky velkému množství vneseného tepla způsobuje velké smrštění a vnitřní pnutí. Oproti tomu svařování v ochranné atmosféře argonu s sebou přináší hlubší a užší svar. Argon totiž způsobí, že nedochází k rozstříku lázně a teplo oblouku je více koncentrované do středu svaru. Při stejné hloubce svaru lze za pomoci argonu zhotovit stejný svar rychleji a tím zmenšit výsledné napětí ve svařenci.

Dalším možným upravením postupu svařování by mohlo být nastavení pulzace svařovacího agregátu nebo svařování pomocí zkratového proudu. Za pomoci zkratového proudu lze poměrně dobře snížit hodnotu celkového tepelného příkonu do vznikajícího svaru. Ve chvíli vzniku oblouku sice dochází k velkým nárůstům proudů a tento oblouk dosahuje vyšších teplot než oblouk, který hoří kontinuálně. Tento oblouk však vzápětí uhasíná a po krátké časové prodlevě dochází k zápalu dalšího oblouku. Touto pauzou mezi zápalů se z časového hlediska celkové teplo vnesené do procesu svařování dostane pod hodnotu tepla vneseného při kontinuálním hoření oblouku. Této konkrétní metodě se již

věnovala dřívější kapitola, kde byl na obrázku číslo 11 popsán průběh proudu a napětí. V případě pulzace zdroje se nejedná o úplné zhášení hořícího oblouku. Svařovací agregát podle nastavení obsluhy periodicky ubírá a přidává na svařovacím proudu během procesu svařování. Toto kolísání svařovacího proudu musí být svázáno s rychlostí posuvu přídavného materiálu, aby nedocházelo k přerušení hoření oblouku či topení přídavného materiálu ve svarové lázni. Při pulzaci, obdobně jako u zkratového proudu, dojde ke snížení průměrného tepla vneseného do svaru díky střídání intenzit svařovacího proudu. Při snížení svařovacího proudu dochází logicky k menšímu energetickému toku ve formě tepla, to znamená, že teplota oblouku je stejná. Ovšem díky menší hustotě energie dojde k pomalejšímu natavení konce a menšímu přenosu tepla do svaru. V úvodu byla také uvedena Einsteinova rovnice 2.1, která říká, že teplo pronikající do spojovaného materiálu roste s druhou mocninou času. Tedy čím déle se sváří, tím větší oblast je ovlivněna. Pomocí pulzace či zkratového proudu dochází ve své podstatě k opakovanému zkracování doby svařování a tím k omezení průniku tepla do materiálu.

Vezme-li se v potaz využití automatizovaného svářecího pracoviště. Pak je velmi zajímavou technologií svařování metoda Laser-hybrid. Tato metoda, jak bylo popsáno dříve, využívá kombinace laserového paprsku a svařování v ochranné atmosféře. Velkou výhodou této technologie je tvorba úzkého svaru o poměrně velké hloubce. Takového svaru se docílí tím, že ohnisko laserového paprsku je zaostřeno před svářecí hubici, známou ze svařování v ochranné atmosféře a laserovým paprskem se nataví spojované materiály do hloubky. Díky kombinaci s technologií svařování v ochranné atmosféře pak dojde k vyplnění svaru a tvorbě krycího svaru. Velkou výhodou této technologie je rychlost svařování oproti běžnému svařování v ochranné atmosféře. A právě typ použitého ochranného plynu zde hraje též velkou roli, svými vlastnostmi ovlivňuje jak vznikající svar, tak i laserový paprsek a typ přenosu přídavného materiálu do místa svaru. [18] Jak již bylo zmíněno mnohokrát, vyšší rychlost svařování má za následek menší teplotní ovlivnění. Ovšem velkou nevýhodou této technologie je automatizace a cena. Z těchto důvodů nachází metoda Laser-hybrid uplatnění v automatizované sériové výrobě, kde se náklady na její pořízení lépe rozpustí a výsledná cena práce pak není tak vysoká.

S ohledem na minimalizaci výsledných tvarových deformací svařenců lze použít i jednu z nejzákladnějších metod při svařování sestav. Onou metodou je samotný

technologický postup svařování, kdy je svařenec zhotovován tak, že se celá konstrukce nejprve pomocí bodových svarů nastehuje. Takto připravenou konstrukci lze změřit, doladit případné odchylky a započít se svářením. Při sváření je pak velmi důležité začínat od nejmenších svarů, ať již velikostně nebo délkově. U tohoto postupu svařování jde o to, aby se výsledná napětí vznikající v nových svarech navzájem rušila. Ne ve smyslu, že daná napětí zmizí, ale minimalizuje se vznik tvarových deformací svařence vlivem těchto napětí.

7.2 Vibrační žihání

U všech typů přípravků se základním rámem z ocelového svařence bude vždy nutné provést odstranění pnutí, aby byl přípravek stabilní a zaručoval opakovatelnost měření. S ohledem na požadavek ve firmě Keri a.s. pokusit se optimalizovat výrobní proces přípravku pro testování klimatických změn za účelem snížení nákladů na výrobu tohoto typu přípravku již byly navrženy možné změny v postupu svařování. I při maximální optimalizaci svařování základního rámu bude třeba vždy odstranit zbytkové napětí ve svařenci. Tato napětí se při výrobě pro Keri a.s. odstraňují běžně pomocí žihání k odstranění pnutí. Které je velmi náročné na spotřebu energie. S ohledem na současný trend udržitelného rozvoje je jakékoli snížení nákladů, energií a výrobních prostředků velmi vítáno. Z těchto důvodů vychází jako nejlepší volba vibrační žihání. Možné je použít i přirozené stárnutí, ovšem ve výrobním postupu na tento typ odstranění vnitřního pnutí není dostatek prostoru a s ohledem na časovou náročnost se jedná i o velkou finanční zátěž.

Vibrační žihání je kvazi přirozené stárnutí, které probíhá ve velmi zkráceném čase. Tato metoda je vyvíjena a aplikována firmou VSR Industrietechnik GmbH Duisburg. Velkou výhodou tohoto fyzikálního principu je hospodárné komerční využití v průmyslové výrobě. Pro potřeby různých typů výrobků jsou určeny vhodné frekvence nucených kmitů. Právě správná volba frekvencí hraje u této technologie velmi důležitou roli. [12]

Jak již bylo popisováno dříve, vlivem vibrací dochází ve svařenci ke snižování vnitřního napětí a tím odstraňování deformací. Vibrační žihání lze tedy přirovnat k přirozenému stárnutí výrobku. Vystárlé polotovary, obrobky a svařence nejsou tolik náchylné ke vzniku deformací při obrábění a díky této vlastnosti se velmi hodí pro výrobu konstrukcí či komponentů, kde je požadována vysoká tvarová přesnost. [12]

Samotná aplikace této metody v podání firmy VSR Industrietechnik GmbH Duisburg není nikterak náročná. Již typ Vibmatic 6000 na obrázku číslo 27, byl zcela automatizovaný a pracoval s operačním systémem Windows. Základem řídicí jednotky byl průmyslový počítač osazený procesorem od firmy Intel. Odstraňování vnitřního napětí pomocí tohoto zařízení probíhá ve třech fázích. První fází je zjišťování stavu napětí v konstrukci. Během této fáze pracuje motor oscilátoru v otáčkách 600 min^{-1} . Ve druhé fázi dochází ke zpracování naměřených dat a třetí fází je vyhodnocení měření a prezentace všech naměřených dat. Délka takového procesu trvá cca 20 až 30 minut. V přípravné fázi před vibračním žiháním je třeba svařenec umístit na speciální gumové podložky určené pro tento typ práce. Tento typ zpracování svařence se nedoporučuje provádět v blízkosti přesných obráběcích center nebo měřících stanišť. [12]



Obrázek 27 Vibmatic 6000 vpravo ovládací jednotka, vlevo pak excentr umístěný na svařenci [12]

Minimální hmotnost svařence by měla být 100 kg. V případě lehčí konstrukce je nutné provedení ověřovacích zkoušek před vlastní aplikací vibračního žihání. Velká výhoda vibračního žihání oproti klasickému žihání tkví v odstranění další dopravy svařence na vyžihání, odstranění zdlouhavého a energeticky náročného procesu žihání, odstranění vzniklých okují a následná doprava do lakovny. Vibrační žihání v podání přenosných zařízení s sebou přináší razantní zkrácení výrobních mezer a tím se zvyšuje jeho kapitálová návratnost v případě pořízení do výroby.

7.3 Karosářský tmel

Na základě zjištěných skutečností se doporučuje uskutečnit rozsáhlejší testování karosářského tmelu na odolnost vůči střídavému klimatu, zda bude stále vyhovovat

požadovanému počtu cyklů zkoušek. V opačném případě se doporučuje pro připevnění umělého dřeva na lakovanou ocelovou konstrukci zvolit jiné, vhodnější lepidlo, které bude stálejší při opakovaném zatěžování proměnlivými teplotami s proměnlivou vlhkostí.

Vhodnější alternativou by například mohlo být montážní lepidlo, které bude splňovat odolnost vůči proměnlivým teplotám a vlhkosti. Zástupcem takových lepidel by mohl být například produkt od firmy Den Braven Czech and Slovak a.s. s označením Mamut Glue Multi. Tento druh montážního lepidla je po vytvrzení odolný vůči teplotám od -40°C do $+90^{\circ}\text{C}$, je vhodný pro tenkovrstvé lepení a stejně jako karosářský tmel, je ho možné po vytvrzení překrýt krycím nátěrem. Výrobce uvedená doba pro vytvrzení tohoto je 2 minuty. [19] U výše zmiňovaného lepidla může být eventuální problém s případnou pružností spoje během obrábění umělého dřeva. Je třeba nejprve otestovat na zkušebním vzorku.

7.4 Lepení

Tvorba nerozebíratelného spoje dvou různých ploch. Lepené plochy je nutné před aplikací lepidla vhodně upravit. Kvalita provedeného lepeného spoje totiž nejvíce záleží na adhezivních vlastnostech lepidla (přilnutí k lepeným povrchům), kohezních vlastnostech lepidla (vlastní pevnosti vytvrzeného lepidla), smáčivosti lepených povrchů lepidlem a pevnosti, čistotě a připravenosti lepených ploch. [20]

Adhezní vlastnosti nejvíce ovlivňuje mechanické přilnutí lepidla k lepeným plochám spolu s chemickými vazbami. Z toho důvodu je nezbytně nutné lepené povrchy vhodně zdrsnit, pokud to používané lepidlo vyžaduje a hlavně oba lepené povrchy dostatečně očistit od volných nečistot a mastnot. Smáčivost lepidla ovlivňují polarity lepených materiálů, je důležité, aby povrchové napětí kapky lepidla bylo menší než povrchové napětí lepených materiálů a došlo k rovnoměrnému nanesení vrstvy lepidla. Koheze u lepidla je, jak vekou pevností disponuje samotná vrstva lepidla. Jedná se o tu pevnost, kdy po přetržení vzorku lepidla zůstane na obou lepených dílech vrstva lepidla. Tento stav po přetržení značí, že adheze lepidla a pevnost lepených materiálů byla větší než koheze. Pevností lepeného materiálu je pak myšlena pevnost, kdy dojde k poškození materiálu. Navržené lepidlo by pro maximální efekt lepeného spoje mělo mít minimálně stejné pevnostní vlastnosti jako slabší z lepených materiálů. [20]

7.5 FMEA procesu

Pro Keri a.s. by mohl být zajímavý software typu FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Tedy software, sloužící k analýze toho, co by se mohlo během dané části výroby pokazit. Jedná se o nástroj, který by mohl předcházet problémům v rychle zpracovávaných nových konstrukcích, které nejsou typově ozkoušené a jejichž výroba je pro firmu novým souborem neověřených technických postupů. Díky této investici by bylo možné optimalizovat jednotlivé svařence co do volby materiálu, svarů, pořadí jejich vytváření, vyhodnocovat možnosti následného kroucení svařence a předcházet mu ještě ve fázi tvorby přípravku. Konstrukteři by si mohli ověřit stability svých přípravků ještě dříve než by se během výroby zjistila nedostatečná tuhost konstrukce, či prohýbání hliníkových desek. Naopak by se dalo i ušetřit za zbytečně předimenzovaných konstrukcích a díky této optimalizaci se více přiblížit udržitelnému rozvoji a být firmou vstřícnější k životnímu prostředí. [21]

8 Závěr

V této práci byl proveden rozbor technologie svařování v ochranné atmosféře, která je pro firmu Keri a.s. v případě přípravků pro klimatické zkoušky a manipulační vozíky zajišťována externím Dodavatelem. Na základě literární rešerše týkající se svařování v ochranné atmosféře, byla firmě předána doporučení pro externí svářeče. Mezi doporučeními se nachází například použití ochranného plynu argonu, který umožňuje přenos přídavného materiálu sprchou a dá se využít i pro přenos pulzní sprchou. Pro typ přenosu pulzní sprchy lze použít i směsný plyn, tedy kombinaci argonu a CO₂. Jak bylo zmíněno v této práci, cena směsného plynu je o něco nižší, než jak je tomu u čistého argonu. V práci jsou pak uvedeny doporučené průtoky ochranných plynů, které jsou schopné tvořit dostatečné stínění vůči okolnímu vzduchu a minimalizují nadměrné použití ochranného média, než je nezbytně nutné. Úspora na ochranném plynu znamená snížení nákladů a přispívá k větší ekologičnosti provozu. Ohledně svařování byl doporučen i postup tvorby svařence po sestehování konstrukce tak, aby se minimalizovaly tvarové deformace.

V případě nedostatečného snížení nepříznivých vlivů od technologie svařování v ochranné atmosféře, bylo doporučeno na místo žíhání pro odstranění pnutí využít vibrování. Vibrační žíhání navržené k použití ve firmě Keri a.s. využívá přenosného zařízení. Toto zařízení se skládá z přenosného průmyslového počítače, motoru s excentrem a sady gumových podložek. Vlastní metoda vibrování popsána již dříve, spočívá v odstranění vnitřního pnutí pomocí plastických deformací vznikajících na základě pružných deformací od excentru. Excentr řízený přenosným průmyslovým počítačem, vnese do svařené konstrukce periodicky se opakující pružné deformace, které v místech akumulace napětí vyvolají plastické deformace a tím sníží hodnotu lokálního napětí ve svařenci. K provedení této metody ovšem výrobce VSR Industrietechnik GmbH Duisburg, jehož zařízení bylo vybráno jako vzor, doporučuje minimální hmotnost konstrukce 100 kg, v případě nižší hmotnosti pak uvádí nutnost použít test pro ověření funkčnosti této metody. Velkou výhodou pro firmu Keri a.s. by tato metoda mohla mít v úplném nebo částečném vynechání zdlouhavého procesu žíhání pro odstranění pnutí, který je nejen časově, ale i energeticky poměrně nákladný a je pro firmu zajišťován externě. Metoda vibračního žíhání by byla aplikovatelná přímo ve firmě, kdy se doba samotného vibrování pohybuje v rámci minut a ne hodin, jak je tomu v případě tepelného procesu. I spotřeba energie je oproti tepelnému procesu mnohonásobně nižší.

Vibrování se ovšem nesmí aplikovat v blízkosti přesných obráběcích center a měřících zařízení, které nejsou k podlaze uchyceny na pružinách.

V diplomové práci byl dále proveden pokus pro ověření stálosti vlastností materiálů volených pro dodatečnou úpravu svařence. Konkrétně se jedná o dvousložkový karosářský tmel Body Soft 211 a umělé dřevo Ebalta 140 blue.

U dvousložkového karosářského tmelu, byla po jedné klimatické zkoušce zjištěna poměrně rozsáhlá degradace. Na základě naměřených hodnot maximální zatěžující síly a vypočteného maximálního smykového napětí na mezi pevnosti přeplátovaných lepených spojů, dle ČSN EN 1465, bylo zjištěno následující. Vzorky ovlivněné klimatickou zkouškou vykazují o jednu třetinu nižších hodnot na mezi pevnosti, než jak tomu bylo u souboru vzorků, které touto zkouškou ovlivněny nebyly. U ovlivněných vzorků došlo i ke snížení prodloužení. Obě tyto zjištěné informace ukazují na poměrně rychlé stárnutí karosářského tmelu v klimatické komoře, která je za tímto účelem provozována. Tmel vlivem zrychleného stárnutí křehne a ztrácí svou pevnost. Dá se předpokládat, že takto degradovaný materiál bude výrazně náchylnější na otřesy a neopatrnou manipulaci. V rámci kvality konstrukcí se doporučuje vytvořit rozsáhlou sérii vzorků karosářského tmelu a v případě, že této úpravy konstrukcí pomocí karosářského tmelu bude dále využíváno, vyhodnotit po kolika cyklech v klimatické komoře jsou vlastnosti karosářského tmelu nevyhovující. Za tímto účelem by bylo vhodné si se zákazníkem stanovit minimální hodnotu smykového napětí, kterému musí karosářský tmel odolat, a to pro určený počet použití přípravku.

Při zachování současné technologie výroby bylo v této práci doporučeno využít jiného, vhodnějšího lepidla než jakým je karosářský tmel. Došlo k návrhu typu montážního tmelu Mamut Glue Multi od firmy Den Braven Czech and Slovak a.s. Jak bylo zmíněno dříve, vhodnost tohoto lepidla by bylo třeba ověřit jak ve výrobě, kdy musí odolat vibracím během obrábění, tak projít testováním v klimatické komoře stejně jako karosářský tmel. Testování nového lepidla s sebou určitě přinese další náklady, ovšem pro firmu by mohlo znamenat snížení nákladů z případných reklamací, rychlejší aplikace při montáži a zvýšení kvality přípravku, což by přispělo k lepšímu jménu firmy.

Testování umělého dřeva, konkrétního typu Ebalta 140 blue probíhalo pomocí měření tvrdosti HB 5/961 prováděné dle ČSN EN ISO 6506-1. Na základě naměřených hodnot ze sady ovlivněných a neovlivněných vzorků klimatickou zkouškou bylo zjištěno, že výše zmiňovaný

materiál podléhá proměnlivým podmínkám v klimatické komoře velmi málo. Překvapivé u vzorků bylo, že Ebalta 140 blue vlivem zatížení v klimatické komoře vykazuje menších hodnot tvrdosti HB 5/961, než jakých bylo naměřeno u neovlivněných vzorků. Předpokládalo se, že tento pryskyřičný materiál vznikající polyadící bude vykazovat spíše vyšší hodnoty tvrdosti. Na místo toho bylo prokázáno, že degradace Ebalty 140 v klimatické komoře má za následek menší tvrdost. Na základě této skutečnosti se jeví Ebalta 140 jako vhodný materiál pro aditivní řešení přesných ploch přípravku pro klimatické zkoušky.

Při nízké frekvenci používání přípravku v klimatické komoře se tento materiál jeví jako velmi vhodný. Je však nutné připomenout, že zkušební vzorky byly vytvořeny z různě starých odřezků tohoto materiálu a díky tomu mohl vzniknout jistý rozptyl v některých naměřených datech. V případě využití Ebalty 140 u přípravků, které jsou vystaveny nepříznivým vlivům v klimatické komoře častěji, než rámy pro klimatické zkoušky částí karosérii se doporučuje sestavit sérii vzorků Ebalty 140 z jednoho základního materiálu, vystavit ji vlivům klimatické komory a narůstajícím počtem cyklů postupně odebírat vzorky k měření. Na základě těchto nových měření pak stanovit závislost degradace Ebalty 140 na počtu cyklů a vyhodnotit, zda je životnost tohoto materiálu s ohledem na dobu používání přípravku neomezená nebo je třeba počítat s omezenou dobou použitelnosti, která může být kratší než potřebná doba použitelnosti přípravku pro klimatické zkoušky.

Je nutné připomenout, že vyhodnocení dodatečné úpravy ploch nebylo úplně v souladu s očekáváním. Zejména u karosářského tmelu došlo k větší degradaci vlivem klimatické zkoušky, než s jakou se původně počítalo. Využití náhradního řešení je tedy limitováno životností tohoto materiálu a ne úplně řeší problém vznikající nedostatečnou přesností svařence. Právě nepřesnost svařence vnáší do výroby ráků pro klimatické zkoušky další náklady, které jsou svázány s dodatečnou úpravou ploch. Kvalitnější výroba těchto polotovarů by jistě vedla ke snížení nákladů stejně jako pořízení přenosného zařízení pro vibrační žihání. Žihání jako takové nemůže být z procesu výroby odstraněno, přípravek namáhaný v klimatické komoře by bez této úpravy zcela jistě nebyl stabilní a docházelo by k jeho tvarovým deformacím. Z toho důvodu se doporučuje propočítat náklady spojené s žiháním konstrukcí vázících více než 100 kg a spočítat si návratnost investice v případě pořízení přenosného zařízení pro vibrační žihání.

Velmi zajímavým a ověřeným nástrojem by mohl být analytický software sloužící k analýze problémů ještě ve fázi konstrukce přípravku. Podrobněji je princip tohoto softwaru popsán v následující podkapitole 9.2. Pořízení takového nástroje je ovšem velmi finančně náročné, a tak vyvstává otázka, zda by bylo možné se spojit s někým, kdo tímto softwarem disponuje a domluvit se na spolupráci, či si objednat analýzu vzorového typu konstrukce a zjistit, zda by se například vhodnou úpravou konstrukce spolu s postupem svařování, dalo docílit menších tvarových deformací svařence.

9 Seznam zdrojů:

- [1] COMMITTEE, ASM International Handbook. *Metals HandBook VOL 6 - Welding, Brazing and Soldering* [online]. 10 edition. B.m.: ASM International, 1993. ISBN ISBN: 978-0-87170-382-8. Dostupné z: <https://metallurgymaterials.files.wordpress.com/2014/03/vol-6-weldingbrazing-and-soldering.pdf>
- [2] JOHN C. LIPPOLD. *Welding Metalurgy and weldability*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. ISBN 978-1-118-23070-1.
- [3] KLAS WEMAN AND LIBER AB. *Welding Processes Handbook (Second edition)* [online]. 2. vyd. Stockholm: Woodhead Publishing, 2012. ISBN 9780857095183. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/B9780857095107500082>
- [4] PHILLIPS, Dr. David. *Welding Engineering : An Introduction* [online]. 1 edition. New York: Wiley, 2016. ISBN 9781118766446. Dostupné z: <https://ebookcentral-proquest-com.infozdroje.czu.cz/lib/czup/detail.action?docID=4205797>
- [5] SOLTANI, Saeed, Mohammad EGHTEHAD a Yousef BAZARGAN-LARI. Mass and heat transfer control in the GMAW process utilizing feedback linearization and sliding mode observer. *International Communications in Heat and Mass Transfer* [online]. 2020, **111**(December 2019), 104410. ISSN 07351933. Dostupné z: [doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.104410](https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.104410)
- [6] MA, Ninshu, Hui HUANG a Hidekazu MURAKAWA. Effect of jig constraint position and pitch on welding deformation. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2015, **221**, 154–162. ISSN 09240136. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jmatprotec.2015.02.022](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.02.022)
- [7] ZHAO, Yong, Xiaojian SHI, Keng YAN, Guoqiang WANG, Zhanjun JIA a Yuxiang HE. Effect of shielding gas on the metal transfer and weld morphology in pulsed current MAG welding of carbon steel. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2018, **262**(2), 382–391. ISSN 09240136. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jmatprotec.2018.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.07.003)
- [8] BITHARAS, I., N. A. MCPHERSON, W. MCGHIE, D. ROY a A. J. MOORE. Visualisation and optimisation of shielding gas coverage during gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2018, **255**(November 2017), 451–462. ISSN 09240136. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jmatprotec.2017.11.048](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.11.048)
- [9] *Ebalta 140* [online]. [vid. 2020-03-04]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/ebablock-umele-drevo//ebablock-140>
- [10] *Body Soft 211* [online]. [vid. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.dofal.cz/tmeleni-a-lepeni/132-body-soft-211-univerzalni-polyesterovy-tmel-380-g.html>
- [11] MEOLADA. *Ceník technických plynů* [online]. [vid. 2020-03-02]. Dostupné z: <http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/products/cs-CZ-Cenik.pdf?la=cs-CZ>
- [12] Vibrace odstraňují vnitřní napětí v materiálech. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, **9**(Výroba/měření). Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vibrace->

odstranuji-vnitřni-napeti-v-materialech.html

- [13] *Tepelne_zpracovani_-_zihani* [online]. [vid. 2020-03-03]. Dostupné z: http://www.bogner.cz/files/files/Tepelne_zpracovani_-_zihani.pdf
- [14] *Vibrování* [online]. [vid. 2020-03-03]. Dostupné z: <http://www.petrarpassro.cz/vibrovani/>
- [15] AG, Volkswagen. *Zkouška odolnosti vůči střídavému klimatu*. 2004
- [16] UNMZ. *Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav dle ČSN EN 1465*. 2009.
- [17] ČNI. *Zkouška tvrdosti dle Brinella - 1 část: Zkušební metoda dle: ČSN EN ISO 6506-1*. 2006.
- [18] CASALINO, G., U. DAL MASO, A. ANGELASTRO a S.L. CAMPANELLI. Hybrid Laser Welding: A Review. *DAAAM International Scientific Book 2010* [online]. 2010, (January). ISSN 1726-9687. Dostupné z: doi:10.2507/daaam.scibook.2010.38
- [19] MODERN, Vlastnosti, Mpa MPA a Mpa MPA. *Technický list 04.36 MAMUT GLUE MULTI* [online]. [vid. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://drive.google.com/drive/folders/13cNY-rgvVHrOoDRG5ISYAh3mbz731ujD>
- [20] RUDOLF BERAN. *Základy teorie lepení* [online]. 2013. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni_LEAR.pdf
- [21] MONIKA KOVÁŘOVÁ. *Diplomová práce* [online]. 2011. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/18884/1/Monika_Kovarova.pdf#page=51&zoom=auto,-13,786

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 Vztah mezi náklady na svařovací zařízení a rychlosti svařování jednotlivých technologií. [1].....	5
Obrázek 2 Představa svarového spoje v první polovině 20. století [2]	5
Obrázek 3 Popis mikrostruktura svarového spoje z druhé poloviny 20. století [2]	6
Obrázek 4 Moderní terminologie schématu svarové mikrostruktury [2]	7
Obrázek 5 Schéma svařovací pistole pro svařování v ochranné atmosféře. [4]	8
Obrázek 6 Vzdálenosti, elektrody, průvlaku, trysky a svařovaného materiálu [4]	10
Obrázek 7 Závislost svařovacího proudu na rychlosti posuvu a průměru elektrody [4].....	11
Obrázek 8 Druhy přenosu kovu: sprcha, kapkový, zkratový a pulzní. [4]	15
Obrázek 9 Závislost proudu, posuvu a průměru drátu při přechodu z kapkového přenosu na sprchu. [4].....	16
Obrázek 10 Štípání, znázornění působení elektromagnetické tažné síly na natavený konec elektrody. [4]	17
Obrázek 11 Schéma zkratového přenosu spolu se závislostí proudu na napětí. [4].....	18
Obrázek 12 Schéma kapkového přenosu [4].....	19
Obrázek 13 Tvar svaru v závislosti na použitém ochranném plynu [4].....	21
Obrázek 14 Graf zastoupení pracovních pozic ve firmě Keri a.s. [vlastní]	29
Obrázek 15 Graf cen vybraných technických plynů	30
Obrázek 16 Graf jednoho cyklu v klimatické komoře [15]	33
Obrázek 18 Vzorky tmelu neovlivněné klimatickou komorou po zkoušce dle ČSN EN 1465 [vlastní]	39
Obrázek 17 Založení vzorku v univerzálním měřícím stroji LabTest 5.50ST [vlastní].....	39
Obrázek 19 Graf Hodnot smykového napětí na mezi pevnosti u vzorků neovlivněných klimatickou komorou [vlastní, příloha číslo 4]	40
Obrázek 20 Graf průběhu zkoušky dle ČSN EN 1465 u vzorku číslo 5 [vlastní, příloha číslo 4].....	41
Obrázek 21 Vzorky tmelu ovlivněné klimatickou komorou po zkoušce dle ČSN EN 1465 [vlastní]	42
Obrázek 22 Graf smykového napětí na mezi pevnosti u vzorků 1 až 12 ovlivněných klim. komorou [vlastní, příloha číslo 5]	43

Obrázek 23 Graf průběhu zkoušky dle ČSN EN 1465 u vzorku číslo 7 [vlastní, příloha číslo 5]	43
Obrázek 24 Grafické porovnání závislosti prodloužení na síle u vzorků vyhodnocených jako průměrné [vlastní, příloha číslo 4 a5].....	44
Obrázek 25 Měření tvrdosti HB 5/961 na přístroji DuraJet G5 [vlastní]	48
Obrázek 26 Porovnání výsledků měření tvrdosti u ovlivněné a neovlivněné Ebalty 140 klim. Komorou [příloha číslo 6]	49
Obrázek 27 Vibmatic 6000 vpravo ovládací jednotka, vlevo pak excentr umístěný na svařenci [12].....	56

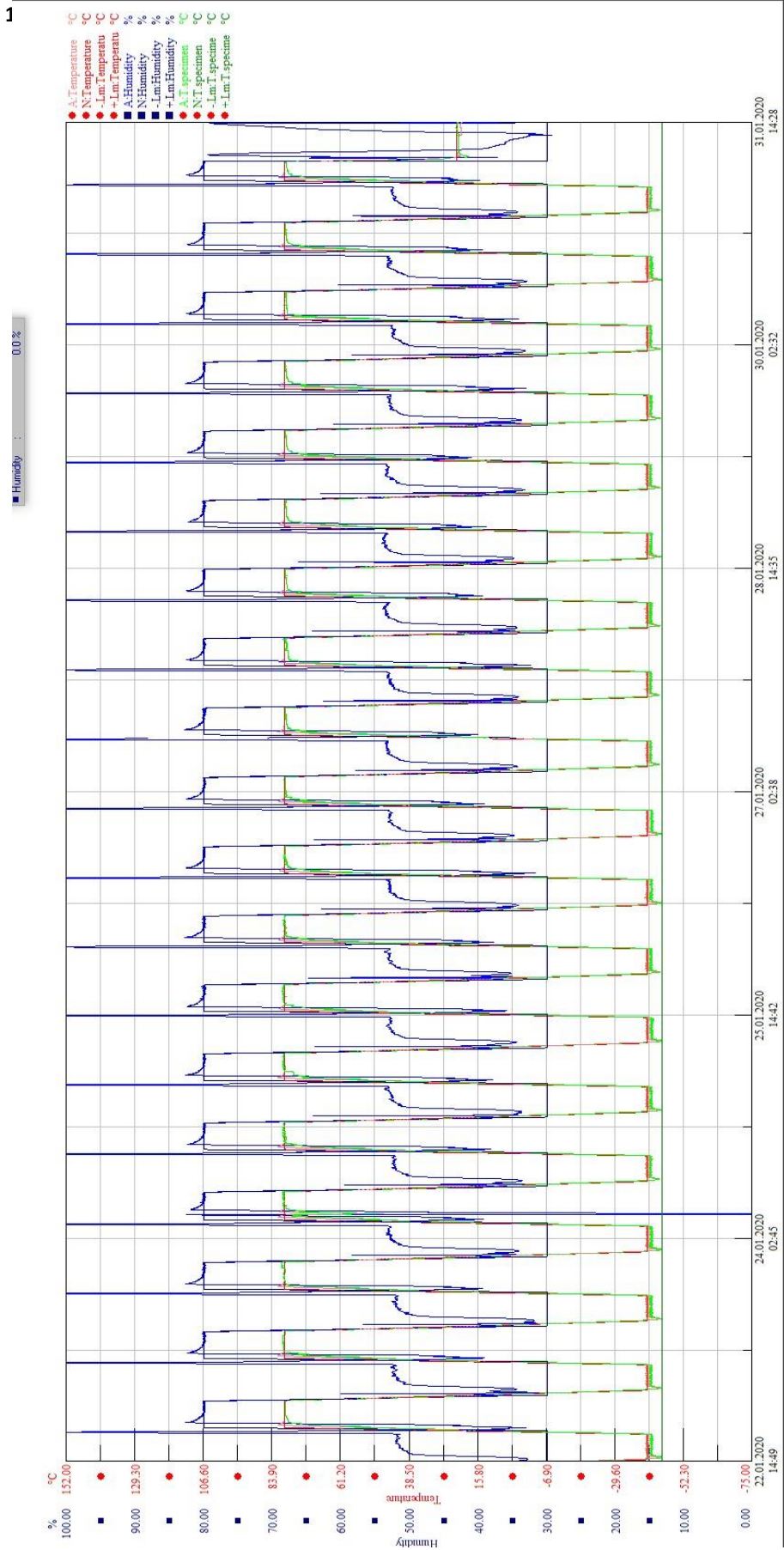
11 Seznam tabulek

Tabulka 1 Fyzikální informace	22
Tabulka 2 Ceny vybraných technických plynů	30
Tabulka 3 Dvou-výběrový F-test pro rozptyl	45
Tabulka 4 Dvou-výběrový t-test s rovností rozptylů	45
Tabulka 5 Dvou-výběrový F-test pro rozptyl	50
Tabulka 6 Dvou-výběrový t-test s rovností rozptylů	51

12 Seznam příloh

Příloha 1 Záznam průběhu zkoušky v klimatické komoře	69
Příloha 2 Norma testování odolnosti vůči vlivům životního prostředí.....	70
Příloha 3 Záznam z měření tahového namáhání přeplátovaných lepených sestav dle ČSN EN 1465	72
Příloha 4 Hodnoty vzorků karosářského tmelu neovlivněného klimatickou zkouškou	72
Příloha 5 Hodnoty vzorků karosářského tmelu ovlivněného klimatickou zkouškou	73
Příloha 6 Hodnoty měření tvrdosti HB 5/961.....	73

Příloha 1



Příloha 2 Norma testování odolnosti vůči vlivům životního prostředí

Klass.-Nr. 50 32 1		October 2004
VOLKSWAGEN AG	Vehicle Parts Testing of Resistance to Environmental Cycle Test (+80/-40) °C	PV 1200
Konzernnorm		
Descriptors: climatic chamber, environmental cycle test, resistance to environmental cycle test Changes The following changes have been made as compared to Test Specification PV 1200, 1987-02: – Title changed – Class. no. 8B V0 1 removed – Editorially revised Previous issues 1972-10; 1987-02 1 Scope This Test Specification describes an environmental cycle test (elevated temperature/low temperature cycle) for testing units, e.g. vehicle parts in the engine compartment. The behavior of the units and/or parts during environmental cycle stressing by means of cycling temperature and moisture shall be assessed here (e.g. susceptibility to cracks, deformation, separation of the composite material, etc.). The purpose of the test specifications (e.g. temperature -40 °C) is to uncover component weaknesses in a short-term test with accelerated time effect, not to define general component requirements for continuous operation. 2 Requirements For requirements, see the respective Technical Supply Specification and/or drawing. 3 Description Example for a drawing entry: 100 cycles according to PV 1200 without restriction of function 4 Test method 4.1 Procedure The temperature shall be regulated with a tolerance of ± 2 °C and the relative air humidity (rel. humidity in the following) with a tolerance of $\pm 5\%$. The climatic chamber shall be set to room temperature (23 °C) and 30% rel. humidity before the test specimen is inserted. The holding times must always be maintained. The heating and cooling phases can be varied according to the performance capability of the climatic chambers used. Deviations shall be specified in the test report. <div style="text-align: right;">Page 1 of 2</div>		
Fachverantwortung/Responsibility K-GQ-32 Ackermann Tel: -38255 Laudien Dr. Eisenberg		Normung/Standards (EZTD, 1733) Wiesner Tel: +49-5361-9-29064 Sobanski

The English translation is believed to be accurate. In case of discrepancies the German version shall govern.

Norm vor Anwendung auf Aktualität prüfen / Check standard for current issue prior to usage.

Form FE 41 - 01 03

Confidential. All rights reserved. No part of this document may be transmitted or reproduced without the prior written permission of a Standards Department of the Volkswagen Group. Parties to a contract can only obtain this standard via the responsible procurement department.

One cycle (see Figure 1) lasts for 720 min (12 h) and comprises the following temperature and humidity profiles:

- 60 min heating phase to +80 °C and 80% rel. humidity,
- 240 min holding time at +80 °C and 80% rel. humidity,
- 120 min cooling phase to -40 °C, when freezing point is reached: approx. 30% rel. humidity, the air humidity remains unregulated as of $T < 0$ °C (depending on the system, humidity regulation can also be suspended as of $T < 10$ °C),
- 240 min holding time at -40 °C, air humidity remains uncontrolled,
- 60 min heating phase to +23 °C, rel. humidity is regulated to 30% as of $T = 0$ °C

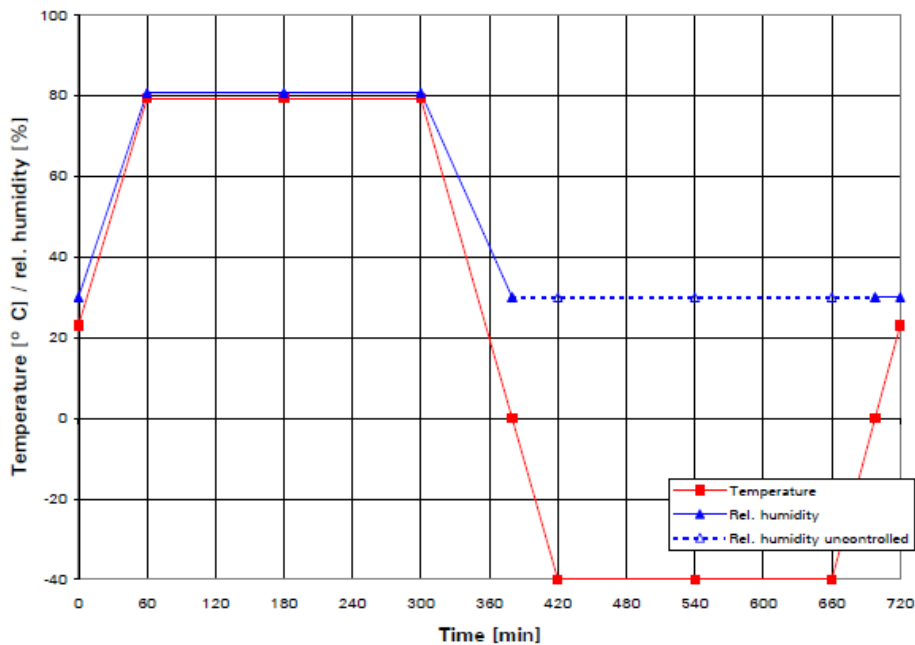


Figure 1 – Test cycle for PV 1200

Příloha 3 Záznam z měření tahového namáhání přeplátovaných lepených sestav dle ČSN EN 1465

	N	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH[N]	AB[%]	t[s]
	1	x	11.3.2020	9:00			2650,35	1,11	16,72
0	2	x	11.3.2020	9:09			1790,25	1,27	19
0	3	x	11.3.2020	9:15			675,95	0,39	5,84
0	4	x	11.3.2020	9:18			1854,8	1,33	19,91
0	5	x	11.3.2020	9:21			1512,8	1,18	17,77
0	6	x	11.3.2020	9:24			1831,3	1,44	21,68
0	7	x	11.3.2020	9:28			759,85	0,48	7,24
0	8	x	11.3.2020	9:32			159,25	0,06	0,89
k	9	x	11.3.2020	9:39			1618,85	1,11	16,7
k	10	x	11.3.2020	9:42			1238,65	0,77	11,53
k	11	x	11.3.2020	9:46			979,75	0,65	9,78
k	12	x	11.3.2020	9:49			805,55	0,52	7,84
k	13	x	11.3.2020	9:52			287,75	0,1	1,59
k	14	x	11.3.2020	9:56			982,8	0,66	9,86
k	15	x	11.3.2020	9:58			1120,7	0,81	12,15
k	16	x	11.3.2020	10:00			1576,5	1,02	15,31
k	17	x	11.3.2020	10:02			1165,55	0,79	11,88
k	18	x	11.3.2020	10:05			1528,85	1,03	15,48
k	19	x	11.3.2020	10:07			1182,7	0,77	11,52
k	20	x	11.3.2020	10:09			965,9	0,46	6,94

Příloha 4 Hodnoty vzorků karosářského tmelu neovlivněného klimatickou zkouškou

	šířka plechu(mm)	rychlost posuvu v mm/min	Mez pevnosti (Mpa)
	25	2	
	délka přeplátování (mm)	maximální síla (N)	
1	13	2650,35	8,154923
2	14,54	1790,25	4,925034
3	12,02	675,95	2,249418
4	14,95	1854,8	4,962676
5	12,48	1512,8	4,848718
6	15,28	1831,3	4,793979
7	6,36	759,85	4,778931
8	14,95	159,25	0,426087

Příloha 5 Hodnoty vzorků karosářského tmelu ovlivněného klimatickou zkouškou

	šířka plechu(mm)	rychlost posuvu v mm/min	
	25	2	
	délka přeplátování (mm)	maximální síla (N)	Mez pevnosti (Mpa)
1	13,42	1618,85	4,825186
2	14,08	1238,65	3,518892
3	15,01	979,75	2,610926
4	13,88	805,55	2,32147
5	13,05	287,75	0,881992
6	12,72	982,8	3,090566
7	14,27	1120,7	3,141416
8	12,5	1576,5	5,0448
9	14,92	1165,55	3,124799
10	13,05	1528,85	4,68613
11	15,04	1182,7	3,145479
12	12,54	965,9	3,081021

Příloha 6 Hodnoty měření tvrdosti HB 5/961

	2	1
1	183,2	184,8
2	182,2	188,4
3	190	186,5
4	195	187,2
5	194,2	188,2
6	196,8	189,7
7	194,3	186,3
8	196,1	188,6
9	193,8	189
10	191,1	189,4

2 – vzorky Ebalty 140 neovlivněné zkouškou střídavého klimatu

1 – vzorky Ebalty 140 ovlivněné zkouškou střídavého klimatu