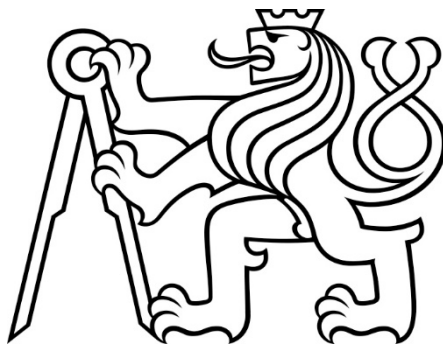


**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2017

**JAN
LOJDA**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lojda** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **409533**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace výroby upínacích kruhů pro vzduchové pružiny

Název diplomové práce anglicky:

Optimizing the production of clamping rings for air springs

Pokyny pro vypracování:

1. Popis postupu výroby vzduchových pružin
2. Analýza použitých technologií výroby a metod hodnocení kvality (s bližším zaměřením na technologii přivařování svorníků)
3. Zmapování nejzávažnějších problémů pro splnění požadavků na kvalitu
4. Návrh experimentu (kvalifikace postupu svařování upínacích kruhů podle EN norem)
5. Vyhodnocení dosažených výsledků
6. Závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] Ducháček V.: Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [2] Kolařík, L., Kolaříková, M., Pospíšil, D.: Perspektivní metoda spojování materiálů, MM PS, 1, 2014
- [3] Stewart, J.P.: The Welders Handbook, Reston Publishing Company, Reston, 1981
- [4] ČSN EN ISO 14555: Svařování - Obloukové přivařování svorníků z kovových materiálů, UNMZ, Praha, 2014
- [5] Firemní materiály společnosti Rubena a.s., Proweld s.r.o., Cedima a.s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


doc. Ing. Ladislav Kolařík Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.04.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2017**


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

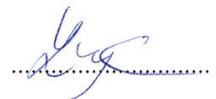
10.5.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně
a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 10.8.2017



Podpis

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D., IWE za odbornou pomoc a cenné připomínky, které mi dopomohli k vypracování této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat za možnost spolupracovat s firmou Rubena a.s. a to konkrétně panu Ing. Milanu Říhovi za možnost nahlédnout do výroby a konzultovat dané výrobní procesy.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Obor:	Výrobní a materiálové inženýrství
Název diplomové práce:	Optimalizace výroby upínacích kruhů pro vzduchové pružiny
Autor diplomové práce:	Bc. Jan Lojda
Vedoucí diplomové práce:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Rozsah diplomové práce:	Počet stránek: 95 Počet obrázků: 65 Počet tabulek: 9 Počet příloh: 1

Klíčová slova: vzduchová pružina, pryž, zdvihové přivařování svorníků, testovaný vzorek, keramický kroužek, vizuální zkouška, metalografická zkouška

Abstrakt

První část diplomové práce je věnována přiblížení výroby kaučukové směsi s následnou aplikací ve výrobě vzduchových pružin ve firmě Rubena a.s. Na tyto vzduchové pružiny jsou nasazovány upínací kruhy, které po cyklových zkouškách nevydržely nastavený limit 150 000 cyklů. Přivařené svorníky praskaly a tím způsobily nízkou životnost vzduchových pružin. Druhá polovina je věnována optimalizaci výrobních podmínek a zmapování nejzávažnějších problémů pro výrobu upínacích kruhů. Tato optimalizace by měla zapříčinit lepší přivaření svorníku a tím i splnění požadavků firmy Rubena a.s.

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Department of Manufacturing Technology

Branch: Production and material engineering
Name of diploma thesis: Optimizing the production of clamping rings for air springs
Author of diploma thesis: Bc. Jan Lojda
Supervisor: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent of diploma thesis: Number of pages: 95
Number of pictures: 65
Number of tables: 9
Number of appendices: 1

Keywords: air spring, rubber, drawn-arc stud welding, clamping ring, test sample, ceramic ferrule, visual test, metallography control

Abstract

The first part of the thesis is devoted to the approximation of the production of rubber mixtures with following application in the production of air springs in Rubena a.s. These air springs are equipped with clamping rings which after cyclic tests did not exceed a set limit of 150,000 cycles. Welded studs cracked as a result of short lifetime of springs. The second half is dedicated to optimizing production conditions and mapping the most serious problems in the production of clamping rings. This optimization should lead to better studs welding and in dependence of it also completing the requirements of Rubena a.s.

1	Historie	9
1.1	Historie kaučuku	9
1.2	Historie gumárenského průmyslu	10
1.3	Historie vzduchového pružení	12
1.4	Popis postupu výroby vzduchových pružin	13
1.4.1	Příprava kaučukové směsi.....	13
1.4.1.1	Nepolární kaučuky	14
1.4.1.2	Polární kaučuky	15
1.4.1.3	Zpracování kaučukových směsí.....	15
1.4.1.4	Příspěvy zlepšující vlastnosti kaučukové směsi	16
1.4.1.5	Směs míchaná v uzavřeném hnětiči.....	17
1.4.1.6	Kompletní směs míchaná na otevřených dvouválcích.....	17
1.4.1.7	Vytlačování profilů	18
1.4.1.8	Vulkanizace.....	18
1.4.1.9	Povrchová úprava směsi	19
1.4.1.10	Výstupní kontrola produktu	20
1.5	Výroba vzduchových pružin	20
1.5.1	Příprava	20
1.5.2	Konfekce	21
1.5.3	Lisovna.....	23
1.5.4	Dokončovací operace	24
1.5.5	Kompletace	25
1.5.6	Expedice.....	25
2	Analýza použitých technologií výroby a metod hodnocení kvality	26
2.1	Obloukové přivařování svorníků	26
2.1.1	Zdvihové přivařování svorníků.....	27
2.1.1.1	Rozdělení metod zdvihového přivařování svorníků	29
2.1.1.2	Svorníky pro zdvihové přivařování	33

2.1.1.3	Druhy keramických kroužků.....	33
2.1.1.4	Popis používaných ochranných atmosfér.....	34
2.1.2	Kondenzované přivařování svorníků s hrotovým zapalováním (786).....	34
2.2	Svařovací zařízení pro zdvihové přivařování svorníku s keramickým kroužkem	36
2.2.1	Zdroje proudu a řídicí jednotka.....	36
2.2.2	Zařízení pro pohyb svorníků.....	37
2.2.3	Svařovací kabely	37
2.3	Metody hodnocení kvality	37
2.3.1	Nedestruktivní kontroly	38
2.3.1.1	Vizuální kontrola	38
2.3.1.2	Prozařovací zkouška	39
2.3.2	Destruktivní kontroly	39
2.3.2.1	Zkouška ohybem.....	40
2.3.2.2	Zkouška tahem	41
2.3.2.3	Zkouška krutem	41
2.3.2.4	Metalografické zkoušky.....	42
3	Zmapování nejzávažnějších problémů pro splnění požadavků na kvalitu	44
3.1	Kvalifikace postupu svařování.....	44
3.2	Rozsah kvalifikace	46
3.3	Upínací kruh.....	48
3.4	Nevyhovující kvalita svarů	50
3.5	Provedené zkoušky kvality pro firmu Rubena.....	53
3.5.1	Vizuální kontrola	53
3.5.2	Zkouška makrostruktury	54
4	Návrh experimentu	56
4.1	Návrh vhodných svařovacích podmínek.....	56
4.2	Porovnání vlastností svorníků.....	66
4.3	Optimalizace svařovacích parametrů.....	70
5	Vyhodnocení dosažených výsledků.....	74
5.1	Vzorek č.1 (700 A a 280 ms).....	74
5.2	Vzorek č.2 (680 A a 160 ms).....	75

5.3	Vzorek č.3 (680 A a 200 ms).....	75
5.4	Vzorek č.4 (680 A a 240 ms).....	76
5.5	Vzorek č.5 (680 A a 280 ms).....	77
5.6	Vzorek č.6 (680 A a 320 ms).....	77
5.7	Vzorek č.7 (720 A a 160 ms).....	78
5.8	Vzorek č.8 (720 A a 200 ms).....	78
5.9	Vzorek č.9 (720 A a 240 ms).....	79
5.10	Vzorek č.10 (720 A a 280 ms).....	80
5.11	Vzorek č.11 (720 A a 320 ms).....	80
5.12	Vzorek č.12 (760 A a 160 ms).....	81
5.13	Vzorek č.13 (760 A a 200 ms).....	82
5.14	Vzorek č.14 (760 A a 240 ms).....	83
5.15	Vzorek č.15 (760 A a 280 ms).....	83
6	Závěr.....	85
	Seznam literárních zdrojů.....	87
	Seznam použitých obrázků.....	90
	Seznam použitých tabulek.....	94
	Příloha.....	95

1 Historie

1.1 Historie kaučuku

Pro původní obyvatelé ameriky byl kaučuk znám již dlouho před příchodem evropských badatelů. První zmínka byla díky druhé Kolumbově cestě do Jižní Ameriky v letech 1493 až 1496. Zde mohli poprvé pozorovat výrobek z „Cah-Uchu“, neboli slzícím stromu (obr 1.1). Tento strom vylučující šťávu a tuhnoucí v elastickou hmotu byl využíván domorodci k výrobě skákacích míčů. Tato informace byla doložena v díle španělského historika Herrera-Tordesillase s názvem Všeobecná historie nesmírného kontinentu a ostrovů Ameriky. Další záznam o kaučuku doložil ve svých zprávách španělský páter Carvajal, který se zúčastnil dobrodružných výprav za hledáním bájného Eldoráda Gonzala Pizzara a Franciska de Orellana.[1]

O této hmotě se dočetl v roce 1734 francouzský chemik a fyzik Charles Marie de la Condamine v madridském královském archívu. Tímto krokem začíná vědecké zkoumání této hmoty. Při svých cestách viděl, jak domorodci používají tuto látku na výrobu nerozbitných lahví. Kaučuk byl nanášen na hlíněné lahve a po ztuhnutí tekutiny vybírali hlínu hrdlem ven. Po návratu do Paříže v roce 1745 tato hmota vzbudila velkou senzací a zájem. Zájem brzy opadl po zjištění, že ztuhlý kaučuk již nelze změnit opět do tekuté podoby. Experimenty s touto látkou ale nadále pokračovali. Jeho první praktické využití bylo v roce 1770, kdy anglický chemik J.Priestley zjistil, že pomocí kousku kaučuku lze odstranit stopy od tužky. Následně se kaučuk začal využívat k výrobě nepromokavých plachet a také pytlů na přepravu pošty, což si nechal patentovat v roce 1791 Samuel Paul. Anglické počasí nebylo pro tyto kaučukové vaky vhodné. V zimě tyto pláště křehly a tvrdly a při letních teplotách měkly a lepily se. Proto byla snaha zlepšit vlastnosti. To se podařilo pomocí roztoku síry Charlesovi Goodyearovi společně s Nathanielem Haywardem. Postupovali díky vytvořené modifikaci kaučuku, která byla založena na solarizačním procesu. Tento proces je založen na vystavení kaučukové fólie nejdříve účinku oxidu siřičitého nebo síry a následně působením slunečních paprsků. Tento postup si nechal patentovat Hayward téhož roku. Bohužel vlastnosti byly stále nedostatečné, a projevovaly se za chladného počasí zápachem a tvrdnutím a naopak za tepla měknutím a lepením. Charles Goodyear ve výzkumu pokračoval a ještě v roce 1839 objevil, že v roztavené síře se kaučuk nerozpouští, ale naopak tuhne a vzniká

odolnost vůči teplu, chladu a rozpouštědlům. Experimentálně dokázal, že síra chemicky reaguje s kaučukem a zahříváním směs vykazuje nové vlastnosti. Tento objev si nechal Goodyear patentovat v roce 1844. V roce 1842 se v Anglii Thomas Hancock dozvídá od Williama Brockendona o výrobcích od Goodyeara, u kterých zjistil, že páchnou po síře a jsou odolné vůči nízké teplotě. I když neznal objev Goodyeara ohledně jeho přípravy kaučuku, tak nezávisle na něm zjistil, že je možné zlepšit vlastnosti při zahřívání v roztavené síře. Touto technikou jako první představil ebonit (tvrdá pryž). Oba se tedy podíleli na objevení tzv. vulkanizace. Název tohoto pojmu je odvozen od jména řeckého boha Vulkána, jehož vlastností je schopnost ovládat síru a teplo.[1]

1.2 Historie gumárenského průmyslu

Rozvoj gumárenského průmyslu nastal s vynálezem pneumatiky. Robert Thompson jako první patentoval hadici z pogumovaného textilu, která obsahovala kožené pouzdro přišroubované na obvod dřevěného kola. Na Roberta Thompsona navazuje v roce 1888 J.B. Dunlop a až v tuto dobu nachází pneumatika praktické uplatnění na jízdním kole. Zhoršení podmínek pro vývoj gumárenského průmyslu zapříčinila nedostatečné množství a vysoká cena pryže. Tato skutečnost donutila vědce od roku 1870 pro hledání alternativy v podobě syntetického kaučuku. Pro vývoj bylo nejdříve zapotřebí určení stavebních prvků přírodního kaučuku, které objevil Granvil Williams v roce 1860. Destilací přírodního kaučuku dosáhl čisté látky, kterou pojmenoval izopren. V tuto dobu byly podniky se zpracováním pryže závislé na dodávkách přírodní suroviny z Brazílie. Pro Brazílii znamenala tato monopolní situace velký zdroj příjmů, který podporoval devastaci deštných pralesů. Proto vznikla v roce 1872 myšlenka založit kaučukovníkové plantáže na Dálném východě, ale James Collins nedostal povolení vyvézt z Brazílie semena ani sazenice. Toto se povedlo v roce 1876 Henry Wickhamovi, který tajně dovezl 70000 semen, z nichž se v Londýně podařilo vypěstovat 2000 sazenic. Tyto sazenice byly následně převezeny na Cejlon, kde se jim dařilo a následně expandovali do Malajsie a na Borneo. Díky těmto plantážím postupně vymizela těžba kaučuku v deštných pralesech. K získání vlastností vylepšující strukturu pryže, jako jsou pružnost a odolnost vůči odírání, se využívá především polymerace, tedy chemická reakce, při které vznikají z jednotlivých molekul makromolekuly.[1]

Pro vývoj syntetického kaučuku bylo důležité vyjasnění polymeračního procesu, který patentovali v roce 1910 angličtí chemikové Strange a Matthews. Se stejnou problematikou pracovali v té době i ruští chemici a I. L. Kondakov objevil, že zpolymerizovat může nejen izopren, ale také dimethylbutadien díky zahřívání sodíkem nebo hydroxidem draselným. Následně v roce 1909 S. V. Lebeděv prokázal, že polymerace butadienu vlivem zvýšené teploty (za tlaku v kapalně fázi), způsobí u všech konjungovaných dienů přeměnu na kaučuk. I když byl syntetický kaučuk vyvinut, nastala v roce 1913 tzv. gumová krize. Ta byla zapříčiněna vysokými náklady na výrobu a nedokonalými vlastnostmi syntetického kaučuku oproti kaučuku přírodnímu. Za 1. světové války se syntetický kaučuk v podobě dimethylbutadienu využíval v Německu, což bylo způsobeno bloádou Německa a tím nedostatkem přírodního kaučuku. Použit byl na výrobu ebonitových skříní akumulátorů v německých ponorkách.[1]

V období druhé světové války se již syntetický kaučuk využíval naplno. V Evropě byl vývoj oproti Spojeným státům americkým na vyšší úrovni. Proto byl v USA nakonec vývoj tohoto produktu podporován vládou stejně jako projekt Manhattan (což bylo označení pro výrobu atomové bomby).[1]

Posledním velkým milníkem v gumárenském průmyslu způsobilo vyvinutí syntetického izoprenového kaučuku. Ten v kombinaci s přírodním kaučukem nebo i samotný, dokáže nahradit přírodní kaučuk ve všech aplikacích. I přes vývoj různých syntetických kaučuků je do budoucna stále výhodný přírodní kaučuk, který neobsahuje žádné neobnovitelné zdroje (především ropu).[1]

První zmínky o gumárenství v České republice jsou spojeny s firmou Baťa ve Zlíně. V roce 1931 byly vyrobeny první pláště pro jízdní kola.[1]



Obr. 1.1 - Sběr přírodního kaučuku[2]

1.3 Historie vzduchového pružení

Nedlouho po objevení vulkanizace se začalo pracovat na průmyslovém využití kaučuku. Jedna ze zkoumaných aplikací byla i pneumatická pružina, která by pracovala na bázi stlačeného vzduchu jako pružící médium. První, kdo pracoval na vzduchovém pružení a následně obdržel patent na membránové pružiny byl J. Lewis a to již v roce 1847. Nicméně v tuto dobu nešly prakticky použít. Využití pneumatických pružin se s rozvojem automobilového průmyslu plně začal využívat až po první světové válce. Pokusy o pérování díky pneumatickým pružinám tvořeným posuvnými písty ve válcích byly v České republice zkoušeny v letech 1927-1929 na nákladním automobilu Tatra. Bohužel i tyto testy nepřinesly pozitivní výsledky, když docházelo k tření v posuvných pístech, které znamenalo rychlé opotřebování válců. Dalším pokusem o zvýšení komfortu jízdy byla aplikace pneumatických pružin s vlnovcovým pryžovým elementem a armovaným kordem. V roce 1930 byly v Anglii aplikovány na závodní automobil Bluebird a v roce 1931 v Itálii u osobního automobilu Regotti. Zkoušky byly brzy zastaveny, protože životnost byla velmi nízká. Až v roce 1953-1955 byly po dlouholetém vývoji schopni konstrukčně a technologicky ve firmě Firestone dokonale provést výrobu a aplikovat pro pérování sériově vyráběných autobusů GM 4104. Jízdní vlastnosti zvýšily komfort a životnost převyšovala 1 milion kilometrů. U osobních automobilů se vzhledem

k vysokým pořizovacím nákladům a poruchovosti vytvořila nedůvěra zákazníků. V sériové výrobě se úspěšně uchytily pouze u automobilu Daimler-Benz 300 SE v roce 1961. Firma Firestone se nadále zabývala využitím a zdokonalením pneumatických pružin a to například výrobou obdélných vlnovců pro pérování náprav těžkých nákladních automobilů. Využití pneumatických pružin stále rostl díky vyšší žívnosti a nízké hmotnosti, oproti dříve používaným ocelovým pružinám. V praxi se dále začaly používat k pérování sedadel řidiče, pro uložení strojů s dynamickými a rázovými účinky, k vibroizolaci laboratorních zařízení a pro přenos velkých výkonů u pružných hřídelových spojek.[3]

1.4 Popis postupu výroby vzduchových pružin

V této kapitole bude popsán postup přípravy kaučukové směsi pro následnou výrobu vzduchové pružiny.

1.4.1 Příprava kaučukové směsi

Pryž je zcela zvláštní látka. Vyniká zejména schopností vratné deformace, tj. elasticitou. Pryžový pásek je možno protáhnout na několiknásobek původní délky nebo naopak stlačit, ohýbat a zkrucovat, aniž by došlo k jeho porušení. Po uvolnění zaujímá opět původní tvar a rozměry. Díky této pružnosti jsou pryžové materiály označovány jako elastomery. Mezi další vlastnosti patří nízká propustnost pro vodu a plyny, dobré pevnostní vlastnosti a odolnost proti odírání. U některých speciálních druhů můžeme vyvolat vlastnosti jako odolnost vůči teplotám nad 200 °C nebo ohebnost až do teplot 100 °C.[1]

Výchozí surovinou pro výrobu pryže je přírodní nebo některý druh syntetického kaučuku. Z chemického složení známe jeden druh přírodního kaučuku, u kterého následnou úpravou určujeme požadované vlastnosti. Oproti tomu syntetický kaučuk má různé chemické složení, které vzniká z různých druhů výchozích monomerů. Zpracovatelské a aplikační vlastnosti u těchto kaučuků vznikají díky kombinaci dvou až tří základních monomerů. Kaučuk se následně smíchá s různými přísadami na kaučukovou směs a teplem se vulkanizuje. Teprve po vulkanizaci získává kaučuková směs své elastické nebo mechanické vlastnosti jako tvrdost, pevnost v tahu a tažnost.[1]

Elasticita pryže je určena na základě molekulové struktury. Každá molekula kaučuku je tvořena dlouhým řetězcem opakujících se základních segmentů (monomerů). Toto řetězovité uspořádání několika tisíc monomerů představuje polymer. Polymerové řetězce jsou po celé délce do značné míry zakroucené a propleteny s jinými molekulami. Před vulkanizací nejsou řetězce navzájem spojeny chemickou vazbou, ale drží pohromadě díky malým mezimolekulárním silám. Díky tomu můžeme natáhnout určitou silou řetězce, které se po ukončení tažné síly vrátí opět do zakroucené polohy. Pokud zvětšíme tažnou sílu, řetězce po sobě začnou klouzat a zotavení je pouze částečné.[1]

1.4.1.1 Nepolární kaučuky

Označují se také jako uhlovodíkové kaučuky, protože polymerní řetězce jsou složeny pouze z uhlíku a vodíku. Po vulkanizaci nejsou odolné proti chemicky příbuzným uhlovodíkovým látkám, jako jsou minerální oleje, benzín nebo toluen. Naopak jejich předností je odolnost v polárních médiích, jako je voda, alkoholy, glykoly, brzdové kapaliny na glykolové bázi, některé ketony a estery.[1]

1.4.1.1.1 Izoprenový kaučuk

Synteticky vyrobený kaučuk s vysokým stupněm čistoty, díky čemuž se vlastnostmi velmi blíží kaučuku přírodnímu. Neobsahuje doprovodné přísady přírodního kaučuku. Tyto přísady urychlují vulkanizaci a zlepšují odolnost vůči stárnutí. Tento syntetický kaučuk se v kombinaci s butadienstyrenovým kaučukem využívá pro výrobu pneumatik a technické pryže.[1]

1.4.1.1.2 Butadienstyrenový kaučuk

Nejvíce rozšířený kaučuk, který běžně obsahuje 23,5% styrenu. Pokud kaučuk obsahuje více styrenu, má spíše termoplastický charakter, který se dá využít třeba pro zvýšení tvrdosti vulkanizátů. Pro mechanické vlastnosti blíží se přírodnímu kaučuku se přidávají ztuzující plniva (obvykle saze). Oproti izoprenovému a přírodnímu kaučuku mají lepší odolnost proti odírání, teplu a stárnutí. Naopak horší pružnost a ohebnost za nízkých teplot.[1]

1.4.1.1.3 Butadienový kaučuk

Butadienový kaučuk po vulkanizaci dosahuje vyšší pružnosti než přírodní kaučuk. Díky této pružnosti vznikají nízké hysterezní ztráty, což způsobuje nízké hřetí (= tužší vulkanizant) pryže. Další kladné vlastnosti jsou vysoká odolnost proti odírání a ohebnost za nízkých teplot. Nevýhodou tohoto syntetického kaučuku je nízká pevnost s obtížnou zpracovatelností. Primárně se používá pro výrobu pneumatik.[1]

1.4.1.2 Polární kaučuky

Jejich chemické složení obsahuje řetězce C a H spolu s jinými prvky, které způsobují polaritu molekuly. Tyto pryže jsou více nebo méně napadány chemicky podobnými látkami, např. estery, zatímco např. v benzínu a minerálních olejích jsou dobře odolné.[1]

1.4.1.2.1 Butadienakrylonitrilový kaučuk

Charakteristickým ukazatelem je obsah akrylonitrilu, který je mezi 18 – 50 %. S rostoucím množstvím se zlepšuje odolnost proti benzínu a minerálním olejům a snižuje elasticita, mrazuvzdornost a propustnost pro plyny. Pomocí změkčovadel můžeme výrazně ovlivnit jejich vlastnosti. Díky své polovodivosti se využívají v místech se vznikem elektrostatického náboje, např. u tankovacích hadic.[1]

1.4.1.3 Zpracování kaučukových směsí

Složení gumárenské směsi je vždy zaměřeno na konkrétní aplikaci. K hlavní složce směsi kaučuku přidáváme různé množství přísad. Uvádí se, že v průměru obsahují 10 až 30 složek. Tyto složky jsou například plniva, přísady proti stárnutí, změkčovadla, pigmenty, vulkanizační prostředky, urychlovače, aktivátory, zpoždovače vulkanizace atd. Tyto složky se podle daného receptu navažují automaticky pomocí zásobníku a vah v tzv. navažovně. Program následně vytvoří i průvodní dokumentaci, která slouží jak ke správnému rozpoznání směsi pro operátora, tak i pro zpětné vysledování každé dávky podle certifikačních požadavků norem ISO a VDA (automobilový průmysl).[1]

1.4.1.4 Příspěvky zlepšující vlastnosti kaučukové směsi

1.4.1.4.1 Plniva

Ve velkém množství se do kaučuku přidávají jak saze, tak minerální plniva. Hlavní důvodem je zvýšení zpracovatelnosti a zlepšení vlastností vulkanizátu, především tvrdosti. Další zlepšení vlastností je díky ztužujícímu účinku. Tento pojem z gumárenského průmyslu vysvětluje zlepšení řady vlastností pryže, jako např. pevnost v tahu, tažnost, modul strukturní pevnosti a odolnost proti odírání. Neexistuje ale druh plniva, který by zvládl všechny vlastnosti zlepšit. Proto pro danou směs hledáme kompromis. Zatímco přírodní kaučuk samotný má poměrně vysokou pevnost, většina syntetických kaučuků by bez přísad plniv byla nepoužitelná. Z tohoto hlediska dělíme plniva na ztužující a neaktivní. Čím vyšší ztužení, tím je horší zpracovatelnost směsi.[1]

1.4.1.4.2 Pigmenty

Pro vytvoření barevné směsi se používají pigmenty. Pouze směsi s bílými plnivami je možné barvit přidávkou anorganických nebo organických pigmentů. Směsi s přidávkou sazí zůstávají vždy černé. Mezi anorganické pigmenty patří například oxid železitý nebo titaničitý. Tyto přísady jsou velmi stálé za zvýšených teplot a v agresivním prostředí. Momentálně se jejich užívání snižuje z ekologického důvodu. Organické pigmenty poskytují sice jasné zbarvení, ale jsou tepelně málo stálé, vykvétají na povrch a snadno se vyluhují v rozpouštědlech, olejích a tucích.[1]

1.4.1.4.3 Změkčovadla a přísady pro zlepšení zpracovatelnosti

Změkčovadla se používají ve směsích pro zlepšení zpracovatelnosti, plasticity, disperze. K tomuto účelu stačí poměrně levné minerální oleje. Se zvýšením množství změkčovadel se ale zhoršují mechanické vlastnosti vulkanizátů.[1]

1.4.1.4.4 Prostředky proti stárnutí

Do této skupiny patří organické sloučeniny (např. aromatické aminy, fenoly, sulfidy), kdy stačí poměrně malé množství ke zpomalení stárnutí vulkanizantů. Tyto prostředky tedy zvyšují životnost. Většinou se nevystačí s jedním druhem, ale používají se kombinace prostředků se specifickou účinností. Rozlišují se prostředky zabarvující nebo nezabarvující. Nejúčinnější zabarvují pryž tak silně, že jsou použitelné pouze v sazových směsích. Používání agresivních prostředků proti stárnutí se v poslední době z ekologických důvodů omezuje.[1]

1.4.1.4.5 Vulkanizační prostředky

Tyto prostředky ovlivňují vlastní vulkanizaci. Hlavní složkou je již od objevení vulkanizace stále síra. Dávkování síry ovlivňuje mechanické vlastnosti a stárnutí vulkanizantů. Čím vyšší je množství síry, tím je rychlejší proces stárnutí, snižují se elastické a pevnostní vlastnosti.[1]

1.4.1.5 Směs míchaná v uzavřeném hnětiči

Směsi vznikají mícháním převážně v uzavřených hnětičích s chlazenou míchací komorou. V této komoře se proti sobě pohybují dva otáčivé tvarované rotory. Prvky, které do směsi patří se přivádějí do hnětiče pomocí pneumaticky ovládaného pístu. Doba pro zamíchání směsi v hnětiči o hmotnosti 100–250 kg je přibližně 3-6 minut. Díky intenzivnímu míchání vzniká uvnitř hnětiče teplota až 150°C. Aby se vyloučila navulkanizace při těchto teplotách, míchá se směs bez přísad urychlovačů. Ty se přidávají na dvouválcích, které se nacházejí přímo pod hnětičem, kde se směs částečně vychladí a připraví na paletu.[1]

1.4.1.6 Kompletní směs míchaná na otevřených dvouválcích

Míchání kompletních směsí na otevřených dvouválcích je v poslední době omezeno na malé provozy a na speciální směsi, které se vyrábí v malém množství. Mezera mezi oběma válci, které se otáčejí proti sobě nestejnou rychlostí je nastavena tak,

aby vznikl návalek. Vznikají zde maximální střižné síly umožňující vmíchání plniv a ostatních složek směsi. Produktivita je u tohoto způsobu výrazně nižší. Doba míchání směsi o hmotnosti 30-50kg se pohybuje kolem 30-45 minut. Válce jsou chlazeny vodou a tím by neměla teplota překročit 100 °C. Díky tomu může operátor ihned vykrajovat pláсты na stojany k vychlazení. Kvalita směsi je zde ovlivněna i zručností operátora.[1]

Po zamíchání směsi v hnětiči nebo na dvouválci musí vzorek projít kontrolou. Kladné hodnoty musí vykázat u zkoušek na plasticitu, vulkanizační schopnost, tvrdost, tažnost a pevnost v tahu. Následně může postoupit do další fáze výroby.[1]

1.4.1.7 Vytlačování profilů

Pokud je směs zamíchána, pak je nutné jí před vlastní vulkanizací připravit buď do konečného tvaru (vytlačování hadic a profilů), nebo do tvaru, který je vhodný pro vložení do formy. Vytlačovací stroj pracuje na principu „strojku na maso“. Ve válcovém pouzdře se otáčí šnek. Do stroje postupuje směs ve formě pásku nebo granulí a otáčením šneku se plastifikuje. Následně je vytlačena hubicí s potřebným tvarem. Podle potřeby se hubice vyhřívá nebo chladí. Vzhledem k tomu, že vytlačený profil po opuštění hubice narůstá, používají se hubice s menším rozměrem. Profil, který opouští vytlačovací stroj, se zpravidla odebírá dopravním pásem, kde je umístěna chladicí lázeň. Ta má za úkol vyrovnat délkové smrštění. Na konci je potřeba ještě ukrojit směs, což se provádí buď ručně nebo strojně.[1]

1.4.1.8 Vulkanizace

V této fázi výroby přechází kaučuková směs z plastického stavu na elastický. Teprve po vulkanizaci dostává výrobek tvarovou stabilitu a požadované mechanické vlastnosti.[13]

Tato chemická reakce vede k zesíťování makromolekul. Vytváří se chemické příčné vazby, kdy z těchto „propletenin“ jednotlivých řetězců vzniká kompaktní trojrozměrná síť. Čím větší je zesíťování, tím je produkt elastičtější.[1]

U tohoto procesu se musí hlídat čas i teplota. Obecně platí, že se vzrůstem teploty o 10°C se vulkanizační doba zkracuje přibližně na polovinu. Přirozeně je tedy snaha zvolit

co nejvyšší teplotu kvůli produktivitě práce. Toto úsilí má samozřejmě své hranice, které jsou dané tepelnou odolností konkrétního druhu kaučuku. Působením velmi vysokých teplot se mohou vulkanizanty značně poškodit tzv. reverzí. Jedná se o chemické odbourání vulkanizantů způsobené převulkanizací. Reverze je charakteristická zejména u směsí z přírodního kaučuku a butylkaučuku. Hlavními projevy bývá měknutí, ztráta elasticity a lepivost.[1]

Dalším omezením pro vulkanizační teplotu je tloušťka stěny výrobku. V závislosti na nízké tepelné vodivosti se zvyšuje doba vulkanizace. U těchto objemných výrobků je potřeba nalézt optimální teplotu, která se získá pomocí zkušebních vulkanizací. Pokud se zvolí příliš vysoká teplota, tak se převulkanizuje vnější vrstva, zatímco uvnitř materiál nevulkanizuje. Obecně se mohou pohybovat v rozmezí od pokojové teploty až do 300°C a vulkanizační doby mohou být řádově několik vteřin až hodin. Různými způsoby můžeme zvulkanizovat směs, kdy nepoužívanější jsou vulkanizace v lise, volná vulkanizace v tlakovém kotli a kontinuální vulkanizace.[1]

1.4.1.9 Povrchová úprava směsi

Provádí se u některých výrobků ke zlepšení vzhledu povrchu, snížení koeficientu tření, zamezení vzájemného slepování výrobků a k zvýšení odolnosti proti nežádoucím vlivům. Zlepšení povrchového vzhledu je aplikováno spíše u volně vulkanizovaných výrobků, protože lisované výrobky mají použitím leštěných forem většinou vyhovující vzhled.[1]

Mnohé pryžové výrobky mají při skladování sklon k vzájemnému slepení a upravují se proto pomocí separačních prostředků (klouzek, silikonové oleje, emulze). Nevhodné prostředky jsou vazelíny, minerální oleje a tuky, které u řady vulkanizantů způsobují nabobtnávání a tím znehodnocují jejich povrch. Odstranění separačního prostředku je snadné, kdy stačí oděr nebo smytí.[1]

Pokud u výrobku chceme dlouhodobý ochranný účinek, pak využíváme halogenování povrchu. Při tomto procesu se výrobek ponořuje do vodného roztoku sloučenin, které uvolňují chlór, bróm nebo fluor v reaktivní formě. Po smočení se výrobky neutralizují, očistí vodou a vysuší. Pokud je vše kvalitně provedeno, na povrchu se vytvoří velmi tenká pružná vrstvička, která zabraňuje vysokému koeficientu tření.[1]

1.4.1.10 Výstupní kontrola produktu

Existuje řada výrobků, u kterých je nutno kontrolovat každý kus. Pro většinu aplikací postačí rychlá vizuální kontrola, případně vizuální kontrola při větších zvětšeních. Přesný rozsah výstupní kontroly stanoví pro každý výrobek příslušné kontrolní plány, které specifikují také požadované průvodní zkoušky fyzikálně-mechanických vlastností.[1]

1.5 Výroba vzduchových pružin

Výroba vzduchových pružin v podniku Rubena a.s. Skládá se z přípravy, konfekce, lisování, opracování, kompletace a závěrečné expedice. Je to jeden z největších vývozních artiklů této firmy, který je spojen s mnohým průmyslovým využitím. Se vzduchovou pružinou se můžeme setkat v laboratořích, automobilovém nebo strojním průmyslu.

1.5.1 Příprava

Veškerá výroba začíná na středisku přípravy směsí, která se nazývá „válcovna“. Zde se připravuje gumárenská směs na hnětičích nebo kalandrech pro všechny aplikace v podniku. Na středisko výroby vzduchových pružin putují gumové pásy různých šířek a tloušťek, které se nasekávají na požadované formáty. Ty jsou použity jako základ pro konfekci u všech typů vzduchových pružin. Druhou možností je tzv. hadice, což jsou vytlačená dutá pouzdra s různou tloušťkou stěn. Stroj na přípravu hadic se nazývá extruder (viz. obr.1.2) a uvnitř obsahuje šnek, který pracuje na principu „mlýnku na maso“. Vložený materiál se postupně promíchává a na konci vytlačuje v daném tvaru pro následné zpracování. Tato technologie se nevyužívá u všech typů, protože je dražší. Využívá se pouze při pokynu zákazníka, který požaduje preciznější výrobek bez spoje.



Obr. 1.2 - Extrudér

Pro výrobu je ještě nutné připravit tři suroviny. První z nich je kord, což je v podstatě pogumovaný textil. Ke dělení kordů se používá speciální stroj zvaný kráječka. Nařezání probíhá pomocí nasazeného válu s kordem, který se přes skupinu válců pohybuje po stole k noži. Druhou surovinou je konfekční roztok, což je pryž rozpuštěná v benzínu. Zajišťuje slepení gumy a kordu k sobě. Posledním prvkem jsou patkové výztuhy. Můžou to být buď kroužky z tvrdé pryže nebo stlačené kroužky z pogumovaného drátu od externí firmy.

1.5.2 Konfekce

Při této operaci se vyrábí polotovary pro vzduchové pružení. Vše je prováděno na konfekčním stroji. Hlavním komponentem stroje je válec, který je vyměnitelný podle požadované dimenze. Na válec (viz. obr. 1.3) je nasazena buď hadice nebo fólie (čtverec, který se obtočí kolem válce a spojí se roztokem). Operátor následně nabalí kord a zde je důležité na jakém typu vlnovce pracuje. Vyrábí se buď dvojitěvrstevná nebo čtyřvrstevná, kdy vlnovec obsahuje dva nebo čtyři vrstvy kordů. Po přidání kordů je nutné přidat tzv. patní kroužky. Poslední částí výroby na konfekčním stroji je nabalení vrchní folie. Tato folie je podobná spodní jen je slabší. Po tomto kroku je práce na stroji dokončena a operátor může vysunout polotovar z válce. Před lisováním (viz. obr. 1.4)

je nutné ještě vyvální v brusném prachu (velice jemně rozdrčená guma), který pomáhá k odvzdušnění povrchu při lisování a tím zamezuje vzniku možných vad např.: vzduchové nedotlaky.



Obr. 1.3 - Válec pro tvorbu polotovaru



Obr. 1.4 - Polotovar vyváln v brusném prachu

1.5.3 Lisovna

V lisovně už probíhá finalizace výroby. Prvním úkolem operátora před samotným lisováním je nabombírování vzduchové pružiny. Podstatou bombírování je upnutí polotovaru za patky, tak aby neunikal vzduch, který je potřebný přeměně válcového polotovaru na přibližný tvar konečného produktu ve tvaru vln. Podmínkou k vytvoření vln je upnutí do kleštin, kdy podle jejich počtu vytvoříme takový počet vln. Používají se buď jedny, dvojce nebo žádné. Následně je do vlnovce vpuštěn vzduch o tlaku 0,1 MPa a navíc operátor pomocí tlačítka, které ovládá hydrauliku tlačí spodní část bombírky nahoru. Tato operace tedy způsobí rozpínání vzduchu do šíře, a tím vytvoření požadovaných vln (viz. obr. 1.5).



Obr. 1.5 - Bombírování vzduchové pružiny

Doba bombírování se liší podle velikosti vzduchového pružení od 12 do 40 minut (podle lisovacího taktu) a je nutné aby trvala minimálně 50% lisovacího procesu. Po nabombírování přesune operátor vytvarovanou vzduchovou pružinu do formy. Formy jsou buď půlené nebo skládané (málo používané). Po vložení do formy pokračuje proces vulkanizace nastavením správných parametrů pomocí hydrauliky, která ovládá lis nahoru

a dolu, což způsobí zatlačování. Po správném zatlačování je vpuštěna pára o teplotě $178^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ a tlaku přibližně 8 bar. Čas vulkanizace je opět nastaven podle velikosti vlnovce. Pára svým tlakem a teplotou rozpíná vlnovec do formy a tím způsobuje vyplnění celé formy, ale také otisk informací, které jsou ve vnitřní části formy (logo firmy, sériové číslo). Konec vulkanizace pozná operátor podle světelného signálu u lisu, následně lis otevře odpustí tlak páry a vyjme vzduchovou pružinu z formy (viz. obr. 1.6). Proběhne rychlá vizuální kontrola a uložení na určené místo, ze kterého pokračuje na další stanoviště.



Obr. 1.6 - Vzduchová pružina před a po vulkanizaci

1.5.4 Dokončovací operace

Vzduchová pružina po lisování putuje na středisko opracování, kde se provádí odstranění přetoků z výrobku. Tato práce je zcela manuální. Operátorky nejdříve pomocí nůžek odstraní přetoky a znovu provedou podrobnou vizuální kontrolu. Pokud je vše v pořádku uloží výrobek do připravených beden.

1.5.5 Kompletace

Na středisku kompletace se na vzduchovou pružinu nasadí kovové díly (víka, upínací kruhy a středové kruhy mezi vlny). Tím je dotvořen kompletní výrobek, který je připraven k expedici.



Obr. 1.7 - Zkompletované vzduchové pružiny

1.5.6 Expedice

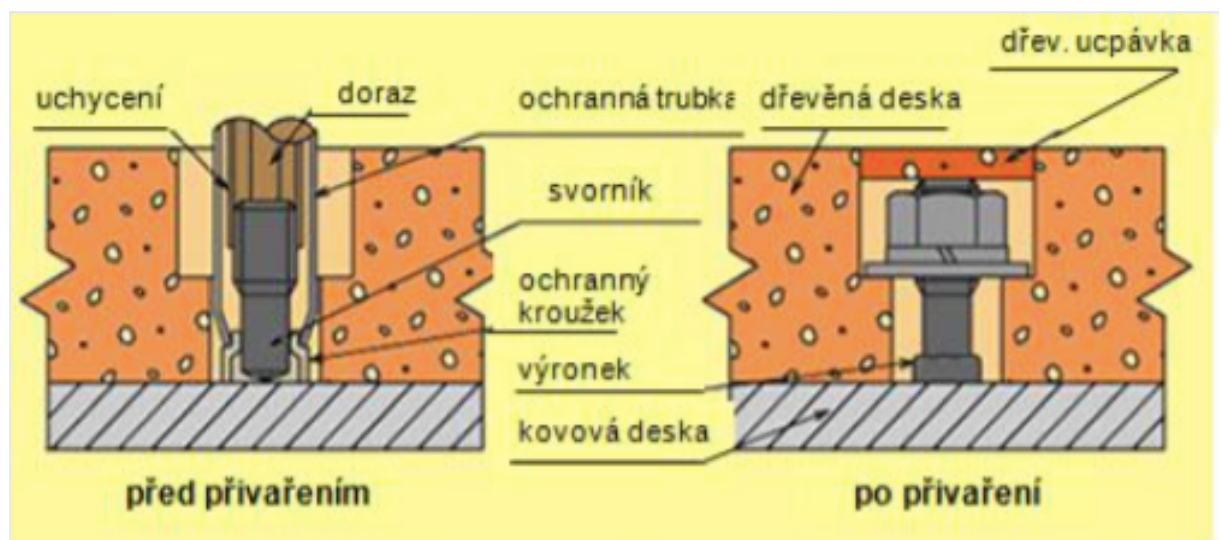
Poslední částí výroby je expedice. Vzduchové pružiny jsou uloženy v zapáskovaných krabicích, které jsou přemístěny do servisního skladu. Zde jsou výrobky odebírány obchodníky nebo se přeskládávají na kamiony, které je odváží do různých částí světa.

2 Analýza použitých technologií výroby a metod hodnocení kvality

V této kapitole bude představena technologie přivařování svorníků, které se dělí na dva způsoby. Metoda zdvihového přivařování svorníků a kondenzované přivařování svorníku s hrotovým zapalováním. V druhé části kapitoly budou popsány komponenty svařovacího zařízení a především metody kontroly kvality svarového spoje.

2.1 Obloukové přivařování svorníků

Poprvé se tato technologie využila v roce 1918 při výrobě lodi v přístavišti H. M. Dockyard v Portsmouthu. Následně se technologie rozšířila do USA, kdy byly v roce 1934 na palubě letadlové lodi přivařeny svorníky a ty byly poté připojeny ke dřevěným deskám, které zpevnily konstrukci. (obr 2.1). Po konci druhé světové války se technologie rozšířila do stavebnictví (zejména staveb mostů), automobilového průmyslu a mnoha dalších odvětví.[4, 5, 6]



Obr. 2.1 - Přivaření svorníků ke zpevnění paluby lodi pomocí dřevěných desek [4]

Základním principem obloukového přivařování svorníků je primárně přivařování válcově tvarovaných kovových součástí na základní materiály z kovu. Oblouk mezi čelem svorníku a základním materiálem se krátce zapálí. To způsobí tavení obou částí, které

se následně spojí. Existují dvě základní metody přivařování svorníků. Dělíme je podle způsobu zapalování na zdvihové přivařování svorníků (obvykle používané do 25 mm průměru svorníku) a přivařování svorníků s hrotovým zapalováním (obvykle do 10 mm průměru svorníku). Hlavními znaky této technologie je velmi krátká doba hoření oblouku (0,5 ms až 3000 ms), což způsobuje i vysokou rychlost ohřevu a ochlazení. Rychlým průběhem svařovacího procesu vzniká velmi úzký svarový spoj (0,2 – 0,5 mm), který je minimálně ovlivněn okolní atmosférou. Vzniklý spoj mezi základním materiálem a svorníkem má vyšší pevnost než tělo přivařovaného svorníku.[5, 7]

Pro kvalitu svorníkového svaru nestačí pouze přesné dodržení specifikace postupu svařování, ale také kvalita svařovaného dílu, správná funkce svařovacích pistolí, stav příslušenství a napájecího zdroje. Výhody této metody oproti jiným je, že není vyžadován přístup z druhé strany obrobku, a také nevyžaduje speciální zručnost pracovníka – operátora (pokud pracuje s kvalifikovaným postupem svařování).[5, 6]

2.1.1 Zdvihové přivařování svorníků

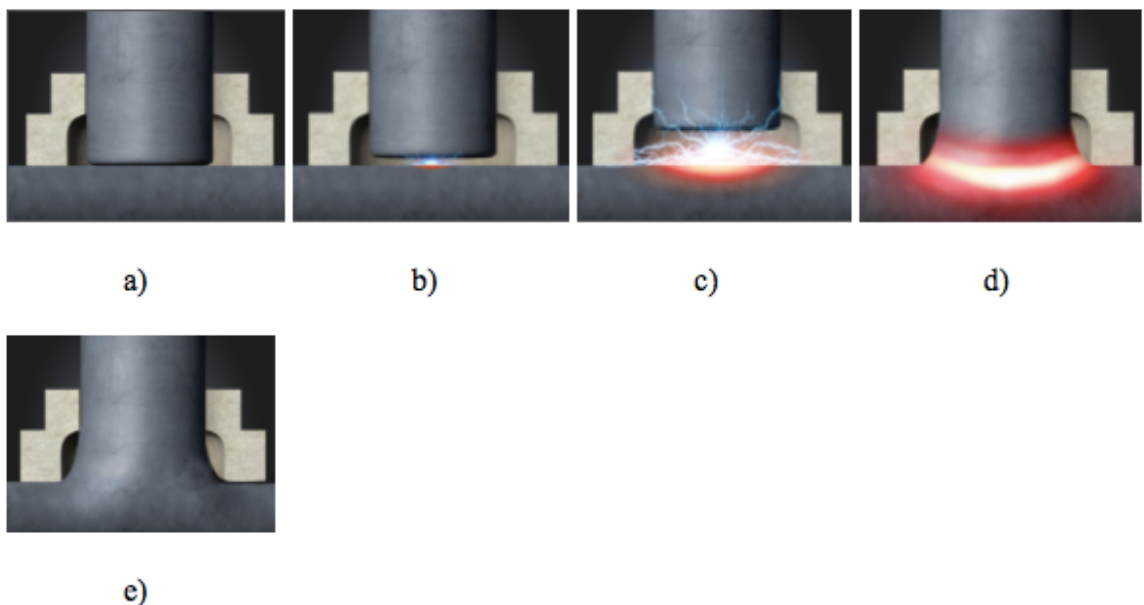
Metoda zdvihového přivařování svorníků se může provádět mechanicky nebo automaticky a to buď s pomocí svařovacích pistolí nebo svařovacích hlav. Svorník je vkládán do držáku svorníku, který může být opatřen keramickým kroužkem a následně se přiloží k základnímu materiálu. Začátek svařovacího cyklu se projeví mechanickým zvednutím svorníku, po kterém následuje obvykle zapálení pomocného oblouku. Postup pokračuje zapálením hlavního oblouku mezi hrotem svorníku a základním materiálem, což způsobí natavení čela svorníku a základního materiálu. Posledním krokem přivařování je ponoření svorníku, malou silou (< 100 N), které nastává po uplynutí svařovací doby (viz obr. 2.2).[5]

Při daném svařování lze použít tři techniky ochrany svarové lázně:

1. Keramickým kroužkem (CF) - chrání svarovou lázeň vytvořením kovových par ve vnitřním prostoru kroužku, koncentruje a stabilizuje oblouk, dále také formuje svarovou lázeň do výronku spolu. Keramický kroužek se „průchodem“ svařovacím cyklem materiálově znehodnotí, proto by na každý spoj by se měl použít nový keramický kroužek.

2. Ochranným plynem (SG) – ochranným plynem dodávaným z externího zdroje (obvykle z tlakové láhve) se atmosféra vytlačuje z oblasti oblouku a tím zapříčiní snížení tvorby pórů. Dále ochranná atmosféra ovlivňuje stabilitu oblouku (obdobně jako u svařování el. obloukem v ochranných atmosférách, účinek je ale díky velmi krátkému času procesu méně znatelný) a působí na tavení svorníku a základního materiálu. Vzniklým povrchovým napětím dopomáhá k tvarování svarového výronku a k tvorbě průvaru. Zásadně by se měl ochranný plyn využívat v poloze vodorovné shora (PA podle ČSN EN ISO 6947) se svařovací dobou menší než 100 ms. Pro ocelové materiály se primárně používá směs argonu a oxidu uhličitýho (které se běžně používají především pro MAG procesy svařování). Pouze u hliníku i jeho slitin se nejčastěji využívá čistý argon nebo směs argonu s héliem.

3. Bez ochrany (NP) – Tento způsob lze použít pouze pro malé průměry svorníku (< 10 mm) a krátké svařovací doby (< 100 ms). Vzniká silná oxidace oblasti svaru, vyšší náchylnost na tvorbu pórů a nepravidelný svarový výronek. (Obvykle se používá především u tzv. kondenzátorového přivařování svorníků, které se realizuje při extrémně krátkých časech svařování).[5]



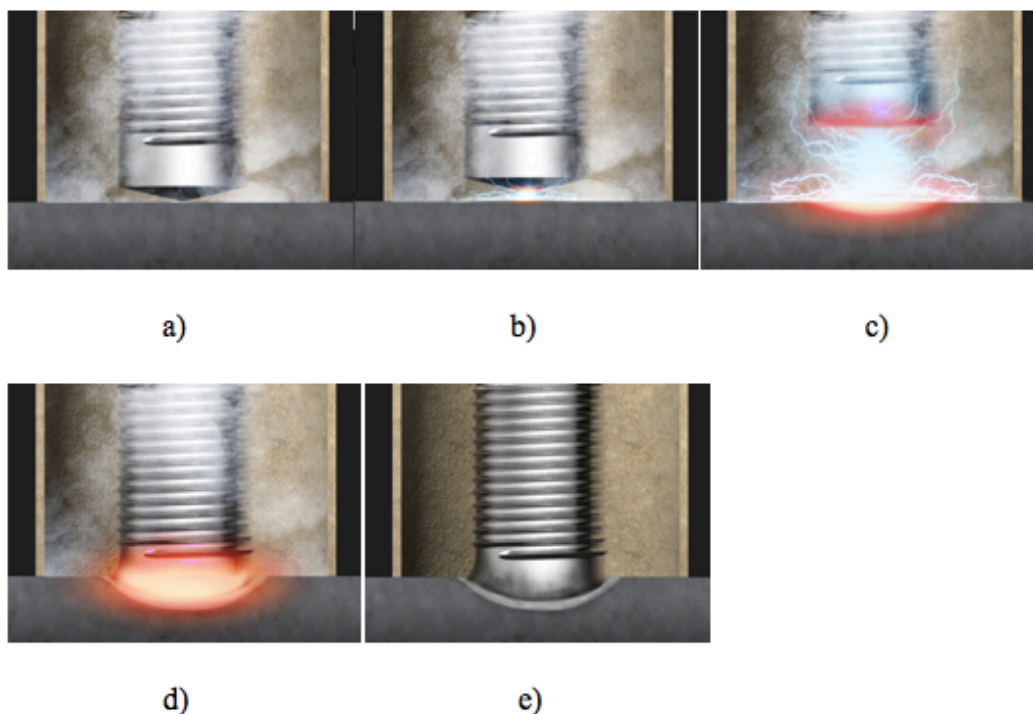
Obr. 2.2 - Postup zdvihového přivařování svorníku s keramickým kroužkem (a – přípravná část, b – zážeh, c – natavení, d – ponoření, e – celoplošné spojení) [8]

2.1.1.1 Rozdělení metod zdvihového přivařování svorníků

Metody zdvihového přivařování svorníků dělíme do 3 kategorií, které jsou popsány v následujících podkategoriích. Hlavními rozdíly je velikost aplikovaného proudu, délka svařovacího cyklu a ochrana svarové lázně (viz tab. 2.1).

2.1.1.1.1 Zdvihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu (783)

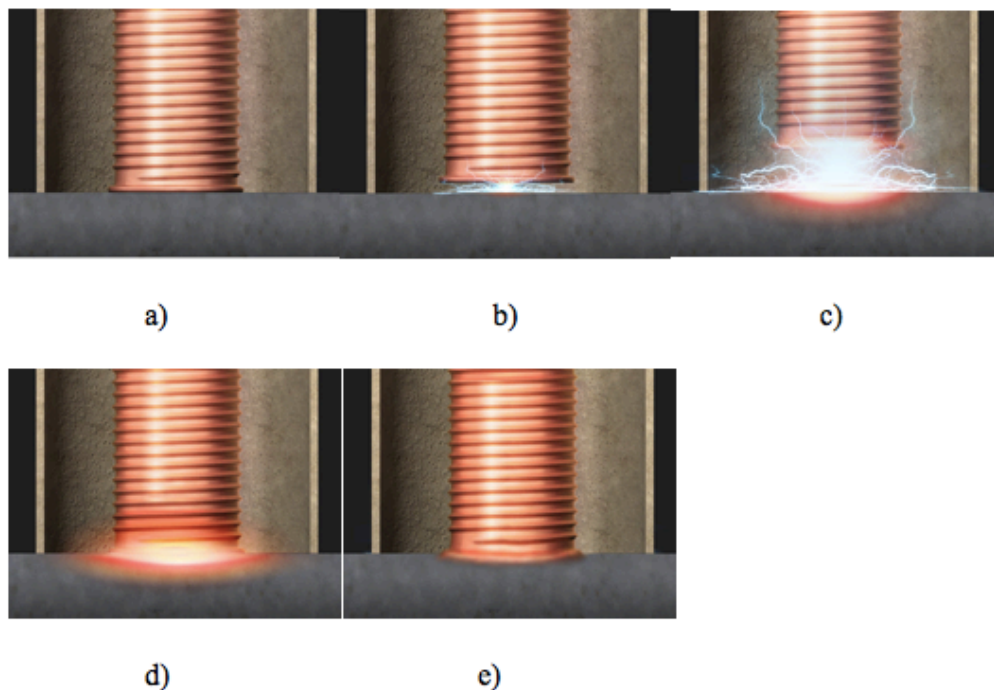
Tato metoda se využívá pro průměry svorníku od 3 mm do 25 mm a dobou sváření od 100 ms do 3000 ms. Pro lepší vlastnosti svarového spoje se obvykle využívá keramických kroužků (viz obr. 3.2), ochranného plynu (viz obr. 2.3). Ve zvláštních případech dochází ke svařování bez ochrany. Tento postup se používá ve většině aplikací s podmínkou minimální tloušťky plechu (tato podmínka pro metodu s keramickým kroužkem zní: 0,25 průměru svorníku a pro metodu s ochranným plynem: 0,125 průměru svorníku, ale v zásadě ne menší než 1 mm).[5]



Obr. 2.3 - Zdvihové přivařování svorníku v ochranném plynu (a – nasazení svorníku, b – zážeh, c – natavení, d – ponoření, e – celoplošné spojení) [8]

2.1.1.1.2 Krátkodobé zdvihové přivařování svorníků (784)

Přivařování touto metodou (viz obr. 2.4) se vyznačuje délkou svařovací doby, která je ≤ 100 ms. Vhodná je pro svorníky do průměru 12 mm. Pro snížení rizika tvorby pórů se doporučuje využití ochranného plynu pro průměry 8 - 12 mm. Pro menší průměry se proces svařování často provádějí bez ochrany svarové lázně. Vzhledem k velmi krátké době svařování jsou natavené oblasti velmi úzké a vstup tepla velmi malý. Tento postup je tedy doporučován pro přivařování na tenké plechy. Minimální tloušťkou plechu je 0,125 průměru svorníku, ale ne menší než 0,6 mm.[5]

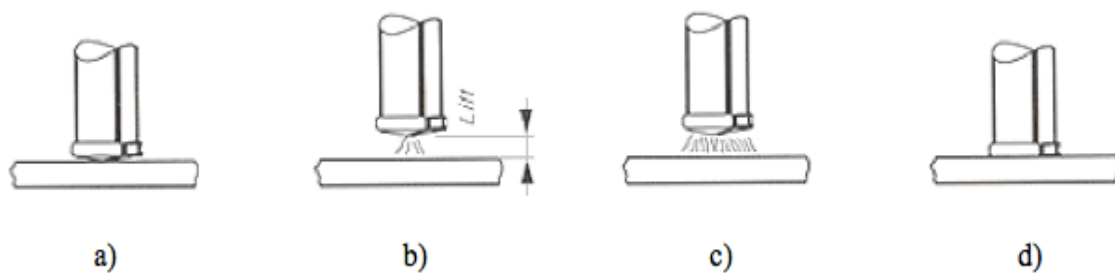


Obr. 2.4 - Princip krátkodobého zdvihového přivařování svorníku (a – nasazení na výrobek, b – zážeh, c – natavení, d – ponoření, e – celoplošné spojení)[8]

2.1.1.1.3 Kondenzátorové zdvihové přivařování svorníků (785)

Tj. svařování s nejnižší dobou svařování, která je < 10 ms. Provedení této metody (viz obr. 2.5) lze dosáhnout použitím zdroje proudu s kondenzovaným výbojem. Přivařované svorníky mají průměr od 3 mm do 10 mm. Minimální tloušťka plechu je stanovena na 0,1 průměru svorníku, ale ne menší než 0,5 mm. Princip je velmi podobný

krátkodobému zdvihovému přivařování, avšak špičkový proud může dosáhnout až 4 000 A.[5]



Obr. 2.5 - Princip kondenzátorového zdvihového přivařování svorníku (a – nasazení na výrobek, b – zážeh, c – natavení, celoplošné spojení)[9]

Tabulka 2.1 - Rozsah parametrů pro různé metody zdvihového přivařování svorníků [5]

Metoda svařování	Svařovací doba t_w [ms]	Průměr svorníku d_w , poloha svařování [ms]	Velikost proudu I [A]	Ochrana svarové lázně	Minimální tloušťka základního materiálu [mm]
Zdihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu	> 100	3 až 25 PA (poloha vodorovná shora) 3 až 20 PE (poloha vodorovná nad hlavou) 3 až 16 PC (poloha vodorovná)	300 až 3 000	CF (ochranný kroužek)	0,25 d, ale ne menší než 1 mm
	> 100	3 až 16 PA 3 až 8 PC	300 až 2000	SG (ochranný plyn)	0,125 d, ale ne menší než 1 mm
Krátkodobé zdihové přivařování svorníku	< 100	3 až 12, všechny polohy svařování	až do 1 800	NP (bez ochrany), SG	0,125 d, ale ne menší než 0,6 mm
Kondenzátorové zdihové přivařování svorníků	< 10	3 až 10, všechny polohy svařování	až do 4 000 (vrchol)	NP, (SG)	0,1 d, ale ne menší než 0,5 mm

2.1.1.2 Svorníky pro zdvihové přivařování

Svorníky pro zdvihové přivařování (obr. 2.6) neobsahují hrot a na začátku procesu jsou přitlačeny k základnímu materiálu.

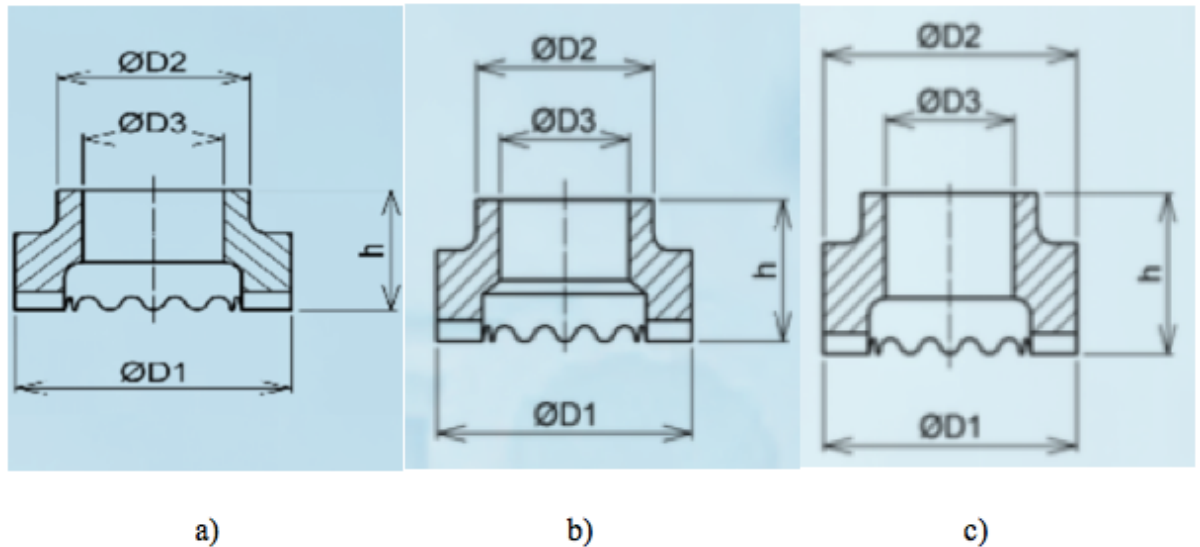


Obr. 2.6 - Svorníky pro zdvihové přivařování a keramické kroužky[10]

2.1.1.3 Druhy keramických kroužků

Při přivařování svorníků má keramický kroužek (viz obr. 2.7) více účelů. Chrání obsluhu od hořícího oblouku, zabezpečuje čistou svarovou lázeň, pomáhá vytvarovat výronek. Keramické kroužky jsou jednorázové předměty. Jsou odlévány z nízko jakostní keramiky a po vyjmutí z formy se suší.[10]

Keramické kroužky dělíme podle používaného svorníku a to na keramický kroužek pro závitový svorník (označení PF), keramický kroužek pro kolík a kolík s hlavou (označení UF), keramický kroužek pro závitový svorník s redukováným dříkem (označení RF).[11]



Obr. 2.7 - Druhy keramických kroužků (a – PF, b – UF, c – RF)[11]

2.1.1.4 Popis používaných ochranných atmosfér

Elektrický oblouk je možné chránit před okolní vzdušnou atmosférou i za pomoci ochranné atmosféry. Používá se především k zamezení oxidace tekutého kovu a k nenasycení dusíkem. Nejčastěji využívaná je ochranná atmosféra s argonem nebo směs argonu s oxidem uhličitým.[12]

Argon je atomární plyn, který je vysoce chemicky inertní a má nízkou tepelnou vodivost. Jeho vlastnosti také zaručují malý přechod tepla z oblouku do okolních zón, což je důležitá vlastnost pro přivařování svorníků. Směs Ar + CO₂, kdy obsah CO₂ je do 25 % a dopomáhá ke stabilizaci oblouku. S vyšším obsahem CO₂ se rozšiřuje tvar průvaru.[13]

Správný výběr ochranného plynu nebo směsi může radikálně ovlivnit vlastnosti procesu a tím také kvalitu a produktivitu výroby.[13]

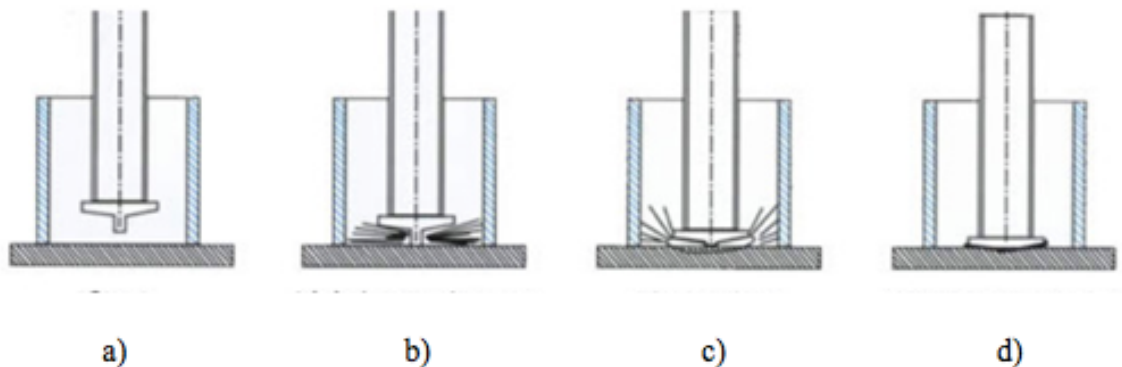
2.1.2 Kondenzované přivařování svorníků s hrotovým zapalováním (786)

Tato metoda přivařování je vhodná pro svorníky s průměrem max. 10 mm, kde se využívá svorníků s malým cylindrickým hrotem (viz obr. 2.8). Existují dvě techniky, s dotykem nebo s mezerou (viz tab. 2.2).[5, 8]



Obr. 2.8 - Svorníky pro metodu hrotového přivařování svorníků[10]

Při přivařování svorníku s mezerou (viz obr. 2.9) je zdrojem proudu kondenzátorová baterie, která je před procesem nabita na stanovené napětí. Pro zapálení oblouku je součástí svorníku tzv. „zapalovací hrot“ s přesně dimenzovaným rozměrem, který se díky prudkému stoupajícímu proudu okamžitě roztaví. Vzniká mezera mezi čelem svorníku a základním materiálem. Zapálený oblouk následně hoří mezi celými čelními plochami svorníku i základního materiálu. Pomocí pružiny v pistoli dochází k přitlačení svorníku a tím oblouk zhasíná, což způsobí spojení tavné zóny a její následné ztuhnutí. Zbytková energie kondenzátoru se vybije při zkratu.[5, 8]



Obr. 2.9 - Postup hrotového přivařování svorníku (a – start, b – zapálení oblouku, c – ponoření, d – výsledné spojení)[8]

U metody přivařování svorníku s dotykem je hlavním rozdílem, že na začátku je svorník umístěn přímo na povrch dílu. Svařovací pistole obsahuje pružinu, která tlačí svorník proti plechu. Ihned po zapnutí kondenzátorového výboje zapalovací hrot exploduje, částečně se odpaří a vytvoří oblouk. Následuje přitisknutí svorníku k základnímu materiálu, což zapříčiní přivaření.[5, 8]

Tabulka 2.2 - Parametry kondenzátorového přivařování svorníku s hrotovým zapalováním [5]

Technika	Svařovaný průměr d_w [mm]	Vrcholový proud I [A]	Svařovací doba [ms]	Síla pružiny [N]	Rychlost ponoření [m/s]	Zapalování
S dotykem	0,8 až 10	10 000	2 až 10	60 až 100 závisí na hmotnosti pístu	0,5 až 0,7	Vždy správné
S mezerou	0,8 až 10 (hliník až do 6 mm)	15 000	0,5 až 3	40 až 60	0,5 až 1 (hliník až 1,5)	Většinou správné, možné předčasné zapálení

2.2 Svařovací zařízení pro zdvihové přivařování svorníku s keramickým kroužkem

Svařovací zařízení zahrnuje zdroj proudu, řídicí jednotku, pohybové zařízení a svařovací kabely.[5]

2.2.1 Zdroje proudu a řídicí jednotka

Pro krátká a vysoká zatížení se využívá jako zdroj proudu usměrňovače nebo měniče, které dodávají stejnosměrný proud. Maximální velikost proudu je v průměru okolo 2500 A, který se využívá na největší obvyklé svorníky. Vzhledem k tomu, že zatěžovatel je 3 % až 10 %, jsou zdroje i pro velké proudy poměrně lehké a kompaktní. Napětí naprázdno se pohybuje v rozmezí 70 V a 100 V.[5]

Ve většině případu je spolu se zdrojem proudu spojena řídicí jednotka do kompaktního systému. Díky ní je zapínán svařovací proud na požadovanou dobu svařování a řídí pohyby v pistoli.[5]

2.2.2 Zařízení pro pohyb svorníků

Zařízení může být buď ručně držená pistole nebo svařovací hlava. Svařovací hlava má především výhodu při automatickém podávání svorníku nebo pevném spojení s nosnou konstrukcí. Pohybové zařízení se skládá z:

- pohonu pro zdvihnutí svorníku a následném udržení v konstantní poloze,
- pružiny, která ponoří svorník do svarové lázně po konci svařovací doby,
- tlumiče, zejména pro průměry svorníku nad 14 mm se využívá pro snížení rychlosti ponoření,
- upínacího zařízení,
- opěrného zařízení pro pohlcení reakčních sil,
- podávací komory a polohovací jednotky (u svařovacích hlav s automatickým podáváním),

U tohoto zařízení je nutné dodržet příslušné bezpečnostní předpisy pro odvedení nebezpečí u elektrického přístroje při ohřevu a působení oblouku.[5]

2.2.3 Svařovací kabely

Hlavním principem kvality svařovacích kabelů je správně nastavená dimenze, která zamezí nepřipustnému ohřívání. Doporučuje se pro svorníky do 12 mm průřez 50 mm², do 20 mm průřez nejméně 70 mm a pro větší až 120 mm². Proti poruše přístroje je nutná pravidelná kontrola kabelů a všech spojovacích bodů. Pokud je objeven poškozený díl musí být vyměněn.[5]

2.3 Metody hodnocení kvality

Obecně je jedním z hlavních požadavků firem důraz na bezpečnost, spolehlivost a životnost konstrukcí, které splňují kvalitní návrh a provedení. V praxi neexistuje žádný kovový materiál, který je vyroben běžnými technickými postupy, bez vad. Velké

množství submikroskopických vad na úrovni krystalových mřížek, atomů a zrn ovlivňujících jeho vlastnosti, obsahuje materiál již z výroby. Proto je nutné analyzovat svarové spoje nedestruktivními i destruktivními zkouškami.[14]

Metody pro kontrolu a zkoušení svorníkových svarů musí být zvoleny podle použití svorníků. Hodnotí se podle normy ČSN EN ISO 14555 a dalších obecných norem pro hodnocení nedestruktivních kontrol. Obsah vad je určen podle stanovených požadavků:

1. základní – musí být stanoveny mezní hodnoty vad
2. vyšší – celková plocha všech vad nesmí překročit 5 % plochy svaru svorníku
3. standartní – celková plocha všech vad nesmí překročit 10 % plochy svaru svorníku[5]

2.3.1 Nedestruktivní kontroly

Pokud je požadovaná kontrola svarové spoje bez porušení, pak se využívá nedestruktivní metoda. Tato metoda je nejvíce používaná ve všech částech výroby. Nedestruktivní metody rozlišujeme podle identifikace vad, kde lze zjišťovat povrchové i vnitřní. U přivařování svorníku využíváme ke zjištění povrchových vad vizuální kontrolu a pro vnitřních vad kontrolu prozářením.[15]

2.3.1.1 Vizuální kontrola

Nedestruktivní metoda zaměřená na zjišťování a hodnocení vlastností povrchů výrobků a součástí. Hodnocení může být prováděno bez nebo s pomocí speciálních přístrojů. Tato metoda se využívá nejen při kontrole trhlin nebo převýšení svaru, ale i pro posuzování drsnosti povrchu, hodnocení povlaků, či nátěrů. Vizuální kontrola se může provádět v průběhu výroby, kdy operátor na pracovišti provádí vstupní, mezioperační a výstupní kontrolu. Tito pracovníci musí mít ověřenou zrakovou schopnost. Dále se využívá tato metoda před dalšími kontrolami kvality.[16]

Vizuální kontrola u metod zdvihového přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo s ochranným plynem a u krátkodobého zdvihového přivařování svorníku se dělí na dva způsoby hodnocení podle vhodnosti použití.[5]

1. pravidelnost tvaru, velikosti a barvy výronku,
2. umístění, délka a úhel svorníku po přivaření.

U metod kondenzátorového zdvihového přivařování svorníků a kondenzátorového přivařování svorníku s hrotovým zapalováním se analyzuje pravidelnost kruhového rozstříku.[5]

2.3.1.2 Prozařovací zkouška

Pokud není provedena zkouška tahem, pak pro zdvihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu se využívá radiografické zkoušky. Aplikovatelnost je u svorníků s průměrem větším než 12 mm a oblasti použití do 100 °C, kdy se kontrolují oblasti svaru na vnitřní vady.[5]

2.3.2 Destruktivní kontroly

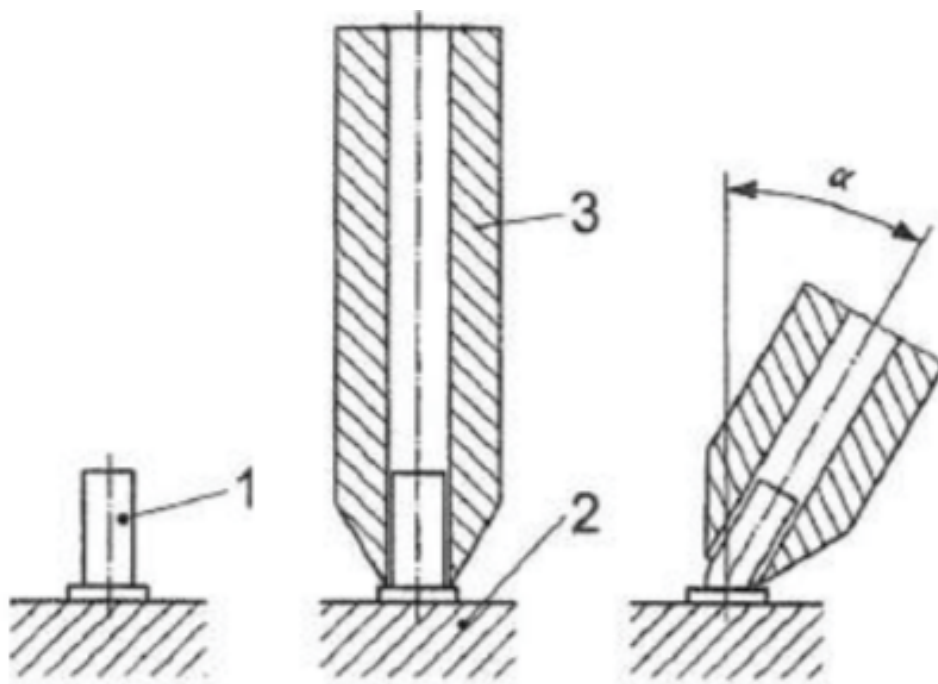
Tyto zkoušky se provádějí pro důkladnou kontrolu svarového spoje na zkušebních vzorcích, které jsou určeny pro provedení zkoušky s následnou likvidací. Destruktivní zkoušky se zaměřují na kontrolu pevnostních vlastností, plastických vlastností, houževnatosti, tvrdosti, celistvosti a k určení makroskopických a mikroskopických charakteristik.[15]

Tato zkouška je nenávratný proces a tím ji nelze provádět na stejném výrobku, který je následně využit pro provoz. Vychází se z předpokladu, že pokud kontrolovaný kus po absolvování všech zkoušek vyhovuje, pak použité parametry svařování lze aplikovat při sériové výrobě u dalších kusů.[15]

2.3.2.1 Zkouška ohybem

Tato destruktivní zkouška slouží pro jednoduché a přibližné ověření zvolených svařovacích parametrů a to především mechanické vlastnosti svarového spoje. Svar je zkoušen ohybem přesně určeným způsobem. Při podezření na foukání oblouku nebo jinou viditelnou vadu, je nutné, aby svorník byl ohnut způsobem, kdy zkoušená plocha je v tažené oblasti. Tato metoda může být provedena dvěma způsoby.[5]

1. Ohyb svorníku o 60° za podmínek provozovaných při $\leq 100^\circ\text{C}$, se využívá pro přivařování zdvihovým přivařováním svorníku s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu, a také při krátkodobém zdvihovém přivařování svorníku. Naopak při provozovaných podmínkách $> 100^\circ\text{C}$ u metod kondenzátorového přivařování svorníků s hrotovým zapalováním nebo kondenzátorovým zdvihovým přivařováním svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu, kde se svorník ohne o 30° (viz obr. 2.10).
2. Ohyb pomocí momentového klíče, kdy se svorníky namáhají pod mezí pružnosti.[5]

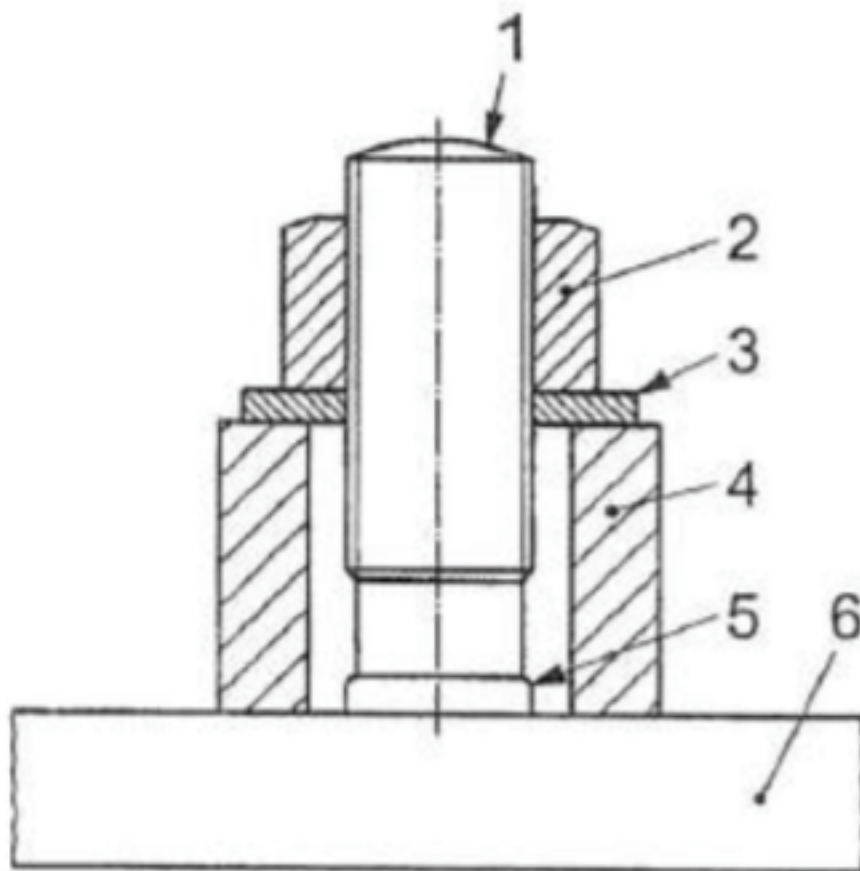


Obr. 2.10 - Zkouška ohybem (1 – svorník, 2 – základní materiál, 3 – ohýbací nástroj, α - úhel ohybu)[5]

2.3.2.2 Zkouška tahem

Dalším typem destruktivní zkoušky pro kontrolu přivařených svorníků je tahová zkouška. Zkouška se provádí na speciálních zkušebních přípravcích (viz obr. 2.11). Testovaný vzorek je vystaven tahové deformaci, kdy velikost s časem rovnoměrně roste.[17]

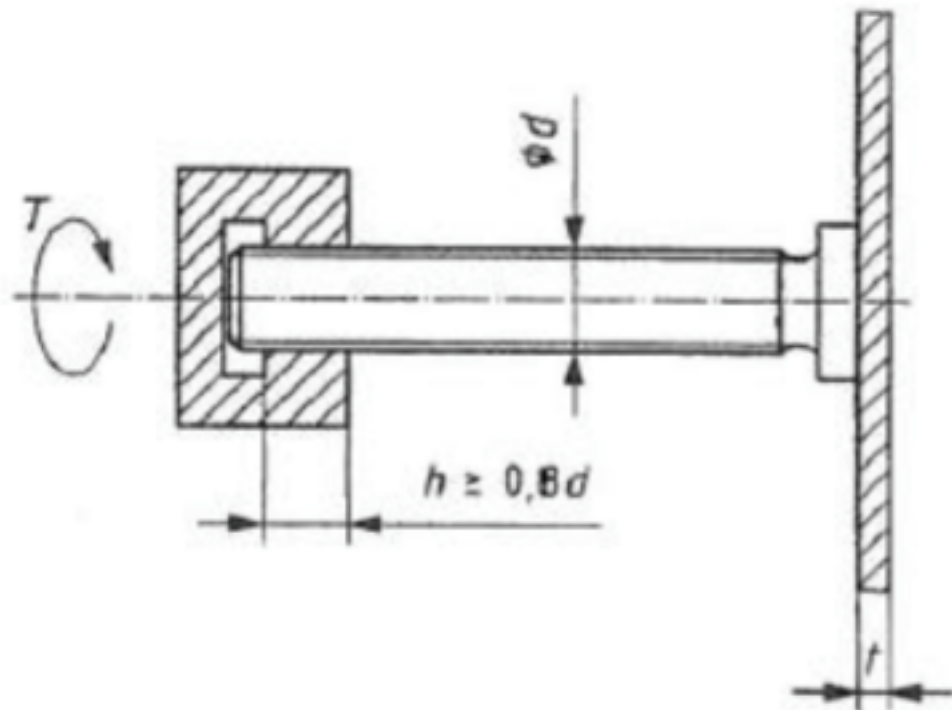
Přivařované svorníky jsou namáhané osovým tahem až do vytržení. Zkouška se může provést pouze pro svorníky s využitím v podmínkách do 100 °C.[5]



Obr. 2.11 - Zkouška tahem (1 – svorník, 2 – ocelová matice, 3 – podložka, 4 – pouzdro, 5 – výronek, 6 – základní materiál)[5]

2.3.2.3 Zkouška krutem

Tato destruktivní zkouška se provádí ke zjištění odporu svaru na svornících se závitem. Neprůchozí matice se plně dotáhne na svorník (viz obr. 2.12) a pomocí předepsaného kroutícího momentu se testuje kvalita svarového spoje.[5]

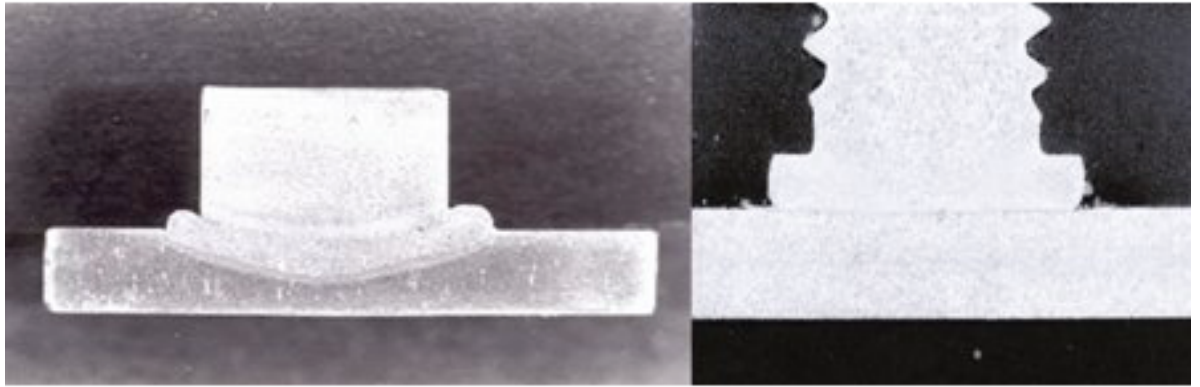


Obr. 2.12 - Zkouška krutem (d – průměr svorníku, h – délka závitové části svorníku, t – tloušťka plechu, T – kroutící moment)[5]

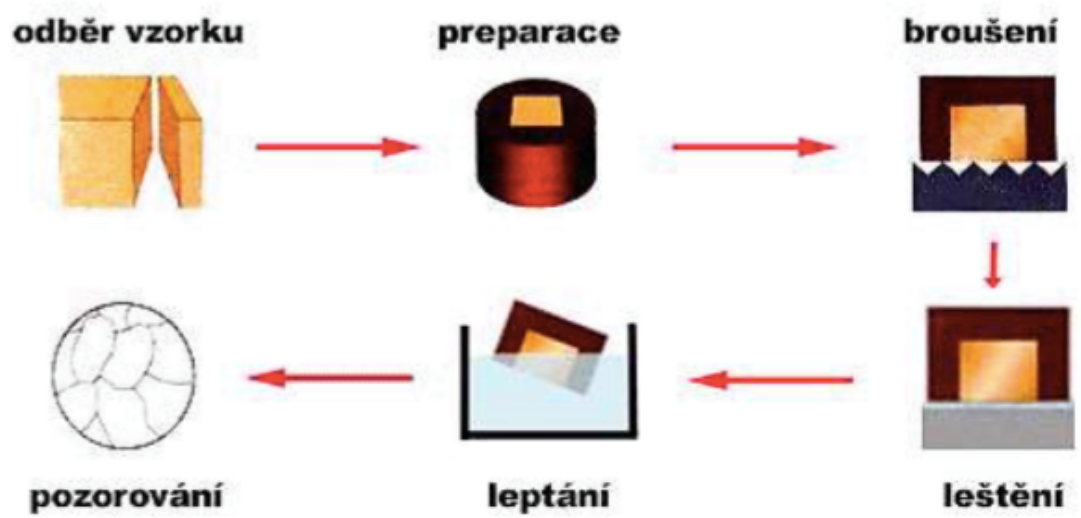
2.3.2.4 Metalografické zkoušky

Makroskopická zkouška se provádí k ověření tvaru a hloubky průvaru i ke zjištění vnitřních vad. Provádí se vizuální prohlídkou pouze okem nebo za pomoci malého optického zvětšení. Hodnocení testovaného vzorku musí být realizováno při maximálně desetinásobném zvětšení.[5, 18]

Zkouška lze použít pro zdvihové i hrotové přivařování svorníků (viz obr. 2.13). Zkušební vzorek může být využit u svorníku, který splnil požadavky ohybové zkoušky. Vzorek musí obsahovat svarový kov, tepelně ovlivněné oblasti a základní materiál, který je odebrán příčně na osu svaru. Po odebrání vzorku následuje broušení, leštění a případné leptání povrchu vzorku (viz. obr. 2.14).[5, 18]



Obr. 2.13 - Metalografický snímek přivařených svorníků se zdvihovým zážehem a hrotovým zážehem[19]



Obr. 2.14 - Postup přípravy vzorku metalografického výbrusu[20]

3 Zmapování nejzávažnějších problémů pro splnění požadavků na kvalitu

Tato kapitola je zaměřena na popis kvalifikace svařovacího postupu dle normy ČSN EN ISO 14555. V normě jsou uvedeny všechny potřebné informace, které je nutné splnit pro uvedení výrobku do výroby. V další části kapitoly bude představen problém s nízkou kvalitou svarového spojení, kdy svorník nevydržel stanovenou dobu životnosti na cyklické zkoušce.

3.1 Kvalifikace postupu svařování

Zásadou kvalifikace postupu svařování je specifikace všech důležitých parametrů. Vše je popsáno v normě ČSN EN ISO 14555. Kvalifikace může být stanovena třemi způsoby, kdy výběr metody může být omezen právě specifikací nebo použitým předpisem:

- kvalifikace zkouškou postupu svařování
- kvalifikace předvýrobními zkouškami
- kvalifikace na základě předchozích zkušeností[5]

Pro zkoušky postupu svařování je nutné potvrdit shodu základního materiálu a materiálu svorníku. Pokud není doklad o shodě materiálu předložen, musí být základní materiál nebo materiál svorníku podroben doplňujícím materiálovým zkouškám. Důležitou podmínkou je připravené dostatečné množství základního materiálu a materiálu svorníku ze stejné tavby, která je využita i u zkoušek.[5]

Tvar a rozměr zkušební kusy musí stačit pro uskutečnění všech požadovaných zkoušek. Samotná příprava, sestavení a přivařování zkušebních kusů musí být provedeno podle pWPS při všeobecných podmínkách výrobního svařování. Mezi základní podmínky správné kvalifikace patří dodržení stejné polohy svařování jako na skutečném výrobním procesu. K tomu je nutné pohlídat dostatečnou boční vzdálenost od zemnicích svěrek, aby se zabránilo foukání oblouku. Pokud se využívá více průměrů svorníků, pak je nutné provést zkoušky s nejmenším a největším používaným svorníkem v praxi.[5]

Při kontrole a zkoušení se využívá nedestruktivních a destruktivních zkoušek, které se používají podle tabulky 3.1

Tabulka 3.1 - Volba zkoušek pro různé teploty a požadavky jakosti[5]

Druh zkoušky	Počet zkoušených svorníků			
	Pro použití ≤ 100 °C Vyšší požadavky na jakost podle ISO 3834-2		Pro použití ≤ 100 °C Vyšší požadavky na jakost podle ISO 3834-2	Pro použití > 100 °C Vyšší požadavky na jakost podle ISO 3834-2
	$d_w \leq 12$ mm	$d_w > 12$ mm	Všechny průměry (d_w)	Všechny průměry (d_w)
Vizuální zkouška	všechny			
Zkouška ohybem	10 (úhel ohybu 60°)	5 (úhel ohybu 60°)	10 (úhel ohybu 60°)	5 (úhel ohybu 30°)
Zkouška ohybem pomocí momentového klíče	Není použitelná			10
Zkoušky tahem	-	5	-	-
Radiografická zkouška	Není použitelné	5 (volitelné místo zkoušky tahem)	-	-
Makroskopická kontrola (řez 90° středem svorníku)	-	2	-	2 (pouze pro svary na trubce vystavené tlaku)

Při nesplnění požadavků u jednoho ze svorníku, lze využít dvou náhradních svorníků z přiřazených zkušebních kusů. Pokud nelze využít zkušebních kusů, pak musí být přivařeny rovnocenné svorníky. Pro zkoušky postupu svařování je tedy doporučeno zajištění dostatečného množství svorníků.[5]

3.2 Rozsah kvalifikace

Všechny uvedené podmínky musí být nezávisle na sobě splněny. Samotný výsledek přivařování svorníků není určen pouze dodržováním optimalizovaného postupu svařování, ale pro kvalitu svařování má také rozhodující vliv zkušenost operátora. Na tomto základu by měla být provedena jednou ročně výrobní zkouška.[5]

Při výrobní zkoušce u zdvihového přivařování svorníku s keramickým kroužkem musí být svařeno minimálně deset svorníků. Opět je nutné zajistit vzhledem k přípravě zkoušek dostatečný počet náhradních svorníků. Následně je nezbytné realizovat kontrolní zkoušky:

- vizuální kontrola (všechny svorníky),
- zkouška ohybem (pět svorníků)
- makroskopická kontrola u dvou různých svorníků (řez 90° středem svorníku), využívá se pouze u svorníků s průměrem > 12 mm.[5]

Po každé výrobní zkoušce musí být výsledky zdokumentovány.[5]

Dosažená kvalifikace podle postupu pWPS výrobce, je platná pro svařování v dílnách a montážních pracovištích pod totožnou technickou a jakostní kontrolou výrobce. Kvalifikace je platná pouze pro metodu přivařování svorníků, která byla aplikována při zkoušce postupu svařování. Samotné parametry svařování lze měnit pouze v rozsahu doporučení dodavatele svařovacího zařízení. Dále je možné u kvalifikovaných zkoušek postupu bez předehřevu aplikovat i variantu s předehřevem.[5]

Podmínka týkající se polohy je velmi důležitá. Při zdvihovém přivařování svorníků s keramickým kroužkem zahrnuje poloha PC polohy svařování PE a PA (podle ČSN EN ISO 6947), ale ne naopak. K dosažení polohy PC je možné využití speciálních keramických kroužků. Svařovací poloha PE zahrnuje polohu svařování PA, ale ne naopak.[5]

Při výměně typu svařovací pistole, hlavy, zdroje proudu nebo výrobce svařovacího zařízení se musí provést ověření postupu svařování pomocí výrobní zkoušky.[5]

Výstupem dodržení podmínek je protokol o kvalifikaci postupu svařování (WPQR viz obr. 3.1). Obsahuje výsledky hodnocení každého zkušebnímu kusu i z opakovaných zkoušek. V protokolu jsou uvedeny potřebné informace podle WPS (specifikace postupu svařování), který obsahuje podrobnosti o provedení svařovací operace spolu s údaji o svařečské práci. [5] Dále obsahuje podrobnosti o jakýchkoliv znacích, které by mohly být na základě provedených kontrol a zkoušek odmítnuty. Potvrzení tohoto protokolu spočívá v nenalezení žádné vady pro odmítnutí nebo nevyhovujícího výsledku zkoušky. Následně musí být kvalifikován a zkušebním orgánem nebo zkušební organizací potvrzen a datován.[5]

Důležité pro kvalifikaci postupu je pracovat na konkrétním zdroji a svařovací pistoli, které se používají ve výrobě. V rámci našeho experimentu tedy nebyla provedena kompletní kvalifikace postupu, ale pouze optimalizace parametrů, které byly vyhodnoceny podle vizuální kontroly a metalografie.

Formulář protokolu o kvalifikaci postupu svařování (WPQR) (pro zdvihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu a pro krátkodobé zdvihové přivařování svorníků)

Kvalifikace postupu svařování – Osvědčení o zkoušce

Výrobce: Zkušební orgán nebo zkušební organizace:
 Adresa: Předpis/zkušební norma:
 Datum svařování:
 Postup svařování výrobce
 Doklad č.: Jméno operátora:
 Rozsah kvalifikace
 Metoda přivařování svorníků: Průměr svorníku (mm):
 Materiál svorníku: Délka svorníku (mm):
 Základní materiál: Označení svorníku:
 Tloušťka základního materiálu (mm): Použití při ≤ 100 °C Použití při > 100 °C
 Označení keramického kroužku: Použití tlumení: ano ne
 Zdroj proudu:
 Poloha svařování: Svařovací pistole/hlava:
 Teplota předehřevu (°C):
 Ochranný plyn a průtokové množství:

Další údaje:

Svařovací proud A	Svařovací doba ms	Vysunutí mm	Zdvih mm	Poznámky

Potvrzuje se, že zkušební svary byly připraveny, svařovány a zkoušeny podle požadavků výše uvedeného předpisu/zkušební normy s vyhovujícím výsledkem.

Místo: Datum vystavení: Zkušební orgán nebo zkušební organizace:

(Jméno, datum a podpis)

Obr. 3.1 - Ukázka přivařených svorníků[5]

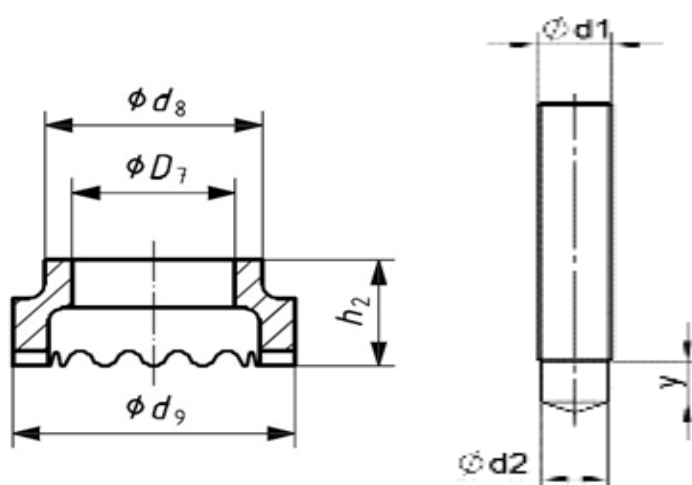
3.3 Upínací kruh

Svařovaná součást, která je dodávána od externího dodavatele do firmy Rubena, se nasazuje na vzduchovou pružinu při kompletaci. Operátor provádí velice náročnou práci, kdy využívá jarové vody, síly a své vlastní zručnosti při nasazování upínacího kruhu. Ocelový upínací kruh je vyroben z materiálu ČSN 11 523 (nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel vhodná pro svařování) viz tab. 3.2.

Tabulka 3.2 - Chemické složení oceli ČSN 11 523[21]

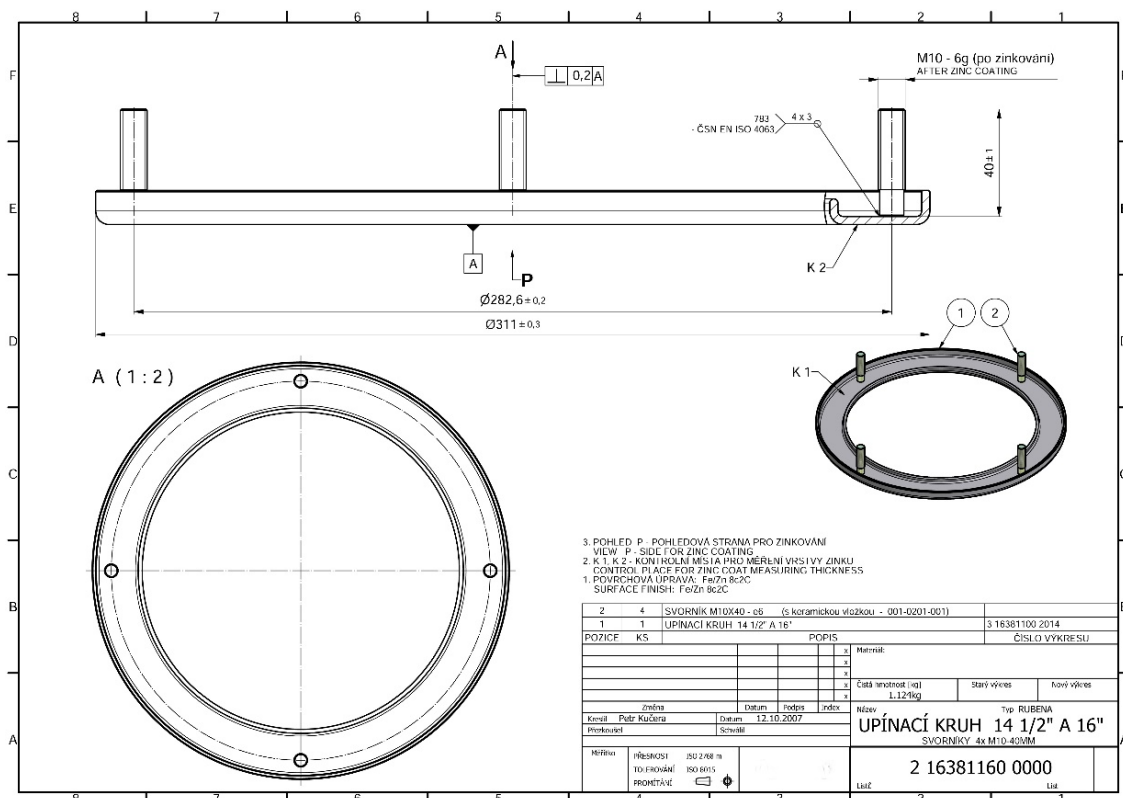
Chemický prvek	C	Mn	Si	P max.	S max.
Chemické složení [%]	max 0,2	max 1,6	max 0,55	0,04	0,045

Na vyrobený upínací kruh jsou následně přivařeny metodou zdvihového přivařování čtyři svorníky PD 10x40 – 4.8 z materiálu S235J2, které obsahují hliníkovou kuličku na hrotu (viz. obr. 3.2).



Obr. 3.2 - Svorník S235J2[8]

Zkompletovaný výrobek před expedicí do firmy Rubena pak vypadá jako na obr. 3.3



Obr. 3.3 - Výkres upínacího kruhu

3.4 Nevyhovující kvalita svarů

Po zkompletování vzduchové pružiny se namátkově vyberou dva kusy, které jsou prověřeny při dynamické zkoušce životnosti. Vzduchové pružiny se upevní nad sebe do speciálního zkušebního zařízení, které bylo speciálně zkonstruováno pro testování těchto výrobků (viz. obr. 3.4). Následně se pomocí tlaku jedna ze vzduchových pružin napíná a druhá stlačuje. Při dosažení maximálních hodnot je proveden tento proces opačně, a tím je dokončen první cyklus (viz obr. 3.5). Kritérium únavové životnosti, které bylo stanoveno na základě firemních přepisů firmy Rubena a.s. požaduje 150 000 cyklů, což bylo bez problémů plněno. Svorníky dokonce dokázaly odolat dvěma zkouškám životnosti bez porušení. Produkty musí odolávat vysokému tlaku (např.: při jízdě nákladního vozidla v dunách) a firma si zakládá i na jejich dlouhé životnosti.

V současné době se řeší problém, kdy se projevila snížená kvalita svorníků, kdy se již po 20 000 cyklech musela zkouška životnosti ukončit kvůli vytržení svorníku (viz. obr. 3.6 a 3.7). Ačkoliv výrobce upínacích kruhů (dle vlastního vyjádření) nezměnil

postup ani další zásadní podmínky výroby. Bylo však obměněno svařovací zařízení a mohla se z dlouhodobého hlediska změnit kvalita základních materiálů.

Proto byla provedena řada zkoušek kvality pro zjištění problému při svařování a také možná následná optimalizace svařovacích podmínek.



Obr. 3.4 - Zkušební stroj pro zkoušku životnosti



Obr. 3.5 - Zkušební stroj pro zkoušku životnosti



Obr. 3.6 - Svorník po zkoušce životnosti



Obr. 3.7 - Svorník po zkoušce životnosti

3.5 Provedené zkoušky kvality pro firmu Rubena

Cílem bylo odhalit příčinu tak rychlého poškození a proto byly poškozené upínací kruhy analyzovány – provedena vizuální kontrola a metalografie.

Po nevyhovující zkoušce životnosti byl dodán vzorek upínacího kruhu s porušenými svarovými spoji svorníků. Navíc bylo dodáno 5 zkušebních upínacích kruhů bez přivařených svorníků, a dále pak zkušební svorníky a keramické kroužky, které se využívají v reálné výrobě.

3.5.1 Vizuální kontrola

Již vizuální kontrola podle normy ČSN EN ISO 17367 potvrzuje špatnou kvalitu svarového spoje a tím nevyhovující kvalitu. Svarová housenka není pravidelná po celém obvodu svarového spoje (viz obr.3.8).

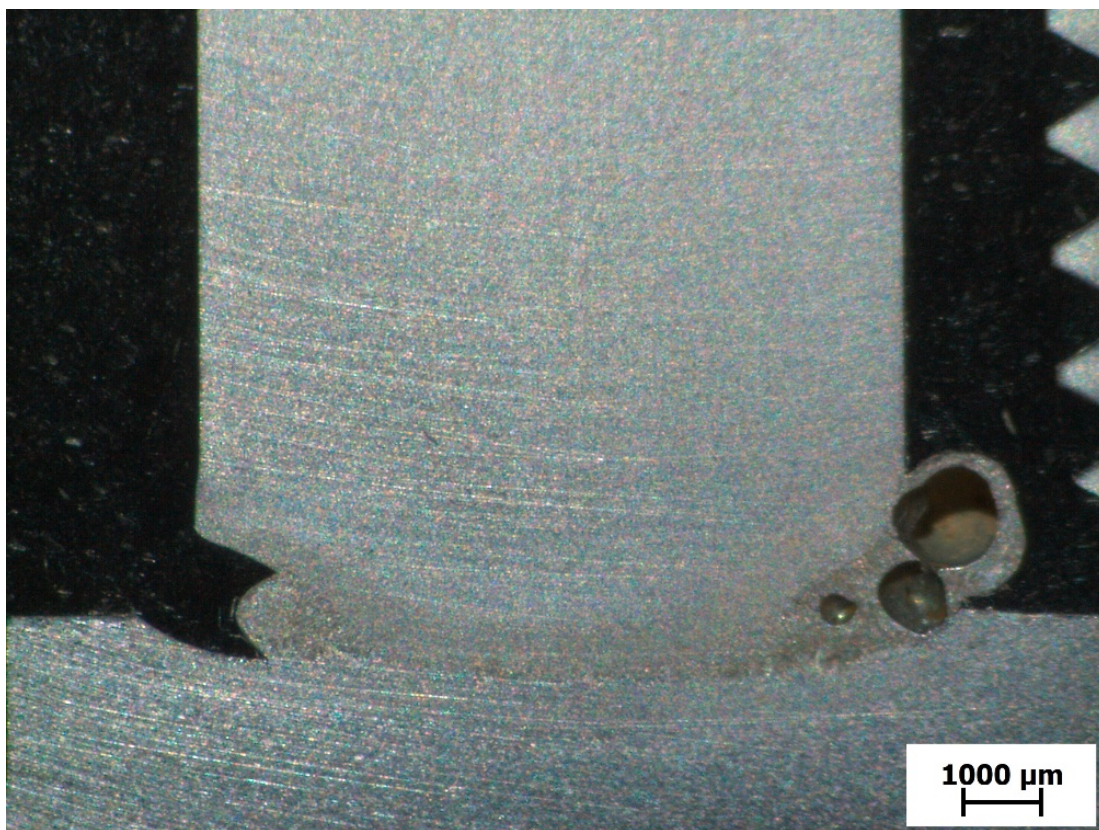


Obr. 3.8 - Vizuální kontrola přivařeného svorníku

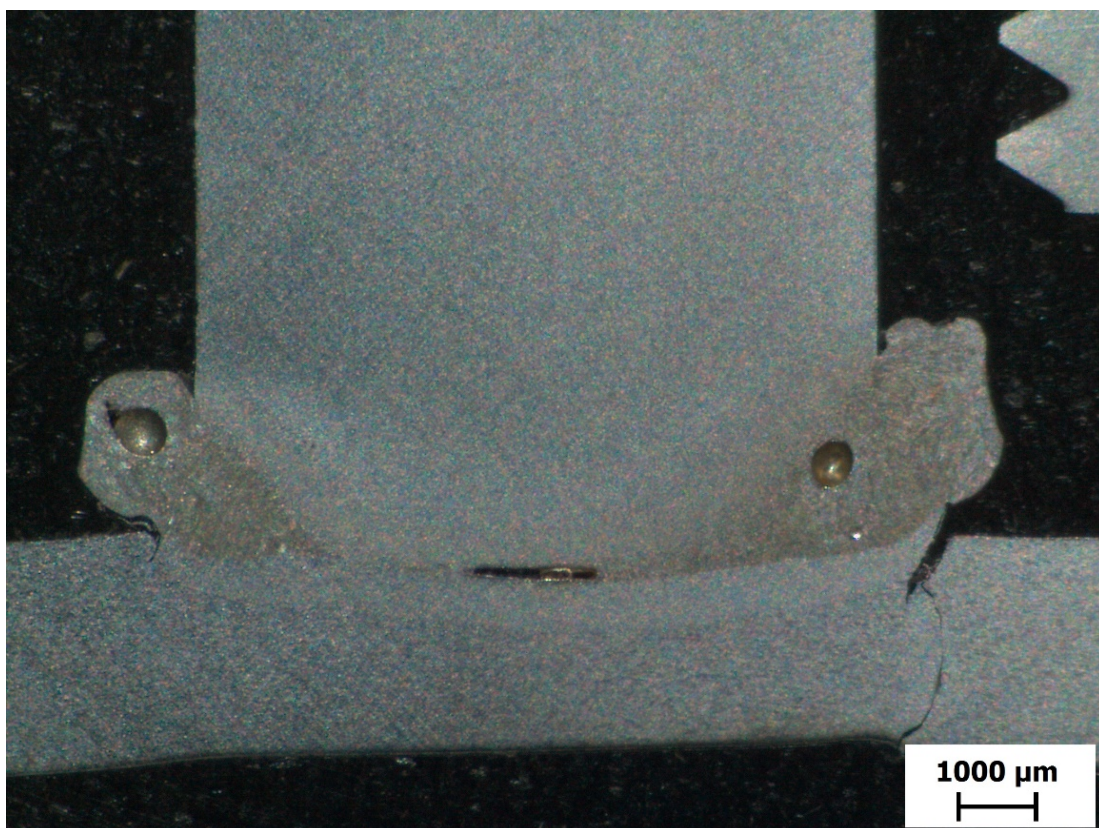
3.5.2 Zkouška makrostruktury

Vnitřní vady a vzhled příčných řezů svorníkem byl zjišťován pomocí zkoušky makrostruktury podle normy ČSN EN ISO 17639. Postup výroby metalografického vzorku spočíval v rozříznutí svorníku na přesné metalografické pile Struers Labotom 5, kdy bylo nutné zajistit minimální tepelné a mechanické ovlivnění místa řezu. Při odebrání vzorku bylo tedy místo řezu neustále chlazeno emulzí. Po odebrání následovalo zalisování vzorku metalografickým lisem Struers CitoPress za zvýšené teploty a tlaku. Příprava pokračovala mechanizovaným broušením na brusce/leštičce Buehler beta, který intenzivně odebírá hmotu z povrchu materiálu k dosažení rovinného povrchu vzorku bez poškození. Vysoká rychlost otáček brusného papíru vyžaduje chlazení vzorku vodou. Zrnitost brusných papírů se postupně snižuje. Mezi každou výměnou brusného papíru bylo nutné opláchnout vzorek a následně brousit ve směru kolmém k předešlému. K broušení se využívaly SiC papíry. Na stejném stroji byl vzorek vyleštěn k získání co nejnižší drsnosti a k odstranění rýh, které mohly zůstat po brousícím cyklu. Takto připravené vzorky byly následně prohlédnuty, nafoceny a analyzovány pomocí metalografického mikroskopu Carl Zeiss Axio Observer s pomocí softwaru Axio Vision.[21]

Fotky z makrostruktury potvrzují vyšší množství pórů a neprůvarů (viz obr. 3.9 a 3.10). Podle normy ČSN EN ISO 14555 je povolena maximální pórovitost 5% v oblasti svarového spoje, což na fotografiích metalografických výbrusů není splněno. Dále je na obou zkoušených svornících vidět nedostatečné provaření, které také není povoleno a velmi snižuje životnost svarového spoje. Poslední viditelnou vadou je u vzorku na obr. 3.10 trhlina. Ta je způsobena dynamickým zatížením, které bylo ukončeno po cca 20 000 cyklech.[5]



Obr. 3.9 - Fotka makrostruktury vzorku č. 1 - póry a neprůvar

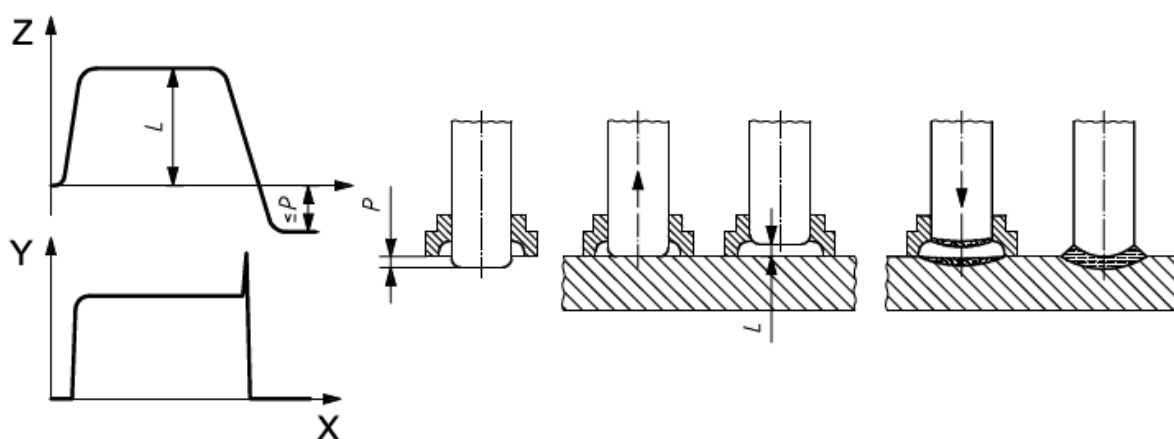


Obr. 3.10 - Fotka makrostruktury vzorku č. 2 - póry, neprůvar a trhлина

4 Návrh experimentu

Vzhledem k nepříznivým výsledkům metalografické zkoušky, kdy byly prokazatelně nalezeny vady svarových spojů, bylo nutné optimalizovat svařovací parametry. Ty by měli být navrženy tak, aby splňovaly požadavky na sériovou výrobu, vysokou produktivitu a především vysokou životnost svarových spojů.

Svařovací parametry jsou obecně rozděleny na hlavní a vedlejší. Do hlavních zahrnujeme velikost svařovacího proudu a dobu svařování. Mezi vedlejší svařovací parametry patří zejména nastavení svařovací pistole: zdvih, vysunutí (viz obr 4.1) a také způsob uzemnění základního materiálu.



Obr. 4.1 - průběh svařovacích parametrů (Y - svařovací proud, X - čas svařování, Z - pohyb svorníku, P - vysunutí, L - zdvih)[5]

Jelikož je reálné pracoviště poloautomatizované může být další příčinou nesprávné ustanovení svorníků vůči základnímu materiálu. Ten nemusí být z předchozí výroby dokonale rovný a zejména keramický kroužek může částečně zasahovat do okrajového ohybu. To může způsobit nedokonalý kontakt kroužku po celé styčné ploše.

4.1 Návrh vhodných svařovacích podmínek

K vytvoření optimálních svařovacích podmínek bylo využito pracoviště Laboratoře výuky svářečských technologií na ČVUT v Praze (Fakulta strojní, Ústav

strojírenské technologie), kde bylo provedeno ruční svařování pomocí svařovacího zdroje PRO-D 1600 (viz obr. 4.2) firmy Schöler + Bolte (dodavatel: Proweld) a svařovací pistole PHM-12 (viz obr. 4.3) (obsahující automatickou funkci vyrovnávání délkových tolerancí).



Obr. 4.2 - Svařovací zdroj PRO-D 1600[23]



Obr. 4.3 - Svařovací pistole PHM-12[24]

Dodavatel upínacích kruhů optimalizoval (na základě předchozí analýzy – viz obr. 3.9 a 3.10) svůj postup výroby a nastavení parametrů a opět předal výrobky – upínací kruhy k dalším analýzám. Došel k následujícím svařovacím parametrům:

Metoda svařování: Zdvihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo ochranným plynem (metoda č. 783 podle ČSN EN ISO 4063)

Svařovací proud $I = 520 \text{ A}$

Svařovací čas $t = 300 \text{ ms}$

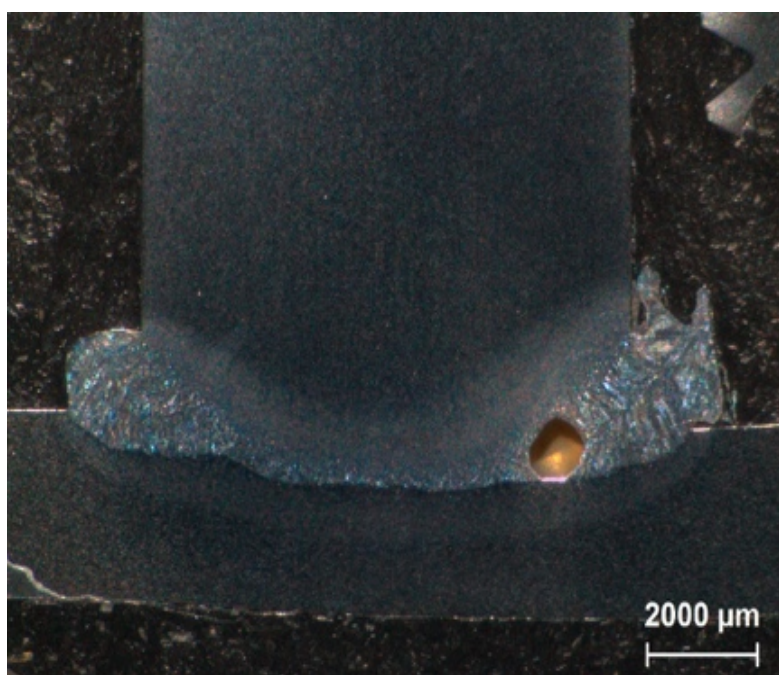
Vysunutí (přesah) = 3-4 mm

Zdvih = 1-2 mm

U těchto vzorků (číslo 3, 4, 5) byla opět provedena vizuální kontrola a metalografie. Vizuálně byly předané svarové spoje již vyhovující, nicméně na obrázku 4.4 a 4.5 je vidět, že problémem navržených podmínek u externího dodavatele jsou i nadále vnitřní vady svarů a nedostatečný průvar. Vady jsou zřejmě způsobeny malým svařovacím proudem, který nedokáže dostatečně roztavit tavidlovou kuličku. Vadu v průvaru může také způsobit vysoký čas, který způsobí nedostatečnou ochranu.



Obr. 4.4 - Vzorek č.3 – přivařený svorník za podmínek 520 A a 300 ms



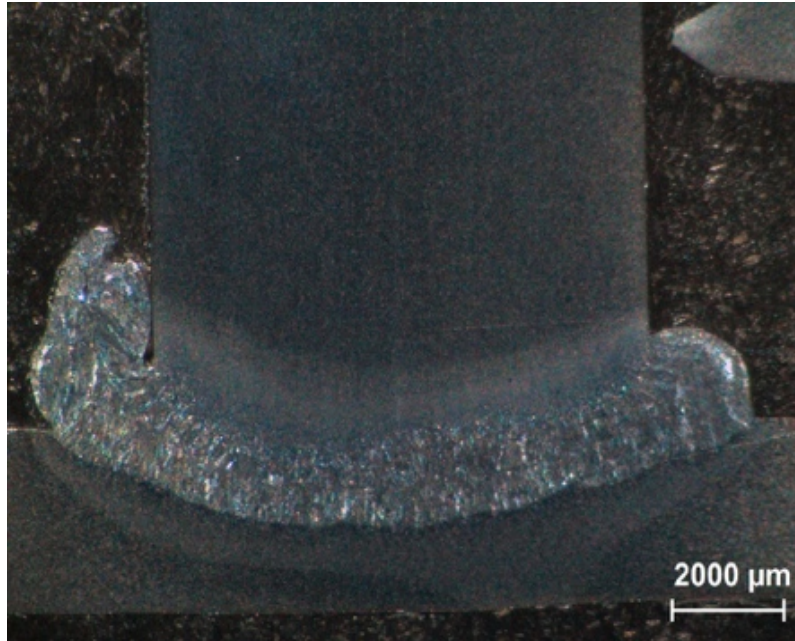
Obr. 4.5 - Vzorek č.3 – Snímek makrostruktury přivařeného svorníku za podmínek 520 A a 300 ms

Vzhledem k nesplněným požadavkům na kvalitu svarového spoje bylo nutné provést vlastní návrh svařovacích parametrů, zejména navýšit svařovací proud pro dosažení větší plochy závaru po celé styčné ploše svorníku.

Na základě předchozího výpočtu bylo navrženo vytvořit kontrolní svarové spoje s vlastními svařovacími parametry. Přivařeny byly svorníky se dvěma odlišnými parametry. První vzorek na obr. 4.6 a 4.7 byl vytvořen za podmínek 700 A a 280 ms. Svar dle vizuální kontroly i zkoušky makrostruktury vykazuje velice kvalitní provedení svaru bez jakýchkoliv pórů, neprůvarů nebo trhlin. Z toho lze předpokládat, že se tyto parametry pozitivně projeví u výsledků zkoušek životnosti.



Obr. 4.6 - Vzorek č. 4 - přivařený svorník za podmínek 700 A a 280 ms

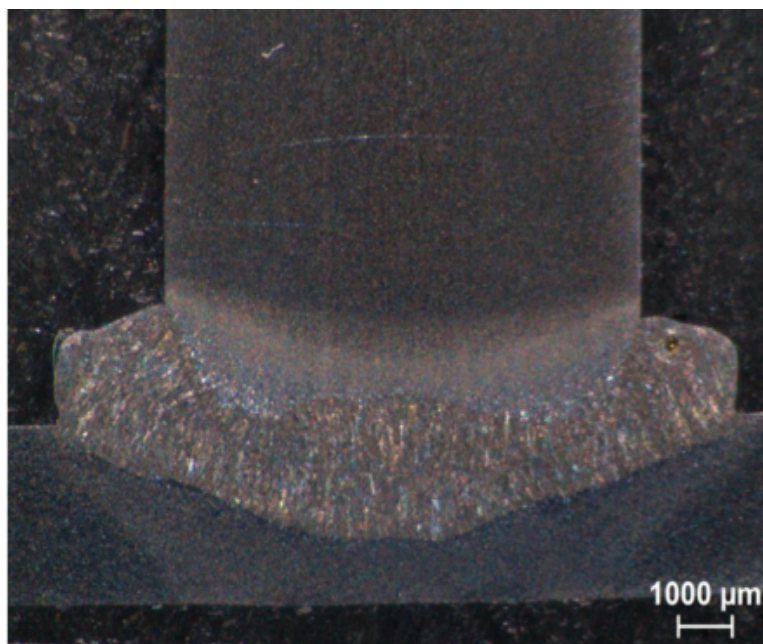


Obr. 4.7 - Vzorek č. 4 - Snímek makrostruktury přivařeného svorníku za podmínek 700 A a 280 ms

Na následujících dvou fotografiích (4.8 a 4.9) je zobrazen přivařený svorník za podmínek stejného svařovacího proudu, ale nižšího svařovacího času 240 ms. Stejně tak jako u předchozího svorníku je dle vizuální i makrostrukturní zkoušky vidět, že došlo k lepšímu provaření svarového kovu do základního materiálu a dostatečné natavení proběhlo v celé styčné ploše svorníku.



Obr. 4.8 - Vzorek č. 5 - přivařený svorník za podmínek 700 A a 240 ms



Obr. 4.9 - Vzorek č. 5 - Snímek makrostruktury přivařeného svorníku za podmínek 700 A a 240 ms

Optimalizované podmínky byly následně odeslány do externí firmy k vytvoření upínacích kruhů s přivařenými svorníky. Ty byly zhotoveny na poloautomatickém stroji, který je využíván k sériové výrobě (viz. obr 4.10). Tyto vytvořené svorníky byly následně odeslány do firmy Rubena pro zkoušku životnosti na zkušebním stroji.



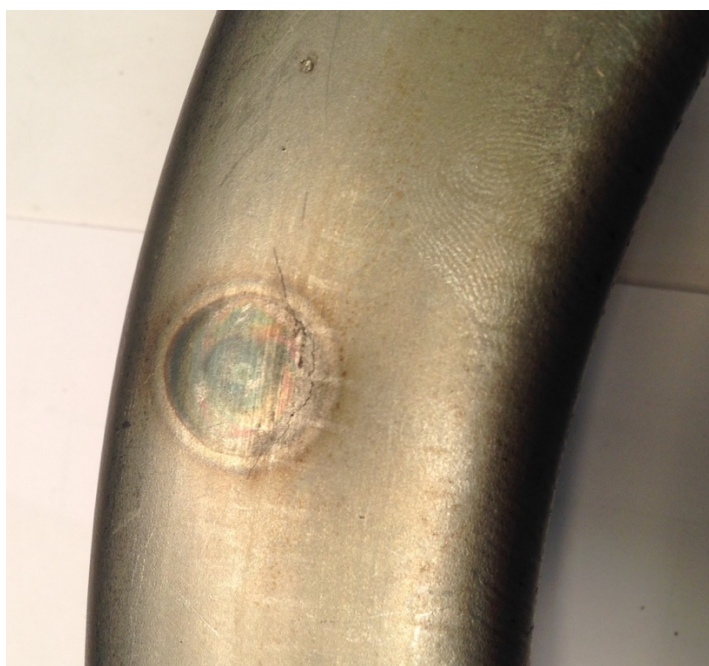
Obr. 4.10 - Zařízení pro přivařování svorníků – reálná poloautomatická výroba u externího dodavatele

Zkouška životnosti byla ukončena po 150 000 cyklech, což je v požadavcích firmy Rubena (tzn. že svarové spoje již vydrželi požadovaný počet cyklů). Bohužel následná vizuální kontrola upínacích kruhů (po zkoušce životnosti) odhalila trhliny ve svarových spojích a tím nedostatečné splnění kompletních požadavků na kvalitu svaru. Tato vada by mohla způsobit při dalším zkoušení ukončení testu před limitem 150 000 cyklů.

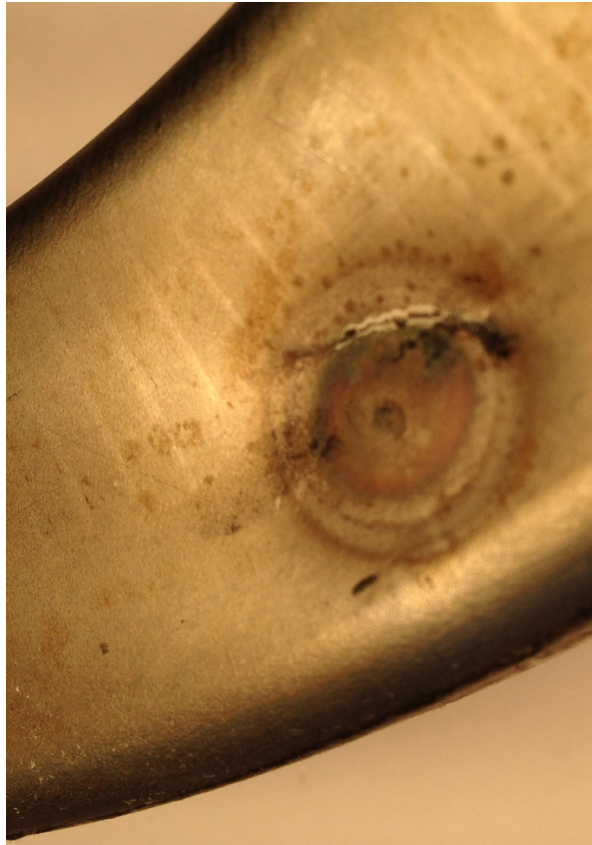
Oba typy parametrů tedy nesplnili dané požadavky (i když došlo k podstatnému zlepšení). Tyto parametry byly nastaveny díky zkušenostem s tímto procesem. Vzhledem k nedosaženým kladným výsledkům bylo rozhodnuto, že bude provedena optimalizace, která by zmapovala vliv parametrů .



Obr. 4.11 - Svorník ($I = 700\text{ A}$ a $t = 280\text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky



Obr. 4.12 - Svorník ($I = 700\text{ A}$ a $t = 280\text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky



Obr. 4.13 - Svorník ($I = 700\text{ A}$ a $t = 240\text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky



Obr. 4.14 - Svorník ($I = 700\text{ A}$ a $t = 240\text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky

4.2 Porovnání vlastností svorníků

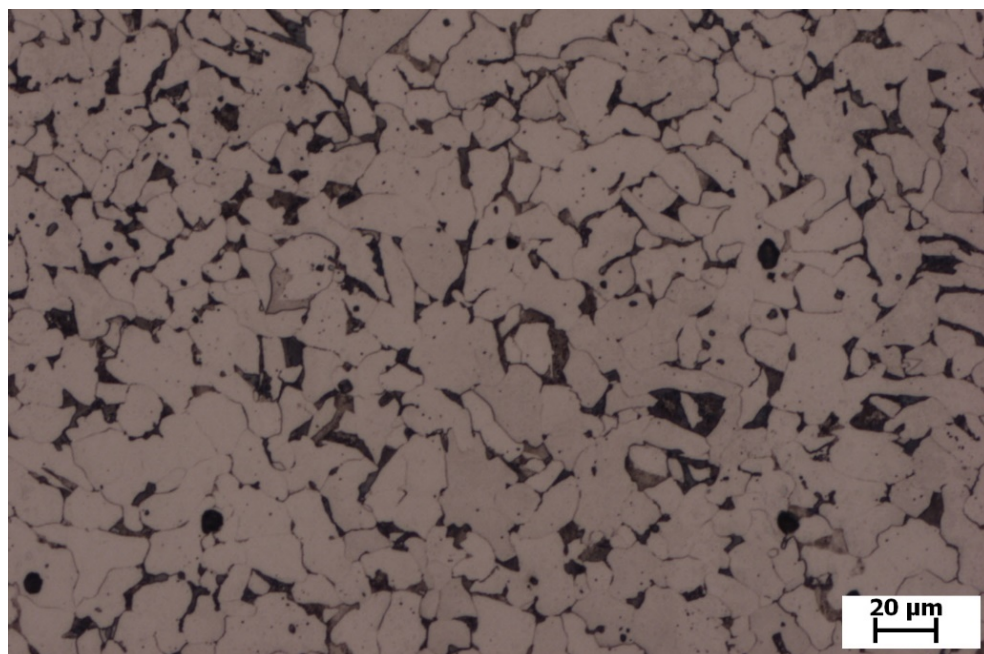
Při kontrole materiálu svorníku používaného ve výrobě (PD M10x40 – 4.8) bylo k porovnání využito svorníku stejného typu od jiného dodavatele. Jsou vyráběny firmou Schöler + Bolte zastupované českým dodavatelem Proweld. Pro porovnání byly použity svorníky s označením MPF 10x40 z materiálu St37-3k (S235) a keramické kroužky KSP-F. Naměřené výsledky mikrotvrdomosti jsou i přes stejné typy svorníků různé (viz tab. 4.1).

Tabulka 4.1 - Porovnání mikrotvrdomosti používaného svorníku a konkurenčního svorníku

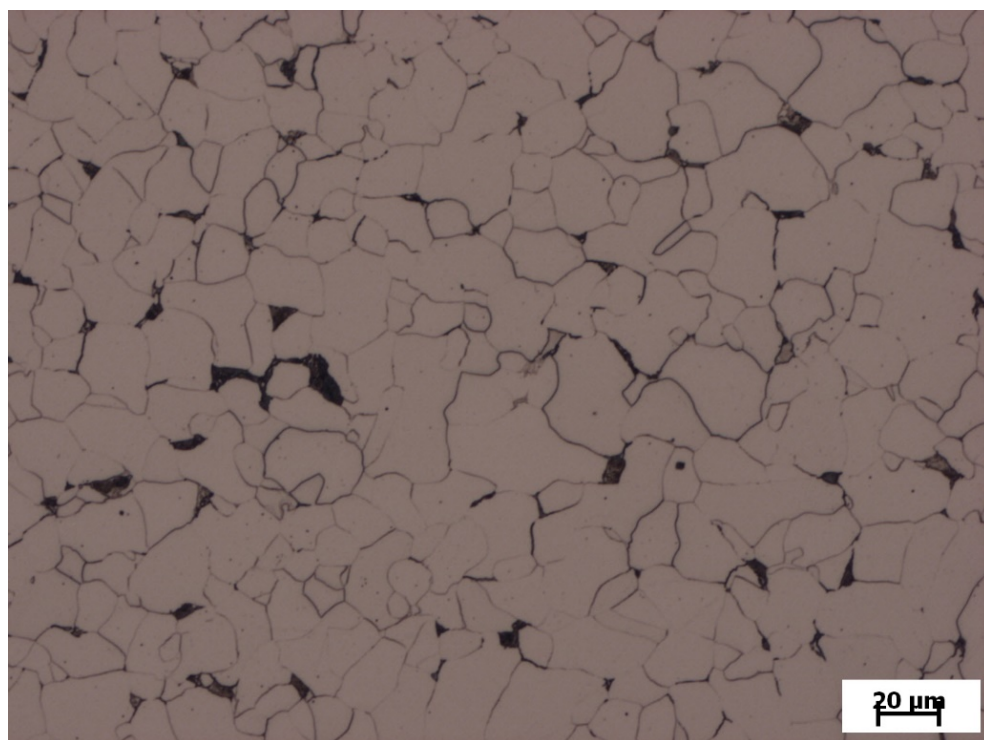
Místo měření	Používaný svorník		Konkurenční svorník	
	Naměřená hodnota tvrdosti[HV1]	Průměrná hodnota tvrdosti[HV1]	Naměřená hodnota tvrdosti [HV1]	Průměrná hodnota tvrdosti[HV1]
Okraj svorníku	204	201	194	195
	202		192	
	196		198	
Střed svorníku	207	205	196	190
	201		185	
	206		190	

Proto byla provedena i zkouška mikrostruktury. Pro její průkaznost je nutné metalografický vzorek leptat Nitalem 2%. Po aplikaci vhodného leptadla je možné pozorovat a vyhodnocovat strukturu a její detaily. Hlavním hodnoceným parametrem je obsah uhlíku, který výrazně ovlivňuje svařitelnost. Vysoký obsah uhlíku způsobuje jemnozrnnou křehkou strukturu náchylnou na trhliny. Pro dobrou svařitelnost se doporučuje obsah uhlíku do 0,25 hm. %, protože při jeho překročení může dojít ke vzniku nežádoucích struktur.

Na vytvořeném snímku mikrostruktury používaného svorníku je viditelné větší množství uhlíku (obr. 4.15) ve feriticko-perlitické struktuře oceli, oproti konkurenčnímu svorníku (obr. 4.16). Větší obsah tedy může způsobit horší svařitelnost používaného svorníku firmou Rubena.



Obr. 4.15 - Makrostruktura používaného svorníku



Obr. 4.16 - Makrostruktura konkurenčního svorníku

Na základě zjištění odlišného množství uhlíku byla provedena spektrální analýza chemického složení používaného (viz tab.4.3) i konkurenčního svorníku (viz tab. 4.4) a také základního materiálu (viz tab. 4.2). Tato analýza byla prováděna pomocí stolního jiskrového analyzátoru Q4 Tasman.

Na základě provedených měření a získaných hodnot jednotlivých prvků byl následně proveden výpočet uhlíkového ekvivalentu.

Tabulka 4.2 – Chemické složení základního materiálu

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
1	0,038	0,019	0,184	0,0064	<0,15	0,024	<0,01	0,019	0,019
2	0,035	0,018	0,182	0,0054	<0,15	0,025	<0,01	0,019	0,019
3	0,035	0,019	0,183	0,0054	<0,15	0,024	<0,01	0,018	0,022
Průměr	0,036	0,019	0,183	0,0057	<0,15	0,024	<0,01	0,019	0,02
	Al	As	Ce	N	Sb	Ti	Zn	Fe	
1	0,046	0,013	0,0053	0,021	0,013	0,0015	0,0037	99,35	
2	0,052	0,013	0,0062	<0,02	<0,01	<0,001	0,0042	99,36	
3	0,048	0,013	<0,005	<0,02	<0,01	0,0023	0,0042	99,36	
Průměr	0,049	0,013	0,005	<0,02	0,011	0,0016	0,004	99,36	

Z uvedených výsledků vyplývá, že chemické složení základního materiálu nepřekračuje obsah hl. požadovaných prvků pro tento materiál. Na základě provedených měření chemického složení lze stanovit uhlíkový ekvivalent podle vzorce

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (4.1)$$

$$CET = 0,036 + \frac{0,183 + 0,01}{10} + \frac{0,024 + 0,02}{20} + \frac{0,019}{40} = 0,06$$

Tabulka 4.3 – Chemické složení materiálu používaného svorníku

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
1	0,177	0,286	0,364	0,01	<0,15	0,033	<0,01	0,017	0,013
2	0,19	0,271	0,37	0,01	<0,15	0,033	<0,01	0,017	0,014
Průměr	0,184	0,279	0,367	0,01	<0,15	0,033	<0,01	0,017	0,0135
	Al	As	Bi	Ce	N	Sb	Ti	Zn	Fe
1	0,038	0,013	0,014	0,013	0,023	<0,01	0,0014	0,0032	98,74
2	0,037	0,013	0,011	0,015	0,023	0,011	0,0024	0,0034	98,74
Průměr	0,0375	0,013	0,0125	0,014	0,023	0,0105	0,0105	0,0033	98,74

Uhlíkový ekvivalent pro používaný svorník

$$CET = 0,184 + \frac{0,367 + 0,01}{10} + \frac{0,033 + 0,0135}{20} + \frac{0,017}{40} = 0,224$$

Tabulka 4.4 – Chemické složení materiálu konkurenčního svorníku

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	0,083	0,059	0,346	0,0073	<0,15	0,037	<0,01	0,059
2	0,079	0,054	0,352	0,0061	<0,15	0,037	<0,01	0,056
Průměr	0,081	0,057	0,349	0,0067	<0,15	0,037	<0,01	0,0575
	Al	As	Bi	Ce	N	Sb	Ti	Zn
1	0,037	0,022	0,013	0,015	0,029	<0,01	0,0011	0,027
2	0,035	0,023	0,017	0,016	0,029	0,011	<0,001	0,028
Průměr	0,036	0,023	0,015	0,016	0,029	0,0105	0,00105	0,0275
	Cu	Fe						
1	0,085	98.92						
2	0,083	98.93						
Průměr	0,084	98.925						

Uhlíkový ekvivalent pro konkurenční svorník

$$CET = 0,081 + \frac{0,349 + 0,01}{10} + \frac{0,037 + 0,084}{20} + \frac{0,0575}{40} = 0,124$$

Z porovnání chemického složení obou svorníků vyplývá, že používaný svorník má oproti konkurenčnímu přibližně o 0,1 hmot% vyšší obsah uhlíku. Nižší obsah uhlíkového ekvivalentu značí lepší svařitelnost materiálu. Dále má i zvýšený obsah křemíku, fosforu a snížený obsah niklu, což může ovlivnit mechanické vlastnosti i svařitelnost.

4.3 Optimalizace svařovacích parametrů

Norma ČSN EN ISO 14555 popisuje nastavení svařovacího proudu podle průměru svorníku mezi 300 A a 3 000 A. Pro výpočet svařovacího proudu slouží tyto vzorce:

$$I = 80 \times d \text{ – pro svorníky do průměru 16 mm} \quad (4.2)$$

$$I = 90 \times d \text{ – pro svorníky s průměrem přes 16 mm} \quad (4.3)$$

U ocelí se obvykle volí proud o 10 % nižší.

Svařovací doba může být vypočítána podle těchto vzorců:

$$t_w = 0,02 \times d \text{ – pro svorníky přibližně do průměru 12 mm} \quad (4.4)$$

$$t_w = 0,04 \times d \text{ – pro svorníky větší než průměr 12 mm} \quad (4.5)$$

Výpočty pro svorník o průměru 10 mm tedy jsou:

$$I = (80 \times 10) \times 0,9 = 720 \text{ A}$$

$$t_w = 0,02 \times 10 = 200 \text{ ms}$$

Po provedených výpočtech bylo opět odzkoušeno přivaření svorníků za nových podmínek na pracovišti Laboratoře výuky svářečských technologií na ČVUT v Praze (Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie) (viz obr. 4.17). Opět se stejným svářecím zdrojem PRO-D 1600 (viz obr 4.2) a svářecí pistolí PHM-12 (viz obr. 4.3). Pro ověření kvality svarového spoje se vytvořilo celkem 15 zkušebních vzorků (viz obr. 4.18 a 4.19), které byly přivařeny na upínacích kruzích (materiál ČSN 11 523 a průměr 311 mm) používaných v reálné výrobě. První vzorek byl vytvořen s parametry 700 A a 280 ms pro porovnání. Jako referenční parametry byly použity parametry stanovené výpočtem

(720 A, 200 ms) a k těmto parametrům bylo odzkoušeno rozmezí ± 40 A a časy od 160 do 320 ms (po 40 ms) (viz tab. 4.5).

Po každém přivaření svorníku bylo nutné vyčkat kvůli snížení teploty upínacího kruhu. Především proto, aby nedocházelo ke strukturním změnám, které by mohly způsobit snížení věrohodnosti zkoušky parametrů.

Další podmínkou bylo dodržení kolmosti svorníku. Pokud je svorník vychýlen, tak způsobí oslabení svarového spoje. Spolu s tím souvisí i vycentrování polohy svorníku na upínacím kruhu tak, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění hrany upínacího kruhu. To může způsobit nevhodné ovlivnění tepelně ovlivnitelné oblasti. Pokud nejsou tyto aspekty dodrženy, je velká pravděpodobnost negativního ovlivnění kvality svarového spoje.

Tabulka 4.5 - Hodnoty svařovacích parametrů pro vytvořené vzorky

Vzorek	Proud [A]	Čas [ms]
1.	700	280
2.	680	160
3.	680	200
4.	680	240
5.	680	280
6.	680	320
7.	720	160
8.	720	200
9.	720	240
10.	720	280
11.	720	320
12.	760	160
13.	760	200
14.	760	240
15.	760	280



Obr. 4.17 - Ukázka pracoviště při přivařování svorníků



Obr. 4.18 - Přivařený svorník s neodstraněným keramickým kroužkem



Obr. 4.19 - Ukázka přivařených svorníků

5 Vyhodnocení dosažených výsledků

Po vytvoření 15 zkušebních vzorků bylo nutné zkontrolovat svary vizuálně. Kontroluje se pravidelnost a tvar výronku, úhel a umístění svorníku.

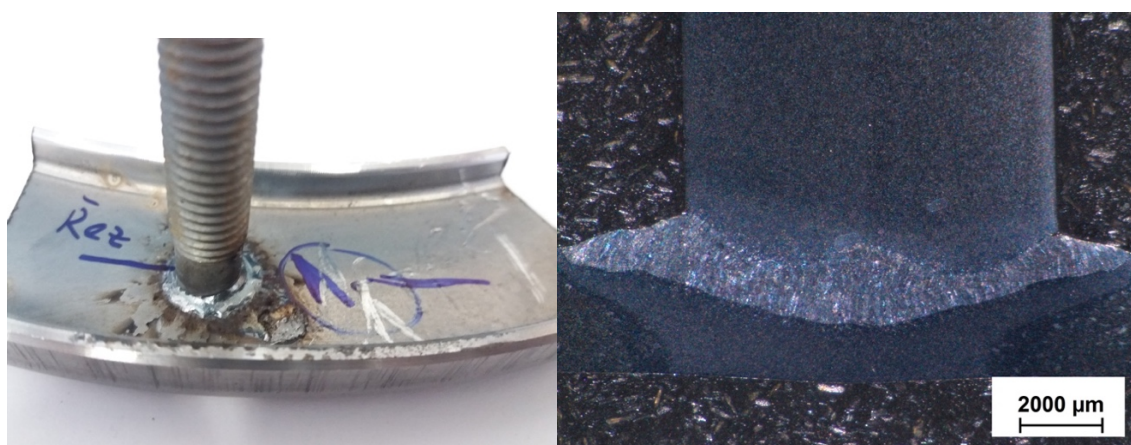
Po této kontrole následovala příprava na zkoušku makrostruktury, která začíná oddělením jednotlivých vymezených prostorů svorníků z upínacího kruhu. Toto je provedeno pomocí kotoučové pily. Poté proběhla práce na jednotlivých svornících a to vytvořením příčného řezu svorníkem a zalisováním vzorku. Zde se kontroluje makrostruktura + případné vnitřní vady: póry, neprůvary a trhliny.

5.1 Vzorek č.1 (700 A a 280 ms)

Dle vizuální kontroly svarový spoj (obr. 5.1) vyhovuje. Úhel přivaření i jeho pozice je v pořádku. Pravidelnost výronku je po celém obvodu a tvar prokazuje kontinuální přivaření, nicméně výronek je poměrně plochý a okolo svarového spoje se nachází viditelně větší tepelně ovlivněná oblast, která je způsobena delším časem svařování.

Zkouška makrostruktury potvrzuje kvalitní provedení svarového spoje bez viditelných pórů, trhlín nebo neprůvarů.

Bohužel tento svorník již cyklickou zkoušku nevydržel, a proto je tento vzorek brán k porovnání s ostatními.



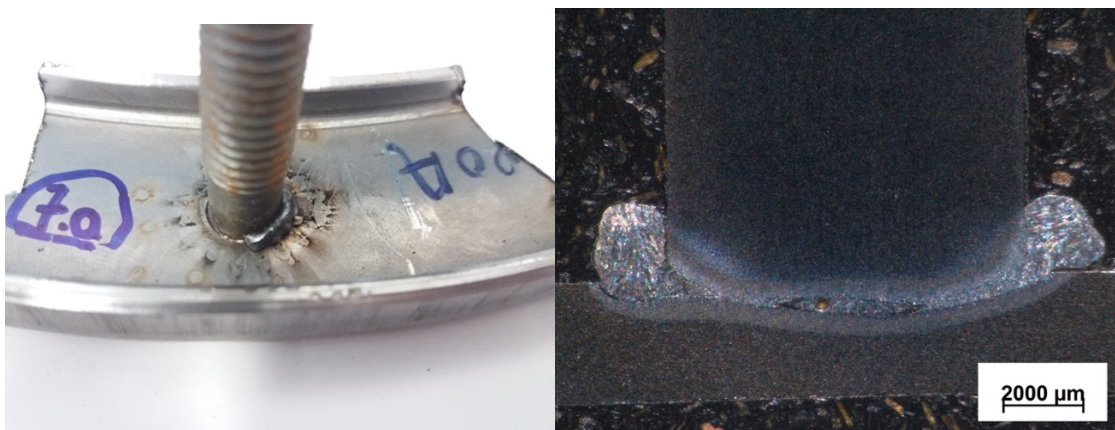
Obr. 5.1 - Vzorek č.1

5.2 Vzorek č.2 (680 A a 160 ms)

Svarový spoj s parametry 680 A a 160 ms již neprošel vizuální kontrolou. Tvar i kontinuálnost výronku není po celém obvodu stejná, což by při následné cyklické zkoušce znamenalo vytržení svorníku.

Makroskopická zkouška potvrdila, že svarový spoj není provařen po celé styčné ploše. Trhliny a póry jsou zde vzhledem k velmi malému provaření zanedbatelné.

Tento svarový spoj tedy nelze využít pro následnou cyklickou zkoušku. Nízká kvalita svarového spoje je hlavně způsobena nízkým proudem a svařovací dobou, kdy se svorník spolu se základním materiálem nedokázal dostatečně natavit.



Obr. 5.2 - Vzorek č.2

5.3 Vzorek č.3 (680 A a 200 ms)

Svarový spoj (viz obr. 5.3) s přidáním časem svařování na 200 ms je dle vizuální kontroly v pořádku. Tvar i souvislost výronku ji potvrzuje.

Makroskopický snímek sice ukazuje lepší průvar než v předchozím případě, ale kvalita spoje je stále nedostatečná. Hlavně kvůli malému provaření, které je opět způsobené nízkým proudem nebo nedostatečně dlouhým časem svařování. Svorník a základní materiál není natolik nataven a nevzniká tedy dostatečně velká svarová lázeň. Póry a trhliny nejsou viditelné.

Pro cyklickou zkoušku není tento svarový spoj vhodný. Vzhledem k nedostatečnému provaření po ploše dotyku a v pravé části svarového spoje by mohlo dojít k jeho vytržení.



Obr. 5.3 - Vzorek č.3

5.4 Vzorek č.4 (680 A a 240 ms)

Vzorek (viz obr. 5.4) prošel vizuální kontrolou a následovala zkouška makrostruktury. Makrostruktura odhalila podobné provaření jako v předchozím případě (zvýšení průvaru není moc velké, je ale viditelná oblast většího množství taveniny, což se ale projeví zejména zvětšením výronku), nicméně jsou zde patrné již vnitřní vady typu pórů, což by při následném testování snížilo jeho životnost. Snímek zobrazuje póry, které nepřevyšují 5 % plochy průvaru.

Svařovací parametry jsou stále nevyhovující a to především díky nízké hodnotě svařovacího proudu.



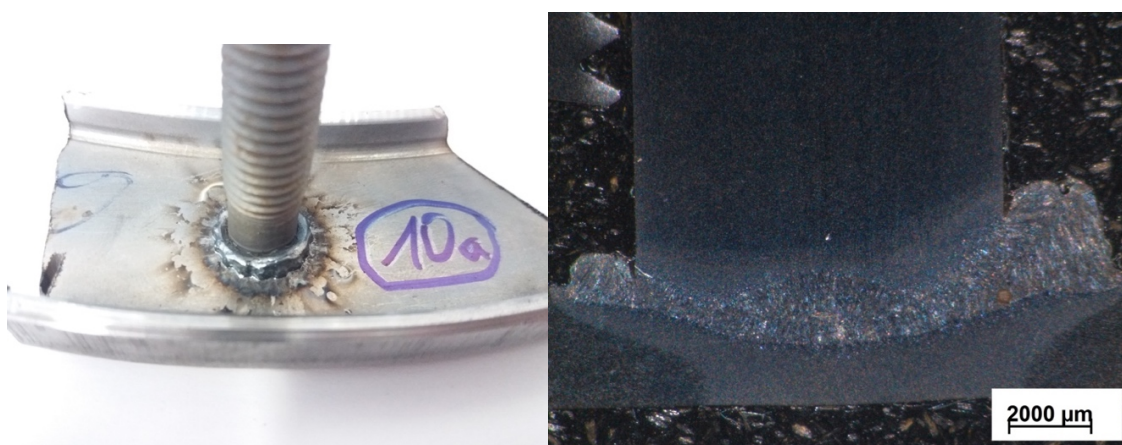
Obr. 5.4 - Vzorek č.4

5.5 Vzorek č.5 (680 A a 280 ms)

Vzorek číslo 5 (viz obr. 5.5) by mohl splnit kritéria pro cyklickou zkoušku. Vizuální kontrola svarového spoje potvrzuje kvalitní svarový spoj s výronkem po celém obvodu (z makrosnímku je však vidět, že jeho velikost není ideálně konstantní). Umístění je vycentrované i úhel je správný.

Následný krok v podobě zkoušky makrostruktury potvrzuje kompletní provaření svarového spoje bez dalších vad v podobě trhlin nebo pórů.

Upínací kruhy s těmito parametry by mohly být vyzkoušeny na cyklické zkoušce.



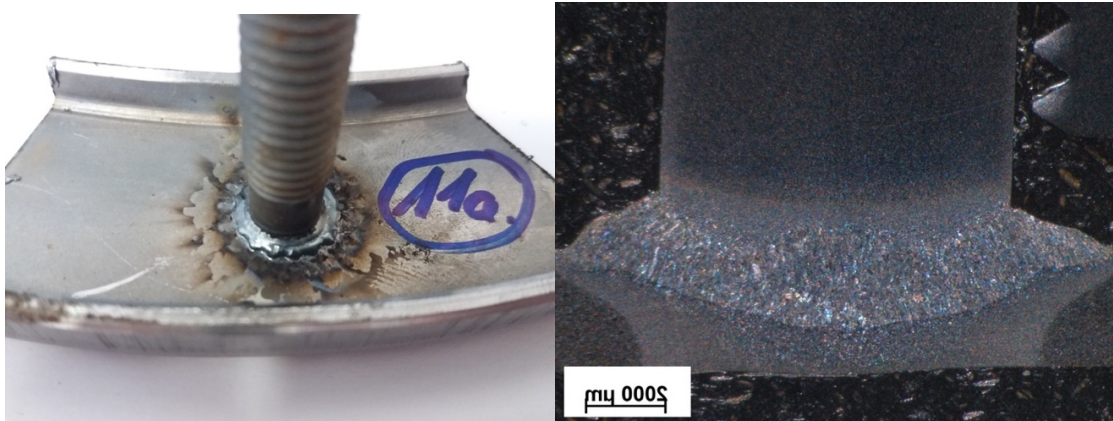
Obr. 5.5 - Vzorek č.5

5.6 Vzorek č.6 (680 A a 320 ms)

Vzorek číslo 6 (viz obr 5.6) splňuje podmínky vizuální kontroly, i když oproti předešlému svorníku s parametry 680 A a 280 ms je výronek více rozšířený a má plochý charakter.

Snímek z makroskopie potvrzuje značný průvar v celé ploše. Vady typu pórů nebo neprůvarů se zde neobjevují.

Ze všech svorníků s nastaveným proudem 680 A je tento nejkvalitnější. V porovnání s referenčním svorníkem s parametry 720 A a 200 ms je průvar větší a tím by mohl svarový spoj vydržet delší zátěž na cyklické zkoušce. U tohoto svarového spoje by bylo nutné ještě provést zkoušku tvrdosti, která by porovnála, zda tepelným ovlivněním nedošlo k velkým změnám mechanických vlastností.



Obr. 5.6 - Vzorek č.6

5.7 Vzorek č.7 (720 A a 160 ms)

Vizuální kontrola u vzorku č. 7 (viz obr. 7) splňuje požadavky na výronek v celém obvodu a jeho tvaru.

Makrostruktura svarového spoje nesplňuje parametry na kvalitu svarového spoje, kdy je průvar po celé ploše, ale je minimální. Základní materiál spolu se svorníkem není zcela nataven, což způsobuje nízkou pevnost svarového spoje. Póry nebo trhliny nejsou na snímku viditelné.



Obr. 5.7 - Vzorek č.7

5.8 Vzorek č.8 (720 A a 200 ms)

Vzorek číslo 8 (viz obr. 8) byl proveden podle vypočítaných parametrů a je tedy referenční. Vizuální kontrola svorníku splnila požadavek na kvalitu. Výronek je po celém obvodu i s pravidelným tvarem.

Makrostruktura vzorku č. 8 potvrzuje provaření po celé ploše, které je uprostřed větší než na krajích. Trhliny nejsou viditelné. Naopak na snímku jsou zobrazeny póry, které však nepřevyšují 5% plochy svaru.

Tento svarový spoj s danými parametry má předpoklady pro kvalitní přivaření svorníku. Proto můžeme využít těchto vzorků k cyklické zkoušce. V porovnání s uvedeným svorníkem č.1 je kvalita svarového spoje nižší.



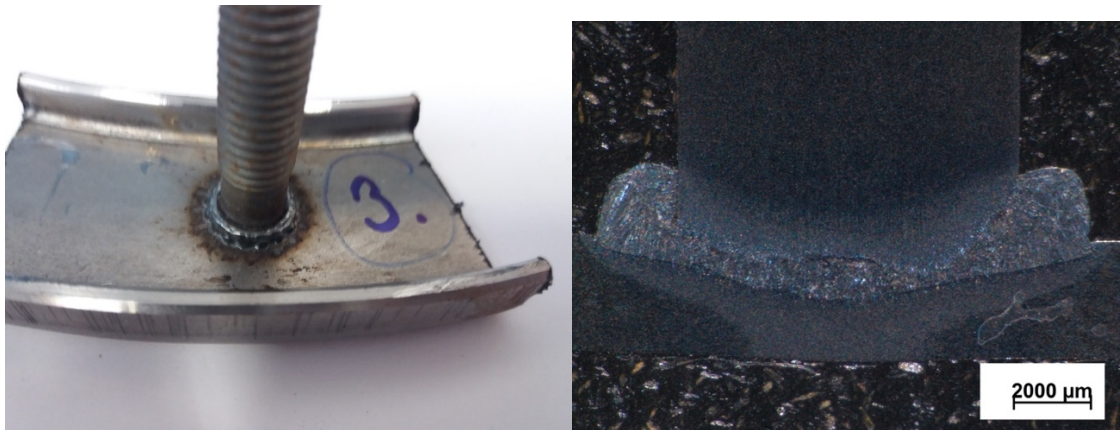
Obr. 5.8 - Vzorek č.8

5.9 Vzorek č.9 (720 A a 240 ms)

Vzorek číslo 9 (viz obr. 5.9) byl proveden za svařovacích podmínek 720 A a 240 ms, kdy vizuální zkouška vyhověla na kvalitu svarového spoje. Svar je pravidelný po celém obvodu.

V řezu svarového spoje je dostatečný průvar. Nežádoucí vady v podobě pórů a trhlin nebyly zjištěny.

V porovnání s referenčním vzorkem a vzorkem využitým již při cyklické zkoušce je tento podobně kvalitní. Průvar je větší a tím by díky nezjištěným dalším vadám mohl vydržet celý průběh cyklické zkoušky. U tohoto svarového spoje by bylo vhodné porovnat mechanické vlastnosti, které mohla snížit tepelně ovlivněná oblast. Ta je podle vizuální kontroly nejmenší ze všech vhodných vzorků.



Obr. 5.9 - Vzorek č.9

5.10 Vzorek č.10 (720 A a 280 ms)

Vzorek č. 10 (viz obr. 5.10) splnil požadavky na kvalitu svarového spoje provedenou vizuální kontrolou. Rovnoměrný a konstantní výronek dopomáhá k pevnosti svarového spoje.

Provedená zkouška makrostruktury odhalila drobný pór uprostřed výronku. Neprůvary ani trhliny nejsou na snímku viditelné. Podle snímku je velikost výronku totožná s velikostí průvaru (správně by měl mít větší velikost výronek).



Obr. 5.10 - Vzorek č.10

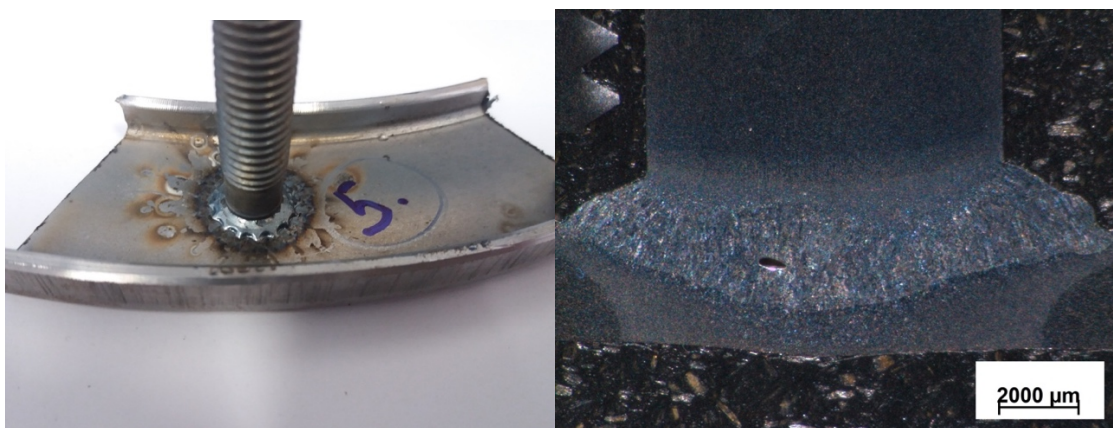
5.11 Vzorek č.11 (720 A a 320 ms)

Vizuální zkouška vzorku číslo 11 (viz obr. 5.11) již nesplňuje požadavky na kvalitu svarového spoje. Výronek je proveden po celém objemu, ale vzhledem

k vysokému času je značně viditelná rozsáhlá tepelně ovlivněná oblast. Ta způsobila nerovnoměrný tvar výronku.

Makrostrukturní snímek potvrzuje rozsáhlé provaření po celé styčné ploše svorníku. Vzhledem k vysokému času bylo nataveno více základního materiálu i svorníku. Vada v podobě póru je v přípustném rozmezí.

Vzhledem k nízké kvalitě vnějšího svarového spoje není tento svorník přípustný pro cyklickou zkoušku.



Obr. 5.11 - Vzorek č.11

5.12 Vzorek č.12 (760 A a 160 ms)

Vzorek s č.12 (viz obr. 5.12) má vzhledem k nízké svařovací době nedokonalý výronek, který není tvarové souměrný.

Doba svařování se projevila i u snímku z makrostruktury, která potvrzuje nekvalitu svarového spoje a to především díky neprůvaru mezi základním materiálem a svorníkem. Vady ani póry nejsou viditelné. Díky nízkému času nelze nastavení parametrů považovat za vhodné.

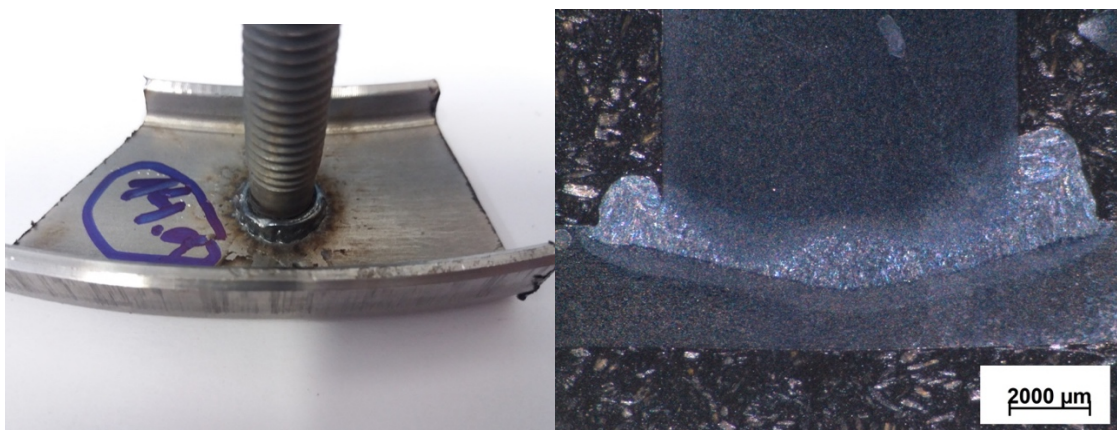


Obr. 5.12 - Vzorek č.12

5.13 Vzorek č.13 (760 A a 200 ms)

Na vzorku č. 13 (viz obr. 5.13) byla provedena vizuální kontrola, která vyhověla kvalitě svarového spoje. Tepelně ovlivněná oblast není nijak rozsáhlá a výronek je pravidelný a tvarově rovnoměrný.

Makrostrukturní snímek zobrazuje místa s neprůvody po celé dosedací ploše. Póry nebo trhliny zde nejsou patrné. Tento vzorek tedy nelze využít pro cyklickou zkoušku.

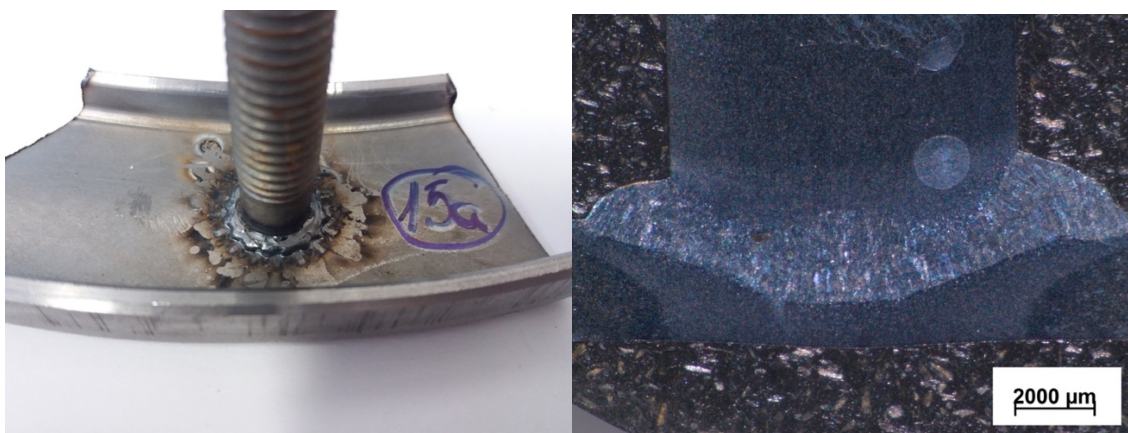


Obr. 5.13 - Vzorek č.13

5.14 Vzorek č.14 (760 A a 240 ms)

Provedená vizuální kontrola u vzorku č. 14 (viz obr. 5.14) prokázala, že je svarový spoj pravidelný ale více rozšířený. Tím není zcela optimální. Tepelně ovlivněná oblast je díky vysokým parametrům proudu a času větší.

Makrostrukturní snímek je bez viditelných vad s dostatečně velkým provařením. V porovnání s referenčním vzorkem je výška provaření větší a tím je možné využít tohoto svorníku pro cyklickou zkoušku.



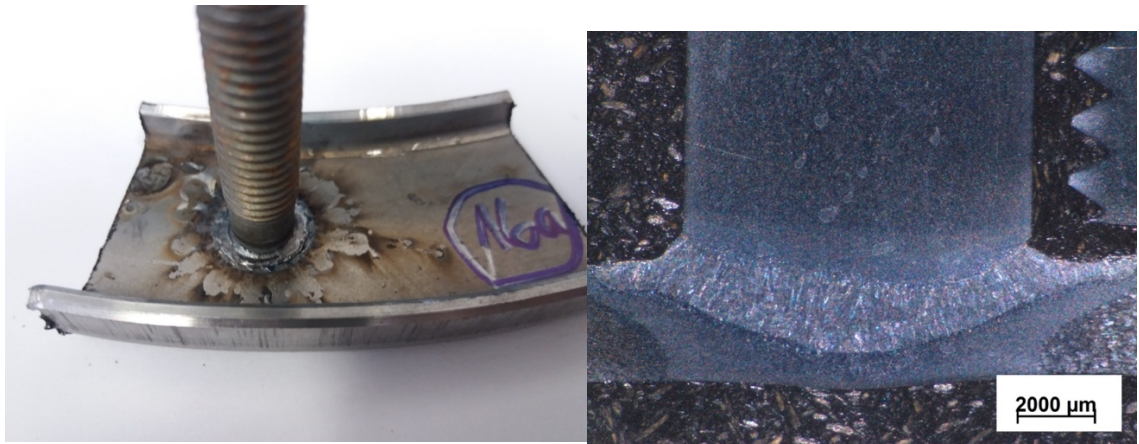
Obr. 5.14 - Vzorek č.14

5.15 Vzorek č.15 (760 A a 280 ms)

Vzorek č. 15 (viz obr. 5.15) byl vytvořen za vysokých svařovacích podmínek. Vizuální zkouška odhalila nedostatečně kvalitní svarový spoj, který je způsoben vysokým proudem a dlouhým časem. Prostor tepelně ovlivněné oblasti je velmi rozsáhlý, což znehodnocuje kvalitu svarového spoje.

Makrostrukturní snímek zobrazuje celoplošné svarové provaření. V pravé části svarového spoje (z pohledu makrosnímku) je výronek velmi malý a pravděpodobně došlo k výstřiku, což způsobilo mírný vrub. Při cyklickém namáhání by mohl být s největší pravděpodobností iniciátorem trhliny.

Vzhledem k nízké kvalitě svarového spoje nebylo nutné navyšovat čas na 320 ms při nastaveném proudu 760 A, protože by opět nesplnily požadavky na kvalitu.



Obr. 5.15 - Vzorek č.15

6 Závěr

V této diplomové práci byla popsána a rozebrána problematika kvality upínacích kruhů, které jsou ve firmě Rubena a.s. nasazovány na vzduchovou pružinu.

V první části byla věnována pozornost především historii získávání a vlastnostem kaučuku, jakožto základnímu materiálu pro výrobu vzduchových pružin. Zbytek kapitoly byl soustředěn na samotný proces výroby vzduchových pružin od přípravy směsi až po konečnou expedici.

V další kapitole byla představena technika obloukového přivařování svorníků, která se dělí se na kondenzátorové přivařování svorníků s hrotovým zapalováním a obloukové zdvihové přivařování svorníků s keramickými kroužky, které je využito i při přivařování svorníků na upínací kruhy. Ve zbývajících částech kapitoly jsou uvedeny potřebné předpoklady pro zařízení a metody kontroly svarového spojení.

V druhé polovině diplomové práce je věnována pozornost problému s kvalitou svarových spojů svorníků přivařovaných na upínací kruhy, které jsou součástí vzduchových pružin. Svary svorníků na upínacích kruzích po předepsané cyklické zkoušce nesplňovaly stanovené požadavky (150 000 cyklů - nevydržely více jak 20 000 cyklů). Tyto svarové spoje byly analyzovány a provedené zkoušky kvality potvrdily kvalitativně nedostačující zhotovení svarových spojů. Bylo proto doporučeno změnit parametry svařování (svařovací proud 700 A a svařovací doba 280 ms nebo na 700 A a 240 ms). Došlo k prokazatelnému zlepšení svarového spojení, které potvrdila i zkouška vizuální a metalografická. Toto zlepšení se ukázalo na výsledcích cyklické zkoušky, kdy svorníky vydržely bez vytržení potřebných 150 000 cyklů. Při vyjmutí ze zkušebního stroje a provedení vizuální kontroly byly však objeveny trhliny.

Proto byl dále navržen experiment, který se podrobněji zabývá optimalizací svařovacích podmínek, a který zmapoval vliv daných svařovacích parametrů.

Testováno bylo celkem 15 různých variant nastavení svařovacích parametrů. První vzorek byl vytvořen s parametry 700 A a 280 ms pro porovnání. Další přivařený vzorek byl zhotoven dle vypočítaných hodnot (720 A, 200 ms) a k těmto bylo odzkoušeno rozmezí ± 40 A a časy od 160 do 320 ms (po 40 ms).

Po přivaření svorníku na upínací kruhy bylo z časových důvodů provedeno hodnocení kvality „pouze“ dvěma způsoby: vizuální kontrolou a následně metalografickou zkouškou makrostruktury.

I když podle výpočtu byla doporučená hodnota pro přivařování 720 A a 200 ms, pro firmu Rubena a.s. a především jeho dodavatele upínacích kruhů s již přivařenými svorníky se nejlépe jeví hodnoty 760 A a 240 ms (viz kapitola 5.14 – vzorek č. 14) nebo vzorek číslo 6 s hodnotami 680 A a 320 ms (viz kapitola 5.6 – vzorek č. 6) a vzorek číslo 9 s hodnotami 720 A a 240 ms (viz kapitola 5.9 – vzorek č. 9). Poslední zmíněné hodnoty svařovacích parametrů jsou dle mého názoru nejvhodnější a firmě bych je doporučil.

Vzhledem k různě velkým tepelně ovlivněným oblastem byla doporučena zkouška tvrdosti pro ověření mechanických vlastností v místě svarového spoje.

Pro samotné přivaření svorníků je nutné brát ohled především na odlišnou svařovací aparaturu než je k dispozici v laboratořích ČVUT, a tedy na potřebné odzkoušení a odladění podmínek na konkrétním pracovišti, kde bude probíhat reálná výroba tak, aby operátorka u svařovacího poloautomatu mohla vizuálně potvrdit kvalitu svaru.

Použité literární zdroje

- [1] LOJDA, Jan. *Aspekty výroby klínových řemenů*. 2015, Praha. Bakalářská. ČVUT Praha. Vedoucí práce Ing. Barbora Bryksí Stunová, Ph.D.
- [2] Thajsko - Koh Samui. *Libor Novotný* [online]. [vid. 2017-07-24]. Dostupné z: <http://www.libornovotny.cz/Thajsko/Koh%20Samui.htm>
- [3] KREJČÍŘ, O. *Pneumatická vibroizolace* [Doktorská disertační práce]. Liberec: VŠST Liberec, 1986
- [4] History of stud welding. *NSW Nelson* [online]. 2002 [vid. 2017-06-08]. Dostupné z: http://www.nsw-j.com/en/e_stud_history.html
- [5] ČSN EN ISO 14555: Svařování - Obloukové přivařování svorníků z kovových materiálů, UNMZ, Praha, 2014
- [6] What is stud welding. *Image industries* [online]. [vid. 2017-06-09]. Dostupné z: <http://www.imageindustries.com/what-is-stud-welding/>
- [7] Odborný výcvik ve 3. tisíciletí: Metodika svařování se souborem příkladů pro multifunkční svářečské centrum. *SPŠOA Uherský Brod* [online]. Uherský Brod, 2010 [vid. 2017-06-10]. Dostupné z: [http://int.spsoa-ub.cz/projekty/ov3000/STROJ/ZAMECNIK/metodika_svarovani_s_prikлады.pdf](http://int.spsoa-ub.cz/projekty/ov3000/STROJ/ZAMECNIK/metodika_svarovani_s_prikklady.pdf)
- [8] Svorníkové svařování s hrotovým zapalováním: Technika svorníkového svařování vysvětlená do detailu. *Köster & Co* [online]. [vid. 2017-06-10]. Dostupné z: <http://www.koster.cz/pouziti/metody-svornikoveho-svarovani/svornikove-svarovani-s-hrotovym-zapalovanim/>
- [9] Ferrules. *Bluearc stud welding* [online]. [vid. 2017-07-27]. Dostupné z: <http://www.bluearcstudwelding.com/ferrules>
- [10] *Simaf: Produkty Simaf CZ s.r.o.* [online]. [vid. 2017-07-28]. Dostupné z: <http://www.edb.cz/grmat/obr/Simaf-O4.jpg>
- [11] Přivařovací prvky. Atila styl [online]. [vid. 2017-07-24]. Dostupné z: <http://www.atilastyl.cz/download/untitled-folder/KATALOG%20ATILA%20STYL%20privarovaci%20prvky%20WEB.pdf>

- [12] VÁLOVÁ, Marie a Ladislav KOLAŘÍK. Perspektivní metody spojování materiálu – přivařování svorníků: Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky. In: *Sborník odborného semináře Ústavu přístrojové a řídicí techniky, ČVUT v Praze FS, Jindřichův Hradec, 2009* [online]. 2009, s. 7 [vid.2017-07-28]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/U12110/vyzkum/Trebon09/cd/AR/Va.pdf>
- [13] Výběr ochranných plynů pro obloukové svařování: Svařování a dělení. *Konstrukce* [online]. 2008 [vid. 2017-07-28]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/vyber-ochrannych-plynu-pro-obloukove-svarovani/>
- [14] ŠTORKÁN, Ing. Zdeněk. *Problematika hodnocení svarových spojů* [online]. 2012 [vid. 2017-06-15]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>
- [15] KOLAŘÍK, Ladislav. Destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů [online prezentace]. Praha: Ústav strojírenské technologie, ČVUT [vid. 2014-07-26]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/zkousky_svaru_ndt.pdf
- [16] Vizuální kontrola. *Tlakinfo* [online]. 2007 [vid. 2017-06-16]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1359>
- [17] Pevnost a lom látek. *Reologie* [online]. [vid. 2017-06-16]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/2_6
- [18] PODHORA, Jiří. Destruktivní zkoušení základních materiálů a svarových spojů. Brno: TDS Brno – SMS, s.r.o., 2005. ISBN 80-903386-4-X
- [19] Perspektivní metoda spojování materiálů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014 [vid. 2017-07-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/perspektivni-metoda-spojovani-materialu.html>
- [20] MICHNOVÁ, Ing. Lenka. *Úvod do metalografie: Metodická příručka* [online]. Praha: Centrum pro studium vysokého školství, 2015 [vid. 2017-07-24]. ISBN 978-80-86302-71-3. Dostupné z: http://www.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/data/15_KA3_Lenka_%20Michnova_Uvod_do_metalografie_metodicka_prirucka.pdf

- [21] ČSN 11 523 / 1.0570 / ST52.3. *JKZ Bučovice a.s.* [online]. [vid. 2017-07-24].
Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-11-523-10570-st523/>
- [22] *Cutlass Stud Welding: Cutlass ARC Pro-D Stud Welders* [online]. [vid. 2017-07-24]. Dostupné z: <http://www.cutlass-studwelding.com/equipment/arcpro-d.php>
- [23] *AS Schöler + Bolte* [online]. [vid. 2017-07-24]. Dostupné z: <http://www.as-schoeler-bolte.com/index.php/en/products-and-services/stud-welding-guns/drawn-arc/280-phm-12>

Seznam použitých obrázků

Obr. 1.1 - Sběr přírodního kaučuku[2].....	12
Obr. 1.2 - Extrudér	21
Obr. 1.3 - Válec pro tvorbu polotovaru.....	22
Obr. 1.4 - Polotovar vyválnen v brusném prachu	22
Obr. 1.5 - Bombírování vzduchové pružiny	23
Obr. 1.6 - Vzduchová pružina před a po vulkanizaci	24
Obr. 1.7 - Zkompletované vzduchové pružiny	25
Obr. 2.1 - Přivaření svorníků ke zpevnění paluby lodi pomocí dřevěných desek [4].....	26
Obr. 2.2 - Postup zdvihového přivařování svorníku s keramickým kroužkem (a – přípravná část, b – zážeh, c – natavení, d – ponoření, e – celoplošné spojení) [8].	28
Obr. 2.3 - Zdvihové přivařování svorníku v ochranném plynu (a – nasazení svorníku, b – zážeh, c – natavení, d – ponoření, e – celoplošné spojení) [8]	29
Obr. 2.4 - Princip krátkodobého zdvihového přivařování svorníku (a – nasazení na výrobek, b – zážeh, c – natavení, d – ponoření, e – celoplošné spojení)[8]	30
Obr. 2.5 - Princip kondenzátorového zdvihového přivařování svorníku (a – nasazení na výrobek, b – zážeh, c – natavení, celoplošné spojení)[9]	31
Obr. 2.6 - Svorníky pro zdvihové přivařování a keramické kroužky[10].....	33
Obr. 2.7 - Druhy keramických kroužků (a – PF, b – UF, c – RF)[11].....	34
Obr. 2.8 - Svorníky pro metodu hrotového přivařování svorníků[10].....	35
Obr. 2.9 - Postup hrotového přivařování svorníku (a – start, b – zapálení oblouku, c – ponoření, d – výsledné spojení)[8].....	35
Obr. 2.10 - Zkouška ohybem (1 – svorník, 2 – základní materiál, 3 – ohýbací nástroj, ✓ - úhel ohybu)[5]	40

Obr. 2.11 - Zkouška tahem (1 – svorník, 2 – ocelová matice, 3 – podložka, 4 – pouzdro, 5 – výronek, 6 – základní materiál)[5].....	41
Obr. 2.12 - Zkouška krutem (d – průměr svorníku, h – délka závitové části svorníku, t – tloušťka plechu, T – kroučící moment)[5].....	42
Obr. 2.13 - Metalografický snímek přivařených svorníků se zdvihovým zážehem a hrotovým zážehem[19]	43
Obr. 2.14 - Postup přípravy vzorku metalografického výbrusu[20].....	43
Obr. 3.1 - Ukázka přivařených svorníků[5].....	48
Obr. 3.2 - Svorník S235J2[8].....	49
Obr. 3.3 - Výkres upínacího kruhu	50
Obr. 3.4 - Zkušební stroj pro zkoušku životnosti.....	51
Obr. 3.5 - Zkušební stroj pro zkoušku životnosti.....	51
Obr. 3.6 - Svorník po zkoušce životnosti.....	52
Obr. 3.7 - Svorník po zkoušce životnosti.....	52
Obr. 3.8 - Vizuální kontrola přivařeného svorníku.....	53
Obr. 3.9 - Fotka makrostruktury vzorku č. 1 - póry a neprůvar.....	55
Obr. 3.10 - Fotka makrostruktury vzorku č. 2 - póry, neprůvar a trhlina	55
Obr. 4.1 - průběh svařovacích parametrů (Y - svařovací proud, X – čas svařování, Z – pohyb svorníku, P – vysunutí, L – zdvih)[5]	56
Obr. 4.2 - Svařovací zdroj PRO-D 1600[23]	57
Obr. 4.3 - Svařovací pistole PHM-12[24].....	58
Obr. 4.4 - Vzorek č.3 – přivařený svorník za podmínek 520 A a 300 ms	59
Obr. 4.5 - Vzorek č.3 – Snímek makrostruktury přivařeného svorníku za podmínek 520 A a 300 ms	59
Obr. 4.6 - Vzorek č. 4 - přivařený svorník za podmínek 700 A a 280 ms.....	60

Obr. 4.7 - Vzorek č. 4 - Snímek makrostruktury přivařeného svorníku za podmínek 700 A a 280 ms	61
Obr. 4.8 - Vzorek č. 5 - přivařený svorník za podmínek 700 A a 240 ms	61
Obr. 4.9 - Vzorek č. 5 - Snímek makrostruktury přivařeného svorníku za podmínek 700 A a 240 ms	62
Obr. 4.10 - Zařízení pro přivařování svorníků – reálná poloautomatická výroba u externího dodavatele	63
Obr. 4.11 - Svorník ($I = 700 \text{ A}$ a $t = 280 \text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky	64
Obr. 4.12 - Svorník ($I = 700 \text{ A}$ a $t = 280 \text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky	64
Obr. 4.13 - Svorník ($I = 700 \text{ A}$ a $t = 240 \text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky	65
Obr. 4.14 - Svorník ($I = 700 \text{ A}$ a $t = 240 \text{ ms}$) po vyjmutí z cyklické zkoušky	65
Obr. 4.15 - Makrostruktura používaného svorníku	67
Obr. 4.16 - Makrostruktura konkurenčního svorníku	67
Obr. 4.17 - Ukázka pracoviště při přivařování svorníků	72
Obr. 4.18 - Přivařený svorník s neodstraněným keramickým kroužkem	72
Obr. 4.19 - Ukázka přivařených svorníků	73
Obr. 5.1 - Vzorek č.1	74
Obr. 5.2 - Vzorek č.2	75
Obr. 5.3 - Vzorek č.3	76
Obr. 5.4 - Vzorek č.4	76
Obr. 5.5 - Vzorek č.5	77
Obr. 5.6 - Vzorek č.6	78
Obr. 5.7 - Vzorek č.7	78
Obr. 5.8 - Vzorek č.8	79
Obr. 5.9 - Vzorek č.9	80

Obr. 5.10 - Vzorek č.10	80
Obr. 5.11 - Vzorek č.11	81
Obr. 5.12 - Vzorek č.12	82
Obr. 5.13 - Vzorek č.13	82
Obr. 5.14 - Vzorek č.14	83
Obr. 5.15 - Vzorek č.15	84

Seznam použitých tabulek

Tabulka 2.1 - Rozsah parametrů pro různé metody zdvihového přivařování svorníků [5]	32
Tabulka 2.2 - Parametry kondenzátorového přivařování svorníku s hrotovým zapalováním [5]	36
Tabulka 3.1 - Volba zkoušek pro různé teploty a požadavky jakosti[5]	45
Tabulka 3.2 - Chemické složení oceli ČSN 11 523[21]	49
Tabulka 4.1 - Porovnání mikrotvrdosti používaného svorníku a konkurenčního svorníku	66
Tabulka 4.2 – Chemické složení základního materiálu	68
Tabulka 4.3 – Chemické složení materiálu používaného svorníku	69
Tabulka 4.4 – Chemické složení materiálu konkurenčního svorníku.....	69
Tabulka 4.5 - Hodnoty svařovacích parametrů pro vytvořené vzorky	71

Příloha