

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Bodové svařování ocelových plechů

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Diplomant: Bc. Tomáš Balihar

PRAHA 2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Balihar

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Bodové svařování ocelových plechů

Název anglicky

Spot welding of steel sheets

Cíle práce

- shromáždit informace o technologii odporového svařování,
- na základě vyhodnocení výsledků provedeného experimentu posoudit pevnost bodových svarů ocelových plechů, včetně ekonomického zhodnocení.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíl práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

Klíčová slova

odporové svařování; Jouleovo teplo; pevnost bodových svarů; laboratorní zkoušky; technicko-ekonomické zhodnocení

Doporučené zdroje informací

BERNASOVÁ, E. aj.: Svařování. Praha, SNTL 1987. 200 s.

BLAŠČÍK, F. aj.: Technológia tvárnenia, zliévarenstva a zvarovania. Bratislava, ALFA 1987. 832 s.

BROŽEK, M.: Working variables optimization of resistance spot welding. Manufacturing Technology. 2014. 14 (4). s. 522-527.

časopisy, firemní literatura, normy.

HOLÁSEK, J.: Odporové zvarovanie. Bratislava, SVTL 1968. 301 s.

KŘÍŽ, R., VÁVRA, P.: Strojírenská příručka. Svazek 8. Praha, SCIENTIA 1998. 256 s.

KUNCIPÁL, J., PILOUS, V., DUNOVSKÝ, J.: Nové směry ve svařování. Praha, SNTL 1984. 292 s.

Sborník "Moderní technologie pro spojování tenkých plechů". Praha, SVZP 1997. 96 s.

WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003. 193 s.

ZHANG, H., SENKARA, J.: Resistance welding: fundamentals and applications. 2nd Edition. Boca Raton, CRC Press 2012. 436 s.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 8. 1. 2017

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Bodové svařování ocelových plechů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

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

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

V Praze dne 30. 3. 2018

.....

Bc. Tomáš Balihar

Poděkování

Děkuji panu prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za odborné vedení, vstřícnost, cenné připomínky ke zpracování této diplomové práce a pomoc při provádění laboratorních zkoušek. Dále bych rád poděkoval paní Alexandře Novákové za ochotu a pomoc při přípravě zkušebních vzorků.

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá tématem odporové bodové svařování ocelových plechů. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část popisuje hlavní metody odporového svařování s důrazem na odporové bodové svařování, na kterém je charakterizován kompletní princip, technologie a hlavní předpoklady odporového svařování. Následují kapitoly věnující se zkouškám odporových svarů. Experimentální část zkoumá vliv přípravy povrchu svarových ploch na únosnost svarových spojů. Hodnocení bylo provedeno na základě výsledků statické smykové zkoušky. V poslední části diplomová práce zahrnuje technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: odporové svařování; Jouleovo teplo; pevnost bodových svarů; laboratorní zkoušky; technicko-ekonomické zhodnocení

The resistance spot welding of steel sheets

Summary: The thesis deals with the topic of resistance spot welding of steel sheets. It is divided into a theoretical and practical part. The theoretical part describes the main methods of resistance welding with emphasis on resistance spot welding, on which is characterized the complete principle, technology and main requirements of resistance welding. The next chapters dealing with resistance welding tests. The experimental part examines the effect of preparing the surface of the steel sheet at the location of the future weld to the strength of the weld joints. The evaluation was based on the results of the static tension-shear test. Finally, the work involves technical and economic evaluation.

Key words: resistance welding; Joule heating; strength of spot welds; laboratory tests; technical and economic evaluation

Obsah

OBSAH.....	4
1 ÚVOD.....	1
2 CÍL PRÁCE	3
3 METODIKA	4
4 TEORETICKÁ VÝCHODISKA	5
4.1 ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ.....	5
4.2 BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ	6
4.2.1 <i>Vznik tepla</i>	<i>7</i>
4.2.2 <i>Elektrický odpor svařovací soustavy.....</i>	<i>8</i>
4.2.3 <i>Parametry svařování</i>	<i>10</i>
4.2.4 <i>Svařovací režim.....</i>	<i>11</i>
4.2.5 <i>Tepelná rovnováha</i>	<i>12</i>
4.3 ELEKTRODY PRO ODPOROVÉ BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ	13
4.4 ŠVOVÉ SVAŘOVÁNÍ	16
4.5 VÝSTUPKOVÉ SVAŘOVÁNÍ	18
4.6 STYKOVÉ SVAŘOVÁNÍ	18
4.6.1 <i>Stykové stlačovací svařování</i>	<i>19</i>
4.6.2 <i>Stykové odtavovací svařování</i>	<i>19</i>
4.7 ZKOUŠKY ODPOROVÝCH SVARŮ	20
4.7.1 <i>Destruktivní zkoušky.....</i>	<i>20</i>
4.7.2 <i>Nedestruktivní zkoušky.....</i>	<i>24</i>
5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	27
5.1 PŘÍPRAVA PLECHŮ PRO SVAŘOVÁNÍ.....	27
5.1.1 <i>Rozměry a materiál.....</i>	<i>27</i>
5.1.2 <i>Příprava povrchu.....</i>	<i>28</i>
5.1.3 <i>Měření drsnosti povrchu.....</i>	<i>31</i>
5.2 SVAŘOVÁNÍ	32
5.3 SMYKOVÁ ZKOUŠKA.....	35

6	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	37
6.1	DÍLČÍ ZHODNOCENÍ.....	39
6.1.1	<i>Skupina vzorků č. 1 – bez přípravy povrchu.....</i>	<i>39</i>
6.1.2	<i>Skupina vzorků č. 2 – příprava odmaštěním povrchu.....</i>	<i>41</i>
6.1.3	<i>Skupina vzorků č. 3 – příprava povrchu smírkováním a odmaštěním.....</i>	<i>43</i>
6.1.4	<i>Skupina vzorků č. 4 – příprava povrchu tryskáním a odmaštěním.....</i>	<i>44</i>
6.2	SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ	46
6.2.1	<i>Porovnání při svařovacím čase 0,30 s.....</i>	<i>46</i>
6.2.2	<i>Porovnání při svařovacím čase 0,60 s.....</i>	<i>47</i>
6.2.3	<i>Porovnání při svařovacím čase 1,30 s.....</i>	<i>48</i>
7	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PRÁCE.....	50
7.1.1	<i>Výpočet nákladů na jednotlivé operace</i>	<i>50</i>
7.1.2	<i>Výpočet celkových nákladů.....</i>	<i>52</i>
7.1.3	<i>Zhodnocení</i>	<i>52</i>
8	ZÁVĚR.....	56
	CITOVANÁ LITERATURA.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK	63
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

1 Úvod

Odporové svařování označuje skupinu svařovacích metod, při kterých teplo potřebné k vytvoření svarového spoje vzniká přímo ve svařovaných materiálech průchodem elektrického proudu za současného působení svařovací síly. Do této skupiny metod patří zejména svařování bodové, švové, výstupkové a stykové svařování stlačovací a odtavovací.

Bodové svařování patří pravděpodobně mezi nejpoužívanější metody odporového svařování. Pro svou vysokou produktivitu práce se uplatňuje ve velkosériové a hromadné výrobě, zejména pak v automobilovém průmyslu. Při výrobě jedné karoserie automobilu je použito přibližně 5 000 bodových svarů, přesný počet je dán rozměry a typem karoserie. Mimo výroby automobilů a dalších dopravních prostředků (například letadla, kolejová vozidla apod.) se uplatňuje v mnoha dalších oblastech, například ve stavebnictví, při výrobě strojů pro potravinářský a chemický průmysl, domácích spotřebičů, vzduchotechniky, při svařování elektronických součástí apod.

Odporově lze svařovat prakticky veškeré druhy ocelí, nelegované, legované, ale i oceli pozinkované či jinak pokovené. Dále lze svařovat hliník, nikl, měď a jejich slitiny, ale i například titan nebo zirkon.

Metody odporového svařování se vyznačují velmi vysokou výkonností i při použití běžných svařovacích zařízení. V současnosti se výkonnost nadále zvyšuje automatizací a robotizací procesu svařování se snahou o minimalizaci nákladů.

Teoretická část diplomové práce je zpracována do několika kapitol, ve kterých se zaměřuje zejména na technologii a metody odporového svařování s důrazem na odporové bodové svařování. Úvodní kapitola obecně charakterizuje odporové svařování a uvádí jeho základní rozdělení. Následují kapitoly věnující se samotnému bodovému svařování a stručné charakteristice ostatních metod odporového svařování. Závěrem teoretické části jsou popsány hlavní metody hodnocení jakosti a mechanických vlastností odporových bodových svarů.

V úvodu experimentální části je popsána příprava a samotný průběh laboratorních zkoušek, včetně použitých nástrojů a zařízení. Následující kapitoly se zabývají zpracováním naměřených výsledků a zhodnocením vlivu přípravy povrchu svarových ploch před svařováním na mechanické vlastnosti svarového spoje. Závěrem je provedeno technicko-ekonomické hodnocení.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je popsat technologii a jednotlivé metody odporového svařování s důrazem na odporové bodové svařování. Obecně charakterizovat jednotlivé metody využívané k hodnocení kvality a mechanických vlastností odporových bodových svarů. V experimentální části posoudit vliv přípravy povrchu svarových ploch a vliv svařovacího času na velikost síly nutné k porušení svarového spoje. Dále na způsob, kterým k tomuto porušení došlo a na variabilitu naměřených výsledků statické smykové zkoušky. Závěrem provést souhrnné technicko-ekonomické zhodnocení.

3 Metodika

Metodika diplomové práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a experimentální. Teoretická část je založena na prostudování dostupné odborné literatury, studijních materiálů, vědeckých a odborných článků, informačních zdrojů a odborné konzultace. Na jejím základě je rešeršní práce systematicky vypracována dle předložené osnovy.

Metodika experimentální části zahrnovala nastříhání plechů o rozměru 100 x 25 mm z tabule ocelového plechu o tloušťce 1,5 mm. Celkem bylo takto vytvořeno 576 plechů, které byly následně rozděleny do čtyř skupin. Pro každou skupinu následoval odlišný způsob přípravy povrchu svarových ploch před svařováním. Skupina č. 1 byla zvolena jako kontrolní a na povrch plechů nebyl použit žádný způsob přípravy. Povrch plechů skupiny č. 2 byl pouze odmaštěn organickým rozpouštědlem. Povrch plechů ve skupině č. 3 byl osmirkován a odmaštěn. Pro plechy skupiny č. 4 byl povrch svarových ploch upraven tryskáním a odmaštěním.

V každé skupině bylo vytvořeno šest vzorků svarových spojů v měkkém svařovacím režimu pro každý z dvanácti dostupných svařovacích časů. Hodnocení kvality a mechanických vlastností svarových spojů vychází z výsledků statické zkoušky smykem. Naměřené hodnoty byly zpracovány pomocí statistických charakteristik polohy a variability. Dále byly hodnoty vyneseny do grafů v programu Statistica 12. Statistická významnost vlivu přípravy povrchu svarových ploch na velikost síly nutné k porušení svarového spoje, byla posouzena pomocí testu významnosti rozdílu dvou rozptylů (tzv. F-test) a testu významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů (tzv. t-test). Na závěr diplomová práce obsahuje technicko-ekonomické zhodnocení.

4 Teoretická východiska

V teoretické části jsou popsány hlavní metody odporového svařování. Největší důraz je kladen na odporové bodové svařování, na kterém je charakterizován princip, technologie a hlavní předpoklady odporového svařování. Následuje obecná charakteristika základních metod využívaných k posouzení jakosti a mechanických vlastností odporových bodových svarů.

4.1 Odporové svařování

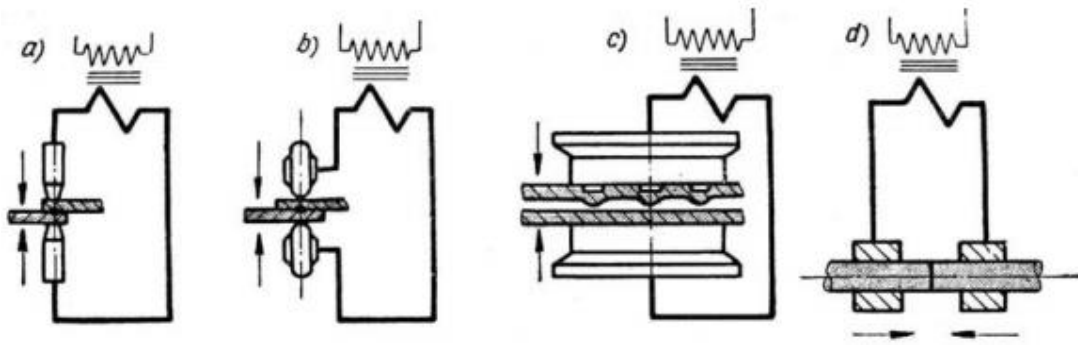
Technologie odporového svařování přísluší do skupiny tlakového svařování. V případě odporového svařování spoj vzniká ohřátím na svařovací teplotu pomocí odporového tepla vyvinutého při průchodu elektrického proudu svařovanými částmi za současného působení tlaku. Intenzita procházejícího elektrického proudu je tak vysoká, že se část materiálu nataví a dojde ke spojení obou částí. [1; 2; 3; 4]

Odporové svařovací metody jsou charakterizovány vysokou svařovací rychlostí, vysokou výkonností, možností svařovat i materiály jinými metodami nesvařitelné a v neposlední řadě vlastností vytvářet svarové spoje bez přídavného materiálu. Nevýhodami mohou být vysoké kapitálové náklady a poněkud omezený rozsah využití. [1; 4]

Odporové svařování se podle konstrukčního upořádání elektrod a pracovního postupu dělí na čtyři základní druhy, které jsou schematicky znázorněny na Obr. 1:

- a) **bodové svařování** – svarový spoj se vytváří mezi přepřátovanými a elektrodami stlačenými materiály,
- b) **švové svařování** – svarový spoj vzniká mezi dvěma kotoučovými elektrodami (případně mezi kotoučovou elektrodou a podložkou),
- c) **výstupkové svařování** – spoje se vytvářejí v místě styku připravených výstupků,
- d) **stykové svařování** – svařované materiály jsou přitlačovány ve stykových plochách a svařovány po celé stykové ploše. [1; 2; 3; 5]

Obr. 1 Základní druhy odporového svařování [4]



4.2 Bodové svařování

Bodové svařování je nejpoužívanější metodou odporového svařování. Využívá se pro spojování tenkých kovových materiálů s tloušťkou maximálně 5 + 5 mm a široké uplatnění nachází v automobilovém průmyslu. Svařované materiály se navzájem přeplátují a stlačí mezi elektrody, které jsou zhotovené převážně z mědi nebo ze slitiny mědi. Elektrody jsou připojeny ke svařovacímu transformátoru, který generuje elektrický proud. Průtokem elektrického proudu dochází k ohřevu materiálu na svařovací teplotu. Určitý objem materiálu se stává tvárným nebo se roztaví, po odpojení elektrického proudu rychle tuhne a vytvoří tak na rozhraní materiálů svarový spoj ve tvaru čochky. [1; 3; 6]

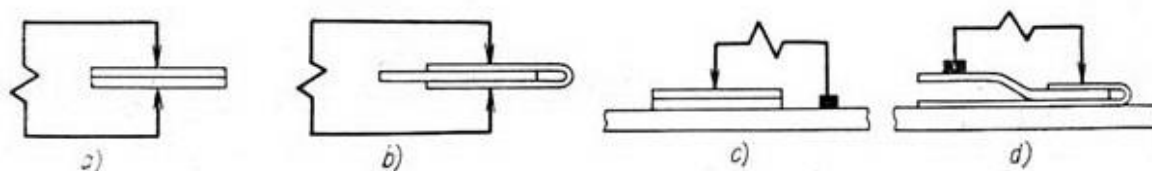
Vysoký svařovací proud společně s velmi krátkým svařovacím časem má za následek efektivní využití vznikající tepelné energie neboli velmi malé množství tepelné energie odvedené do okolního materiálu. Bodové svařování můžeme rozdělit podle konstrukčního uspořádání elektrod na:

- **přímé bodové svařování,**
- **nepřímé bodové svařování.** [1; 2; 7]

Během přímého bodového svařování se svarový spoj vytváří přímo mezi elektrodami umístěnými souose z vnější strany svařovaných částí. Naopak při nepřímém bodovém svařování jsou elektrody umístěny v různých osách pouze z jedné strany svařovaných částí. Tento způsob využívá sériového zapojení elektrod. Elektrický proud je veden skrze vodivou podložku nebo můstek z jedné elektrody na druhou. Je tak možné vytvořit i dva svarové spoje zároveň. [2; 7]

Přímé a nepřímé bodové svařování může být tzv. bez bočního proudu, kdy vzniká jeden nebo více svarů a veškerý sekundární proud teče skrz vznikající svary. Nebo tzv. s bočním proudem, kdy část proudu odtéká mimo vznikající svary. Obr. 2 ilustruje hlavní druhy bodového svařování. [2]

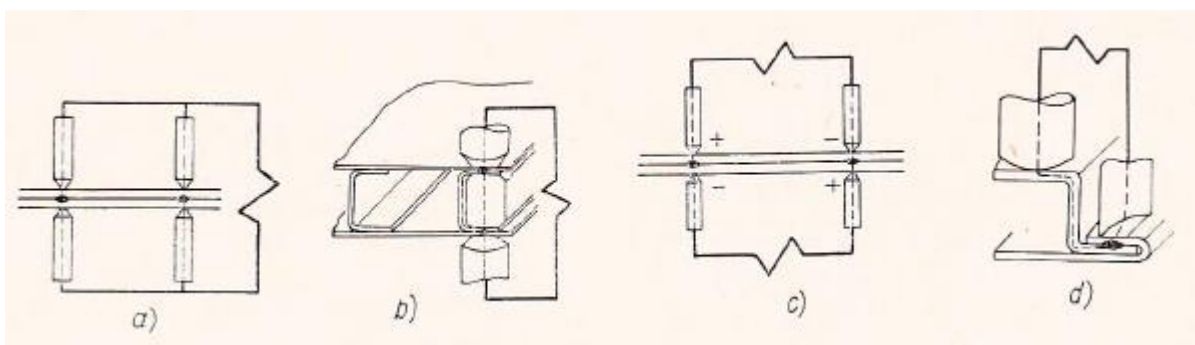
Obr. 2 Hlavní druhy bodového svařování [2]



a – přímé bez bočního proudu; b – přímé s bočním proudem; c – nepřímé bez bočního proudu; d – nepřímé s bočním proudem

Mimo jednobodového svařování se v praxi často využívá dvoubodové a mnohabodové svařování. V tomto případě, lze vyhotovit na jednom stroji dva a více bodových spojů v jedné operaci. U dvoubodového a mnohabodového svařování rozlišujeme paralelní bodové svařování a sériové bodové svařování. Dále dvoubodové svařování v protitaktu, při němž jsou protější elektrody připojeny k vlastním transformátorům s opačnou polaritou (obr. 3c) a bodové svařování na podložce, kdy je z jedné strany svařovaných částí vložena podložka. Způsoby dvoubodového a mnohabodového svařování jsou zobrazeny na obr. 3. [2; 7]

Obr. 3 Zvláštní metody bodového svařování [2]



a – paralelní svařování; b – sériové svařování; c – dvoubodové svařování v protitaktu; d – bodové svařování na podložce

4.2.1 Vznik tepla

Teplo nutné k ohřátí svařovaného místa na svařovací teplotu vzniká průchodem elektrického proudu, vysoké intenzity (až 100 000 A) při nízkém napětí (5 až 15 V), skrze přechodový odpor na rozhraní svařovaných částí stlačených mezi elektrodami. Z těchto důvodů tvorba svarového

spoje, včetně svarové čocky a tepelně ovlivněné oblasti, závisí na elektrických a tepelných vlastnostech plechů a jejich povlakových materiálů. Při bodovém odporovém svařování se využívá řízení parametrů těchto elektrických a tepelných procesů na základě Jouleova zákona, který udává množství tepla generovaného průchodem elektrického proudu soustavou a lze vyjádřit vztahem:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau \text{ [J]},$$

kde Q označuje teplo v joulech [J], I je elektrický proud v ampérech [A], R celkový elektrický odpor soustavy v ohmech [Ω] a τ je doba, po kterou prochází elektrický proud soustavou [s]. Jedním z hlavních předpokladů bodového svařování pro efektivní využití vznikajícího tepla je velmi rychlý ohřev materiálu v místě svaru tak, aby nedocházelo k příliš velkému odvodu tepla do okolního materiálu. Rychlý ohřev je dosažen vysokou intenzitou svařovacího proudu při velmi krátkém svařovacím čase. Rychlost ohřevu je důležitější než množství vznikajícího tepla. To, jak rychle se teplo při svařování přivádí, určuje teplotní historii a následně i mikrostrukturu spoje. [6; 8; 9]

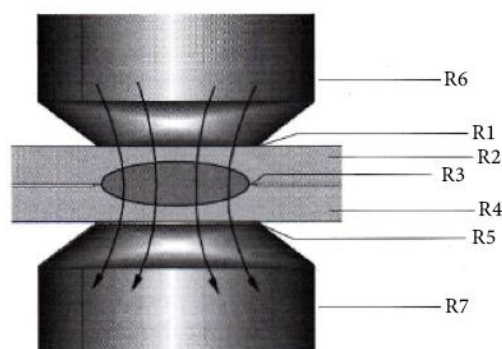
Obecně by měly být elektrické a tepelné procesy při svařování uvažovány jako celek. Taková úvaha je nezbytná pro pochopení procesu odporového svařování a pro výběr vhodných parametrů svařování. [8]

4.2.2 Elektrický odpor svařovací soustavy

Celkový elektrický odpor částí stlačených mezi elektrodami se skládá z přechodového odporu na rozhraní mezi elektrodou a svařovaným materiálem (R_1 , R_5 na obr. 4), ve styku svařovaných materiálů (R_3), z vlastního elektrického odporu svařovaných materiálů (R_2 , R_4) a elektrod (R_6 , R_7). Celkový elektrický odpor je dán vztahem:

$$R = \sum_{i=1}^n R_n = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \text{ [\Omega]}$$

Obr. 4 Složky celkového elektrického odporu při bodovém svařování [8]

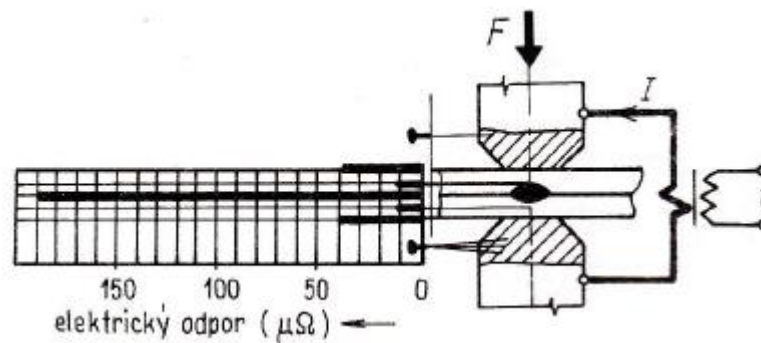


Vlastní elektrický odpor svařovaných materiálů je funkcí teploty, kdy s rostoucí teplotou roste i velikost odporu. Dále závisí na tloušťce materiálu, jeho měrném odporu a efektivním průřezu, kterým protéká elektrický proud. Hodnota přechodových odporů závisí na teplotě, efektivní ploše styku, kvalitě a čistotě povrchu plechů a elektrod a na přítlačné síle, kterou lze tento elektrický odpor bezprostředně ovlivňovat. Přítomnost olejů, nečistot, oxidace povrchů, zbytků nátěrů, nerovnost povrchů a dalších nečistot, vede ke změně elektrického odporu. Přechodový odpor dosahuje značně vyšších hodnot než vlastní elektrický odpor svařovaných materiálů. [1; 8; 10]

Elektrické odpory R1 a R5 jsou při odporovém svařování nežádoucí z hlediska životnosti elektrod a kvality svaru. Proto se volí materiál elektrod s vysokou tepelnou vodivostí. Teplo vzniklé na rozhraní mezi elektrodami a svařovanými částmi je vhodné odvádět mimo soustavu (například vodním chlazením elektrod). [1; 8]

Obr. 5 zobrazuje velikost elektrického odporu v jednotlivých místech soustavy. Začátkem svařovacího procesu je nejdůležitější složkou přechodový odpor mezi povrchy svařovaných materiálů. Zde dosahuje přechodový odpor nejvyšších hodnot a rychlým ohřevem materiálu v daném místě zaniká. Následující průběh svařování je udržován objemovými zdroji vznikajícími v důsledku odporem zahřívání materiálu, na nichž vzniká značná část tepla. Vlivem vysokého počátečního přechodového odporu a následného zvyšování teploty objemovými zdroji, dochází v tomto místě k ohřátí na svařovací teplotu a za spolupůsobení tlaku vzniká svarový spoj. [1; 10]

Obr. 5 Velikost elektrického odporu v jednotlivých místech soustavy [10]



4.2.3 Parametry svařování

Proces bodového svařování zahrnuje řadu veličin, které lze nastavit tak, aby bylo dosaženo optimálního svařovacího výkonu. Tyto veličiny se označují jako parametry svařování a bezprostředně se podílejí na vytváření svarového spoje. Norma ČSN 05 0003 charakterizuje parametry svařování jako operativní proměnné působící na kvalitu svarového spoje. Pro odporové bodové svařování jsou to zejména svařovací proud I_s [kA], přitlačná síla P_s [kN] a svařovací čas t_s [s]. [1; 3; 11; 12]

Svařovací proud

Jedná se o elektrický proud, který protéká svařovanými částmi během svařování. Ze všech parametrů má největší vliv na množství vznikajícího tepla a kvalitu svaru. Jelikož se v Jouleově rovnici vyskytuje v kvadratickém tvaru. Velikost svařovacího proudu by měla být zvolena pečlivě. Příliš vysoký svařovací proud může způsobit nízkou pevnost svarového spoje, vystříknutí svarového kovu a nežádoucí otlacky elektrod do svařovaného materiálu. Je-li zvolen příliš nízký svařovací proud, může nastat situace, kdy se dodávaná tepelná energie rovná tepelným ztrátám a vzniká tzv. difusní svar s nízkou pevností. [1; 2; 12]

Přítlačná síla

Funkcí přítlačné síly během svařovacího procesu je zlepšit dosed dotykových ploch svařovaných částí a elektrod, a zajistit tak na rovnoměrný průchod svařovacího proudu. Udržet roztažený kov v uzavřeném prostoru a zamezit tak jeho vystříknutí. Dále působení přítlačné síly odstraňuje necelistvosti a zjemňuje zrna struktury svaru, čímž zlepšuje jeho mechanické

vlastnosti. Příliš nízká přitlačná síla má za následek vysoký přechodový odpor, který je doprovázen výstřikem tekutého kovu. Výsledkem je nízká pevnost svarového spoje. Naopak příliš vysoká přitlačná síla vede opět k nízké pevnosti svarového spoje, rychlému opotřebení elektrod a jejich nežádoucím otlačkům do svařovaného materiálu. [1; 2]

Svařovací čas

Jedná se o časový interval, po který prochází materiálem svařovací proud. Měří se v sekundách nebo v tzv. periodách. V Evropě je síťová frekvence 50 Hz, z čehož vyplývá, že jedna perioda trvá $1/50 \text{ s} = 0,02 \text{ s}$. Svařovací čas závisí na intenzitě svařovacího proudu a přímo úměrně ovlivňuje množství dodané tepelné energie do svaru. Z důvodu nižších ztrát tepelné energie je výhodné používat krátké svařovací časy (neboli tvrdý svařovací režim). [1; 2]

4.2.4 Svařovací režim

Svařovacím režimem je označována vzájemná kombinace hodnot svařovacích parametrů. Z Jouleova zákona vyplývá, že pokud pomineme elektrický odpor, jehož hodnotu nelze během svařování příliš měnit, je možné dosáhnout požadovaného množství tepla dvěma různými svařovacími režimy. Měkkým režimem, který se vyznačuje svařovacím proudem nízké intenzity, dlouhým svařovacím časem a nízkou přitlačnou silou. Nebo pomocí tvrdého režimu, který je charakterizován svařovacím proudem vysoké intenzity při krátkém svařovacím čase a vyšší přitlačnou silou. [4; 6; 9; 11]

Měkký svařovací režim

Při použití měkkého režimu vzniká velmi vysoká svarová čochka s hrubou dendritickou strukturou. Často dosahuje výška svarové čochky veškeré tloušťky svařovaných materiálů, která se může projevit výstřikem roztaveného materiálu a nežádoucími otlačky elektrod na povrchu svařovaného materiálu. Průměr svarové čochky je relativně malý, což se projevuje nízkou pevností spoje. Mezi další nevýhody patří vysoká spotřeba energie způsobená využitím dlouhých svařovacích časů. Dochází k vyšším tepelným ztrátám a proces svařování má nižší produktivitu. Vzniká větší tepelně ovlivněná oblast doprovázená většími deformacemi a napětím ve svarových spojích. Vzhledem k delším svařovacím časům jsou elektrody tepelně značně namáhány, vyžadují častější úpravu a snižuje se tak jejich životnost. [2; 4; 11]

Výhodou měkkého režimu je nižší citlivost na odchylky odporové svařitelnosti svařovaných materiálů (nižší riziko zakalení). Dále umožňuje využití elektrických vodičů s nízkými průměry a nevyžaduje použití stroje s velkým příkonem. [4]

Tvrký svařovací režim

Použití tvrdého svařovacího režimu umožňuje dosahovat lepších výsledků v porovnání se svařovacím režimem měkkým. Dosahuje vyšší produktivity práce a kvality svaru. Krátkodobé působení svařovacího proudu vysoké intenzity vede k jemnozrnné struktuře svarového spoje v důsledku rychlejšího chladnutí. Vzniká menší tepelně ovlivněná oblast, tedy i menší napětí a deformace ve svarovém spoji. Při použití tvrdého svařovacího režimu vzniká nižší svarová čočka, otlaky elektrod ve svařovaném materiálu jsou nepatrné a samotné elektrody mají delší životnost a nevyžadují tak častou úpravu. Nevýhodou je nutnost použití strojů s vysokým příkonem. Parametry svařovacího procesu lze měnit v širokých, nikoliv však v libovolných mezích. [2; 4; 11]

Přílišná velikost hodnot jednotlivých parametrů vede k chybám ve svarovém spoji. Optimální poměr hodnot jednotlivých parametrů svařování není ještě garancí kvalitního svaru. Závisí také na jejich časovém průběhu neboli svařovacím programu. Svařovací program je předem definovaný automatický časový průběh velikosti a vzájemné vazby výše popsaných parametrů. Složitější programy mohou probíhat i se změnami hodnot svařovacího tlaku a proudu během svařovacího procesu. [2; 4]

4.2.5 Tepelná rovnováha

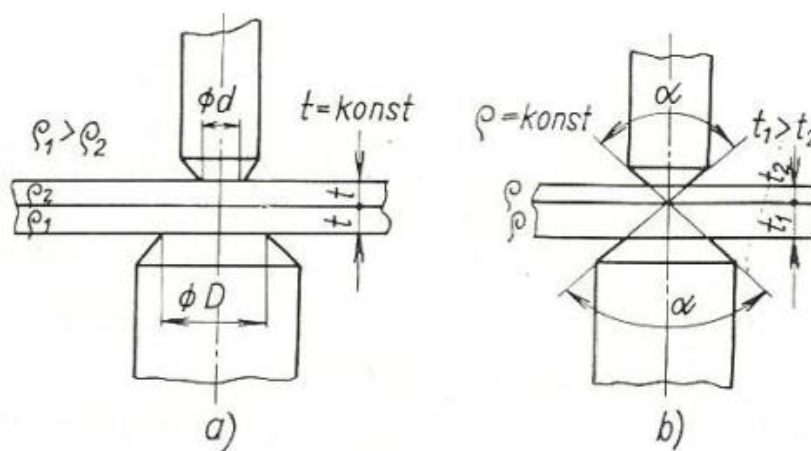
Vytvoření dokonalé svarové čočky souměrné vzhledem ke stykové ploše svařovaných materiálů, vyžaduje tepelnou rovnováhu ve svaru. Daný předpoklad je významný jak pro fázi ohřevu, tak i fázi chladnutí. Svařováním materiálů různého druhu, tloušťky nebo pomocí elektrod s různými pracovními plochami apod., dochází k nesymetrickému tavení svařovaných materiálů a následně ke vzniku nerovnoměrné svarové čočky. [2; 4; 11]

Narušení tepelné rovnováhy svařováním dvou materiálů různého druhu (neboli materiálů s různou elektrickou vodivostí) a stejné tloušťky, lze odstranit přizpůsobením rozměru svařovacích elektrod. Průměr elektrod je přímo úměrný ohmickému odporu svařovaných materiálů, nebo nepřímo úměrný jejich elektrické vodivosti. Elektrody s větším průměrem se umístí na

stranu materiálů s vyšším ohmickým odporem, a naopak elektrody s nižším průměrem se volí na stranu materiálu s nižším ohmickým odporem, jak znázorňuje obr. 6a. [2; 4; 11]

Během svařování materiálů rozdílné tloušťky a stejné elektrické vodivosti je nutné vyrovnat zvýšený odpor způsobený delší dráhou, kterou musí svařovací proud urazit v materiálu většího průřezu. V tomto případě je vhodné volit průměry elektrod přímo úměrně tloušťkám svařovaných materiálů, tak jak je zobrazeno na obr. 6b, čímž lze odstranit tepelnou nerovnováhu ve svaru. [2; 4; 11]

Obr. 6 Řešení tepelné nerovnováhy ve svaru [2]



a – různá hustota, ale stejná tloušťka materiálů; b – stejná hustota, ale různá tloušťka materiálů

V některých případech je vyžadováno použití plochých elektrod, což opět vede k narušení tepelné rovnováhy svaru. Totožně se tepelná rovnováha poruší použitím rozdílných materiálů elektrod. Mimo to se může přidat kombinace rozdílných tlouštěk či druhů svařovaných materiálů. Vyřešit pak tepelnou nerovnováhu je komplikované a vhodnost použitých opatření je nutné přezkoumávat na příčném řezu svaru. [2; 4; 11]

4.3 Elektrody pro odporové bodové svařování

Elektroda je prvkem sekundárního obvodu svařovacího stroje, který přichází do přímého kontaktu se svařovanými materiály. Hlavními úkoly elektrod v procesu svařování je přivádět elektrický proud o veliké intenzitě do svařovaného místa, vyvozovat svařovací sílu na svarový spoj a v neposlední řadě pomáhají odvádět teplo během procesu chladnutí svarového spoje. Z těchto důvodů bývají ve většině případů vyrobeny z materiálu na bázi mědi. Ideální materiál elektrod by se vyznačoval následujícími vlastnostmi:

- co možná nejlepší tepelnou a elektrickou vodivostí i za zvýšených teplot,
- dostatečnou odolností proti deformacím i při vysoké přitlačné síle,
- co možná největší teplotou měknutí,
- dostatečnou otěruvzdorností za zvýšených teplot,
- vysokou odolností vůči oxidaci vzhledem k požadovanému nízkému přechodovému odporu v místě dotyku elektrody a svařovaného materiálu,
- vysokou otěruvzdorností i za zvýšených teplot,
- snadnou obrobiteľnosť,
- nízkými náklady spojenými s výrobou. [2; 7]

Žádný elektrodový materiál nedokáže splnit veškeré výše zmíněné vlastnosti. Proto je přednost jedné vlastnosti vždy podmíněna obětováním vlastností jiných. Například, je-li vyžadována maximální elektrická a tepelná vodivost elektrody, sníží se pevnost materiálu a naopak, je-li splněn požadavek na maximální pevnost, lze počítat s omezenou tepelnou a elektrickou vodivostí.

Základním elektrodovým materiálem je měď. Elektrody zhotovené z čisté mědi jsou vhodné zejména pro svařování lehkých kovů (například hliníku), z důvodu její velmi vysoké tepelné a elektrické vodivosti. Aby byla zajištěna schopnost elektrod přenášet přitlačnou sílu, zvyšuje se tvrdost mědi tvářením za studena. Takto lze dosáhnout až dva a půlkrát vyšší tvrdosti. Avšak v tomto stavu dochází k měknutí čisté mědi již při nízkých teplotách a po dosažení teplot kolem 200 °C trvale přichází o dosaženou tvrdost. Stálost mechanických vlastností za daných okolností lze zajistit pouze legováním a specifickým mechanickým a tepelným zpracováním mědi. V tomto případě je nejpoužívanějším legujícím prvkem chrom. Slitina Cu-Cr je univerzálním elektrodovým materiálem pro aplikace bodového a švového svařování. Je použitelný takřka ve všech situacích mimo krajních případů, kdy je vyžadována nejvyšší vodivost nebo nejvyšší mechanická pevnost elektrod. [2]

Materiály pro odporové svařovací elektrody byly rozděleny asociací RWMA (Resistance Welders Manufacturers Association) do třech skupin na základě jejich mechanických a fyzikálních vlastností (obdobné rozdělení uvádí i norma ČSN EN ISO 5182):

- A – slitiny mědi,
- B – žáruvzdorné kovy,
- C – speciální materiály. [7]

Údržba

Během odporového bodového svařování dochází k postupnému opotřebovávání elektrod. Vzniká tak nutnost jejich pravidelné údržby, která spočívá v zejména v čištění povrchu elektrodové špičky, obrábění a plánované výměně svařovacích elektrod. Tvar a čistota povrchu elektrodové špičky, druh elektrodového materiálu, druh materiálu svařovaných částí, svařovací režim a chlazení, jsou parametry, které výrazně ovlivňují životnost elektrod, jakost výsledného svaru a celkový svařovací výkon. [2; 7]

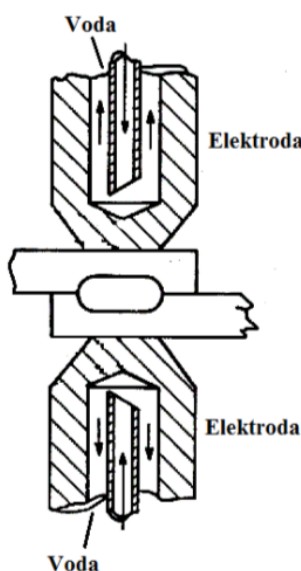
Na pracovní plochu elektrody působí během svařovacího procesu vysoká proudová hustota za vysokého tlaku. Z těchto důvodů musí být plocha, která přichází do styku se svařovaným materiálem velmi hladká. Je-li povrch této plochy vlivem nečistot, nevhodnou úpravou povrchu nebo vlivem nedostatečné údržby zdrsňena, dochází ke zmenšení pracovní elektrodové plochy a k jejímu výraznému přetěžování. V důsledku toho vznikají plastické deformace, zvyšuje se přechodový odpor a výrazně roste teplota pracovní plochy elektrod. S rostoucí teplotou se zvyšuje tendence elektrod k legování svařovaným materiálem, což vede ke zrychlení deformace jejich pracovní plochy, většímu proudovému namáhání, ztrátě funkčnosti a celkově ke zkrácení životnosti elektrod. [2; 7]

Hladké pracovní plochy elektrod lze docílit úpravou jemným smirkovým plátnem. Touto úpravou dojde k odstranění tenké vrstvy oxidů, okují a jiných nečistot ulpívajících na povrchu pracovní plochy elektrod. Výrazněji opotřebované elektrody se nejlépe upravují obráběním na soustruhu. U bodových svařovacích strojů pro kusovou a malosériovou produkci je možné upravovat elektrodové špičky na požadovaný tvar přímo ve stroji prostřednictvím speciálních ručních nástrojů nebo automatických orovnávaček. [2; 7]

Chlazení

Účinné chlazení je nezbytné pro zajištění stálé tepelné a elektrické vodivosti a udržení původních mechanických vlastností elektrod i za zvýšených teplot. Dále snižuje plastickou deformaci elektrod a jejich tendenci k legování svařovaným materiálem. Je-li to konstrukčně možné, je vhodné využít vnitřní vodní chlazení (obr.7), které je tvořeno prostorem uvnitř elektrody, v němž cirkuluje voda nebo vodní emulze. Chladící kapalinu tak lze přivádět co nejbližší pracovní ploše elektrodové špičky pro maximalizaci účinku odvodu tepla. Pokud není z konstrukčního hlediska vnitřní vodní chlazení praktické, lze využít vnější chlazení. Pro zvýšení účinnosti odvodu tepla je výhodné použití kombinace vnitřního a vnějšího chlazení. [2; 7]

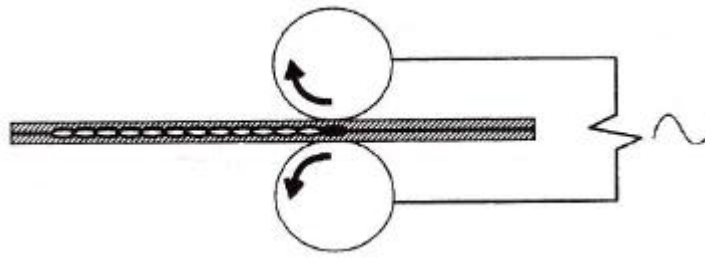
Obr. 7 Vodní chlazení elektrod [13]



4.4 Švové svařování

Princip švového svařování je velmi podobný bodovému svařování. S tím rozdílem, že svařované části jsou stlačeny mezi dvěma kotoučovými elektrodami (případně mezi kotoučovou elektrodou a podložkou). Během švového svařování se vytváří řada svarů jednotlivých (tzv. švový přerušovaný svar) nebo vzájemně se překrývajících (tzv. švový nepřerušovaný svar), což závisí na době, po kterou neprochází elektrodami svařovací proud. Jakmile elektrody rotují, není nutné je mezi jednotlivými svary zvedat, jako tomu je u bodového svařování. Přepřátování svařovaných částí by mělo být větší než šířka pracovní plochy elektrod, aby nedošlo ke spálení okrajů a výstřikům roztaveného kovu. Princip švového svařování ilustruje obr. 8. [1; 2; 6; 11]

Obr. 8 Princip švového svařování [1]



Materiály svařitelné bodově, lze obvykle svařovat rovněž švově. Výsledky švového svařování závisí zejména na svařovacím proudu, přitlačné síle, svařovacím cyklu, svařovací rychlosti, rozměrech a konstrukčním provedení elektrod a vzdálenosti jednotlivých svarů. [2; 6; 13]

Svařovací proud lze měnit v poměrně velkém intervalu a jeho výše závisí na druhu svařovaného materiálu, kvalitě, tvaru a rozměrech jeho povrchu, dále na svařovací rychlosti, přitlačné síle a svařovacím cyklu, rozměrech svařovacích elektrod a konstrukčním provedení svařovacího stroje. V porovnání s bodovým svařováním je svařovací proud přibližně dvojnásobný. [2; 14]

Přítlačná síla závisí na druhu svařovaného materiálu, kvalitě jeho povrchu, na rozměrech, materiálu, tvaru elektrod a na způsobu jejich chlazení. S rostoucí šířkou elektrod je možné použít vyšší tlak. Přítlačná síla je podobně jako svařovací proud přibližně dvojnásobná oproti bodovému svařování. [2; 14]

Svařovací rychlost je shodná s obvodovou rychlostí rotujících kotoučových elektrod. Závisí na množství svařovacích cyklů za čas, na druhu a tloušťce svařovaného materiálu a na intenzitě svařovacího proudu. [2; 14]

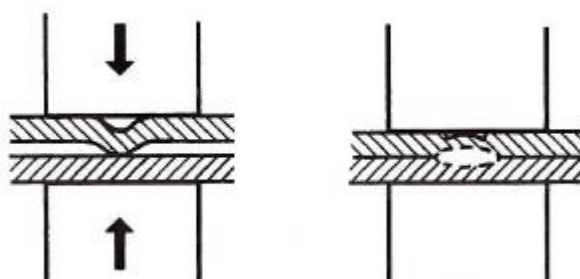
Svařovací cyklus je poměr mezi dobou průchodu svařovacího proudu a dobou přestávky. Přerušování proudu je důležité, aby zvláště při malých svařovacích rychlostech nedocházelo k přehřívání svaru. Doba průchodu svařovacího proudu závisí na druhu a tloušťce svařovaného materiálu a na intenzitě svařovacího proudu. Doba přerušení je ovlivněna požadovanou roztečí jednotlivých svarů a rychlostí svařování. [2; 14]

Švové svařování se v praxi nejčastěji využívá ke svařování nádrží, spalovacích komor a trysek proudových motorů, nádob, k výrobě radiátorů, trubek, výměníků tepla atd. [11]

4.5 Výstupkové svařování

Při výstupkovém svařování se svarové spoje vytvářejí na předem vytvořených výstupcích, které by měly koncentrovat svařovací proud a tlak, na co možná nejmenší plochu tak, aby docházelo k natavení svarového materiálu a následně i k vytvoření požadovaného svaru. Použitím této technologie lze vytvořit svarové spoje na jednom místě nebo na několika místech zároveň. Výběr výstupků závisí na druhu svařovaného materiálu a lze je vytvořit vylisováním, strojním opracováním nebo pomocí vložek. Jejich tvar a rozměry musí být navrženy vzhledem k tvaru a rozměrům svařovaných částí. Tepelná nerovnováha se odstraňuje obdobně jako u bodového svařování. Princip výstupkového svařování je zobrazen na obr. 9. [6; 9; 11]

Obr. 9 Princip výstupkového svařování [1]



Svařovaný materiál se stlačí mezi ploché elektrody svařovacího lisu tak, aby veškeré výstupky dosedly k ploše protilehlého materiálu. Působením svařovacího proudu, který prochází skrze výstupky, vzniká odporové teplo a dochází k natavení výstupků i přilehlého materiálu. Za působení tlaku se touto metodou vytvoří několik svarových spojů nebo jeden nepřerušovaný svar. Obdobně jako během bodového svařování má z hlediska vývinu tepla nejvýznamnější funkci přechodový elektrický odpor na rozhraní svařovaných materiálů. Parametry svařování bezprostředně se podílející na vytváření svarového spoje jsou totožné jako pro bodové svařování: přítlačná síla, svařovací čas a svařovací proud. Výstupkové svařování se využívá zejména pro hromadnou a sériovou výrobu. [1; 6; 9; 11]

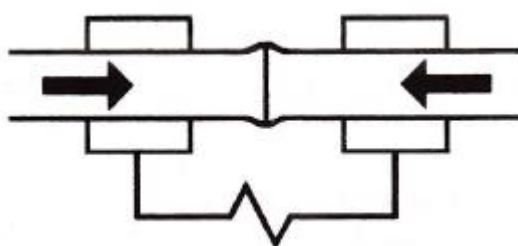
4.6 Stykové svařování

Jedná se o druh odporového svařování, během kterého jsou svařované části přitlačovány ve stykových plochách a svařovány po celé stykové ploše. Rozlišujeme dvě základní metody, a to stykové stlačovací svařování a stykové odtavovací svařování. [2]

4.6.1 Stykové stlačovací svařování

Svařované materiály se v horizontálním směru uchytí do dělených elektrod. Alespoň jedna z elektrod je vždy pohyblivá ve směru vzájemného stlačení svařovaných materiálů. Svařované materiály jsou vzájemně přitlačovány a po dosažení určité hodnoty přitlačné síly je přiveden svařovací proud. Na rozhraní obou materiálů vzniká odporové teplo, čímž se materiál stává tvárným a po ochlazení vzniká stykový svar. Princip stykového stlačovacího svařování ilustruje obr. 10. [3; 6; 11]

Obr. 10 Stykové stlačovací svařování [1]



4.6.2 Stykové odtavovací svařování

Z hlediska principu se jedná o podobnou metodu jako stykové stlačovací svařování. Odlišnost spočívá v mechanismu vzniku stykového svaru. Na svařované materiály je už před stlačením přiveden elektrický proud. Po přiblížení na dotyk je přitlačná síla minimální, naopak přechodový odpor na rozhraní svařovaných materiálů je velmi vysoký. Z těchto důvodů se materiál v místě styku nataví a při následném oddálení vystříkne. Části se znovu přiblíží na dotyk a proces probíhá znovu. Tímto způsobem se nataví celé svařované povrchy. Následně jsou roztažené povrchy rychle stlačeny k sobě a obě části se spojí dohromady. Princip stykového odtavovacího svařování zobrazuje obr. 11. [3; 9; 11]

Obr. 11 Stykové odtavovací svařování [15]



Při stykovém svařování je pro dosažení jakostního svarového spoje důležité vhodně zvolit svařovací parametry v závislosti na druhu, tvaru a rozměrech svařovaného materiálu. Parametry,

kteře bezprostředně ovlivňují proces stykového svařování, jsou zejména svařovací proud, přítlačná síla, délka vyložení materiálu z elektrod, rychlost odtavení a stlačování, přídavky materiálu v závislosti na odtavení a stlačování. Požadovaného svarového spoje může být dosaženo měkkým nebo tvrdým režimem. Odporové stykové svařování lze využít ke svařování oceli, mědi, hliníku a jejich slitin, dále i zlata, stříbra a zinku. [1; 6; 11]

4.7 Zkoušky odporových svarů

V praxi se odporové bodové svařování uplatňuje hlavně v sériové a hromadné výrobě pro jeho snadnou mechanizaci, automatizaci a skutečnost, že jím lze dosahovat vysoké produktivity práce. Podobě jako u ostatních technologií svařování i zde je důležité přezkušovat kvalitu svarového spoje, aby byla zajištěna jeho správná funkce. Zkoušky používané k hodnocení kvality bodových svarů je možné rozdělit do dvou hlavních skupin, na destruktivní a nedestruktivní zkoušky. Porovnatelnost a reprodukovatelnost naměřených výsledků je zaručena jednotným principem přezkušování, upraveným zpravidla příslušnou normou. [2; 5]

4.7.1 Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky se obvykle dále rozdělují do třech kategorií na zkoušky:

- technologické,
- mechanické,
- metalografické. [6]

Technologické zkoušky

Technologické zkoušky slouží k posouzení kvality svaru a vhodnosti druhu materiálu pro určitou technologii svařování. Jejich hlavní předností je jednoduchost z hlediska proveditelnosti a nízká časová náročnost. Zkoušky je možné provádět jak ve výrobním, tak v laboratorním prostředí za použití jednoduchých dílenských nástrojů nebo obvyklých zkušebních zařízení a poskytují okamžité výsledky. Jsou vhodné zvláště pro namátkovou nebo pravidelnou kontrolu ve výrobě a nastavení svařovacího stroje pro výrobu. Nejčastěji prováděnými technologickými zkouškami jsou sekáčová zkouška a odlupovací zkouška, které upravuje norma ČSN EN ISO 10447. [2; 16]

Cílem **sekáčové zkoušky** je odhalit křehké nebo difúzní spoje a zabránit tak vzniku dalším nevyhovujícím svarovým spojům. Interpretace výsledků a provedení zkoušky závisí na zkušenostech a schopnostech kontrolora, proto je pro tuto zkoušku potřeba specializovaná osoba. [8; 16]

Odlupovací zkouška je v zásadě zdokonalenou zkoušku sekáčovou. Spočívá v odlupování svařených částí až do jejich úplného oddělení. Odlupování se provádí ručně, kdy je jedna ze svařených částí pevně upnuta a druhá část je postupně odlupována pomocí odvíjecího nástroje, štípaček nebo kleští. Další variantou je provedení odlupovací zkoušky na univerzálním zkušebním stroji. Po oddělení svařených částí jsou předmětem zkoumání zejména velikost svarové čocky a způsob oddělení svarového spoje. Obdobně jako u sekáčové zkoušky, její provedení a interpretace výsledků závisí na zkušenostech a dovednostech kontrolora. [8; 16; 17]

Mechanické zkoušky

Mechanické zkoušky jsou důležité z hlediska studie svařitelnosti a posuzování jakosti svarových spojů. Jejich pomocí se stanovují důležité vlastnosti svarového spoje a získávají základní údaje sloužící jako základ pro pevnostní výpočet. Jelikož pevnost svaru je dána jeho schopností odolávat statickému i dynamickému zatížení, lze mechanické zkoušky rozdělit podle působení síly na zkušební vzorek, na statické a dynamické. [2; 8]

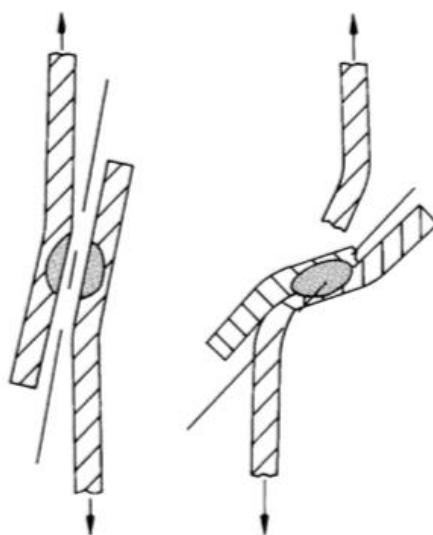
Mechanické zkoušky statické zkoumají chování zkušebního tělesa za působení klidného rovnoměrného zatížení s pomalu rostoucí intenzitou (bez rázů). Svarový spoj je zatěžován pouze jednou, dokud nedojde k jeho porušení. Výsledkem je závislost mezi napětím a deformací. Do statických zkoušek se řadí: tahová zkouška zatěžující svar na vytržení, smyková zkouška, zkouška kroucením, zkouška lámavosti, zkouška tvrdosti. [2; 8]

Mechanické zkoušky dynamické se zabývají vlastnostmi součásti během působení dynamického zatížení. Z hlediska působení zatěžující síly rozlišujeme zkoušky rázové, kdy zatížení roste skokem a zkoušky únavové, charakteristické cyklicky se měnícím zatížením i několikrát za sekundu. Přestože jsou výsledky dynamických zkoušek důležitými ukazateli kvality svarového spoje, ke kontrole odporových bodových svarů se používají jen zřídka. Z důvodu jejich složitosti, časové náročnosti a vysokým nákladům na dynamické přezkušování. Dále se bude tato diplomová práce věnovat jen statickým zkouškám určeným pro přezkušování mechanických

vlastnosti bodových svarů, zejména pak zkoušce smykové, která byla požitá pro účely experimentu. [2; 8]

Statická smyková zkouška je nejčastěji používanou metodou pro přezkušování bodově svařených přeplátovaných plechů. Zkouška probíhá na univerzálním zkušebním stroji a spočívá v namáhání svarového spoje na smyk (střih) až do jeho rozpojení. Měří se síla nutná k porušení součásti a průměr roztrhnutého svaru. Na základě těchto hodnot se stanovují mechanické vlastnosti svarového spoje. Předmětem zkoumání je maximální pevnost spoje, způsob porušení a povaha lomu. Během smykové zkoušky mohou v zásadě nastat celkem dva způsoby porušení celistvosti součásti, a to porušení svarové čochky (obr. 12 vlevo) a porušení základního materiálu (obr. 12 vpravo). [2; 8; 17; 18]

Obr. 12 Způsoby porušení celistvosti součásti [7]

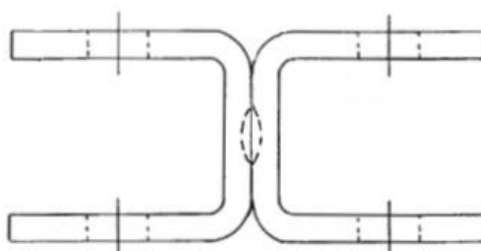


Tahová zkouška se provádí na univerzálním zkušebním stroji a zkoušený svarový spoj je namáhán na vytržení. Obdobně jako u zkoušky smykové i zde se stanovuje síla potřebná k porušení součásti, průměr svaru, způsob porušení a povaha lomu. Pro účely přezkušování mechanických vlastností bodových svarů existují dva druhy tahových zkoušek, křížová zkouška a U-zkouška. Odlišují se zejména tvarem zkoušené součásti, který pro křížovou zkoušku ilustruje obr. 13 a pro U-zkoušku obr. 14. [2; 8; 17]

Obr. 13 Tvar zkoušené součásti při křížové zkoušce [17]



Obr. 14 Tvar zkoušené součásti při U-zkoušce [17]



Zkouška kroucením je méně používaná oproti výše popsaným mechanickým zkouškám. Získání kvantitativního vyjádření vystihující naměřené výsledky je velmi obtížné. Dle podoby lomu lze orientačně stanovit jeho povahu, průměr svaru a protavení spoje. [2]

Metalografické zkoušky

Mechanické a technologické zkoušky se pro hodnocení významných svarových spojů doplňují metalografickou zkouškou. Jejich pomocí se získává přehled o homogenitě svaru, struktuře svaru, výskytu trhlin a nekovových vměstků, porézности, přechodové oblasti apod. Metalografické zkoušky se zaměřují na hodnocení makroskopické či mikroskopické struktury svarového spoje. [2; 8]

Zkušební vzorek pro makroskopické zkoušky bodového svaru se odebírá řezem kolmým na osu svaru v rovině průměru svarové čočky tak, aby zahrnoval základní materiál, svarový materiál a tepelně ovlivněnou oblast. Plocha řezu se následně vyhladí, vyleští a chemicky leptá vhodným leptadlem, aby došlo k odhalení makrostruktury svaru. Optické hodnocení makrostruktury se provádí ve skutečné velikosti pouhým okem nebo při velmi malém zvětšení (do třicetinásobného zvětšení). [17; 19; 20]

Pro hodnocení mikrostruktury svaru se využívá výrazně vyšší zvětšení než při makroskopické zkoušce (až dvoutisícinásobné zvětšení). Pro tyto účely se obvykle využívá světelných nebo laserových konfokálních mikroskopů. Zkušební vzorek je stejně jako u makroskopické zkoušky

odebírán řezem kolmým na osu svaru v rovině průměru svarové čočky. Příprava plochy vzorku je náročná a pracná. Každá i drobná chyba během přípravy může ovlivnit správnost hodnocení kvality svaru. Příprava spočívá v broušení, leštění a leptání plochy vzorku. Vyleštěná plocha by měla dosáhnout takřka zrcadlového lesku, poté až následuje leptání. Po dokončení leptání je důležité povrch vzorku důkladně umýt a vysušit. Mikroskopickou zkouškou lze sledovat jednotlivá zrna materiálu, jejich hranice, strukturu materiálu svaru a tepelně ovlivněné zóny. Z důvodu vysoké náročnosti a pracnosti se provádí pouze pro určité materiály a výrobky s vysokými nároky. Metalografické zkoušky jsou předepsány normou ČSN EN ISO 17639, která udává doporučený postup přípravy vzorku, postupy zkoušení a jejich závěry. [17; 19; 20]

4.7.2 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky slouží ke spolehlivému vyhodnocení kvality svarového spoje přímo ve svařené konstrukci, bez nutnosti porušení její celistvosti. Metody nedestruktivního zkoušení jsou založeny na principu komparace hodnoty určitého znaku zkoumaného svaru s hodnotou stejného znaku, ověřenou na vyhovujících svarech. Určuje se celistvost svarové čočky, přítomnost vnitřních nebo povrchových vad a těsnost svarového spoje. [2; 9; 17]

Metody nedestruktivní zkoušky lze rozdělit podle schopnosti identifikace povrchových nebo vnitřních vad. Nejčastěji používané metody pro zjišťování povrchových vad jsou vizuální metoda, magnetická zkouška a kapilární zkouška. Naopak pro zjišťování vad vnitřních se používá ultrazvuková zkouška, zkouška prozářením, akustická emise nebo zkouška vířivými proudy. [5; 8; 17]

Vizuální zkouška

Jedná se o základní nedestruktivní zkoušku zjišťující povrchové vady svaru. Je upravena normou ČSN EN ISO 17637. Vizuální zkoušky se rozdělují na přímé a nepřímé. Při přímé vizuální kontrole není přerušena optická dráha mezi okem kontrolora a kontrolovanou plochou. Kontrola je prováděna pouhým okem nebo s použitím jednoduchým nástrojů, jako je například lupa nebo zrcadlo. Pro účely nepřímé vizuální kontroly se využívají opticky sofistikovanější laboratorní zařízení, například endoskopy, videokopy, periskopy apod. Vizuální zkoušku je vhodné zařadit jako první zkušební metodu, z důvodu její rychlé proveditelnosti, jednoduchosti a nízkým nákladům spojeným s přezkušováním. [17; 21]

Kapilární zkouška

Kapilární zkouška slouží k identifikaci trhlin, které vyběhají až na povrch materiálu. Princip spočívá v nanesení vhodné detekční kapaliny (nejčastěji intenzivní červené barvivo) na povrch zkoušené součásti. Tato nanesená aktivní kapalina vnikne kapilárně do povrchových nečelistvostí, zbytek kapaliny se setře. Ihned po setření se nanese kontrastní vývojka (nejčastěji bílé barvy). Následně se pozoruje vzlínání kapaliny působením kapilárních sil z vad na povrch. Kontrastní vývojka vytvoří vhodné povrchové pozadí, které kontrastuje s detekční kapalinou. Vzlinání je tak viditelné barevně nebo fluorescenčně, čímž vznikají indikace vad. Všeobecné zásady pro zkoušení kapilární metodou upravuje norma ČSN EN ISO 3452-1 a vyhodnocení se provádí podle normy ČSN EN ISO 23277. [17; 21; 22; 23]

Magnetická prášková zkouška

Jedná se o metodu povrchového zkoušení, která se používá k odhalení nespojitostí na povrchu nebo bezprostředně pod povrchem feromagnetických materiálů. Ve zkoušeném předmětu se vybudí magnetické pole a na jeho povrch se nanese jemný feromagnetický prášek nebo kapalná suspenze. V místě vnější i podpovrchové nečelistvosti roste hustota magnetických siločar a ty vystupují nad povrch materiálu. V tomto místě ulpívá feromagnetický prášek, čímž dochází k indikaci nečelistvosti. Magnetická prášková zkouška je upravena normou ČSN EN ISO 17638 a výsledné hodnocení se provádí podle normy ČSN EN ISO 23278. [17; 21; 22]

Zkouška prozářením

Zkouška prozářením je předepsána normou ČSN EN ISO 17636-1 pro metody využívající film a normou ČSN EN ISO 17636-2 pro metody využívající digitální detektory. Primárně se využívá k odhalení vnitřních objemových nespojitostí v materiálu. Princip zkoušky spočívá v prozařování materiálu rentgenovým nebo gama zářením. Procházející záření je méně pohlcováno v místech, kde se nacházejí vady materiálu. To se projeví vyšší expozicí příslušného místa (tzn. větším zčernáním) na zvoleném detektoru. Z tvaru a zčernání daného místa lze určit druh, rozsáhlost a přibližnou polohu vady svarového spoje. Zkouška prozářením je velmi nákladná, vyžaduje speciální pracoviště, personál s odpovídající kvalifikací a zvláštní zařízení. [17; 22; 24]

Zkouška ultrazvukem

Ultrazvuková zkouška slouží k identifikaci vnitřních především plošných vad. Princip je založen na vlastnosti ultrazvukových vln šířit se pevnou látkou. Ultrazvukové vlnění se na rozhraní případné vady materiálu svaru odrazí a zachytí se přijímací sondou dříve než vlnění odražené od zadní stěny součásti. Zkouška ultrazvukem nerozpoznává přímo druh vady, hodí se zejména ke stanovení místa a velikosti vady. Výhodou je její vysoká citlivost, mobilita, rychlý výsledek zkoušky a možnost automatizace. [9; 17; 22; 25]

5 Vlastní řešení

Experimentální část práce se zaměřuje na navržení a uskutečnění laboratorních zkoušek bodově svařených ocelových plechů. Cílem zkoušek bylo stanovit velikost síly potřebné k porušení svarového spoje v závislosti na úpravě povrchu svařovaných ocelových plechů, v místě budoucího svaru, a svařovacím čase. Z naměřených hodnot následně provést porovnání únosnosti svarových spojů pro jednotlivé série vzorků s rozdílnou úpravou povrchu svarových ploch a zhodnotit vliv úpravy povrchu na celkové vlastnosti svarového spoje. Veškeré přípravy a laboratorní zkoušky byly provedeny v laboratořích Katedry materiálu a strojírenské technologie na České zemědělské univerzitě.

5.1 Příprava plechů pro svařování

Pro účely experimentu byla zvolena smyková zkouška jako prostředek stanovení velikosti síly nutné k porušení svarového spoje. Smyková zkouška je normalizovaná podle normy ČSN EN ISO 14273, která upravuje i tvar a rozměry vzorků v závislosti na tloušťce použitých ocelových plechů. Z ekonomických důvodů byly použity rozměry vzorků, které se dlouhodobě využívají na Katedře materiálu a strojírenské technologie k realizaci zkoušek nýtovaných, lepených a pájených spojů.

5.1.1 Rozměry a materiál

Materiálem vzorků byla zvolena nízkouhlíková ocel označovaná podle evropské normy jako DC01. Z tabule ocelového plechu o rozměrech 1 000 x 2 000 mm s tloušťkou 1,5 mm byly na tabulových nůžkách na plech nastříhány ocelové plechy o rozměru 100 x 25 mm. Celkem bylo pro potřeby experimentu nastříháno 576 kusů plechů daných rozměrů. Ty byly dále rozděleny do čtyřech skupin, z nichž pro každou skupinu následoval jiný způsob přípravy povrchu svarových ploch před svařováním, na:

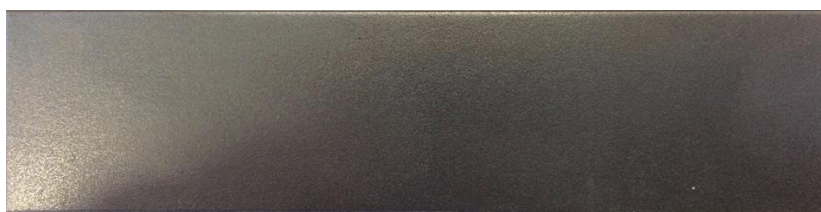
- Skupina vzorků č. 1 - bez přípravy povrchu.
- Skupina vzorků č. 2 - příprava odmaštěním povrchu.
- Skupina vzorků č. 3 - příprava povrchu smirkováním a odmaštěním.
- Skupina vzorků č. 4 - příprava povrchu tryskáním a odmaštěním.

5.1.2 Příprava povrchu

Odmaštění

Povrch plechů ve druhé skupině byl pouze odmaštěn a očištěn od nečistot ulpívajících na povrchu organickým rozpouštědlem. Pro tyto účely byl použit aceton. Plechy byly jednotlivě vkládány do misky s organickým rozpouštědlem a pomocí štětce očištěny a odmaštěny. Očištěné plechy byly odkládány na plátno, kde postupně osychaly. Jakmile byl povrch plechů suchý, následovalo jejich okamžité svaření. Na obr. 15 je zobrazen výsledný povrch plechu po chemickém odmaštění.

Obr. 15 Odmaštěný plech



Smirkování

Povrch plechů ve třetí skupině byl v místě budoucího svaru upraven smirkováním. Obr. 16 zobrazuje výsledný povrch plechu po smirkování a odmaštění. Smirkování bylo provedeno ve směru kratšího rozměru plechu (příčně) na pásové brusce Einhell BT-US 400 (Obr. 17). Jedná se o stacionární pásovou kombinovanou brusku. Může být použita jak v horizontální, tak ve vertikální poloze. Nachází využití v mnoha různých aplikacích broušení. Pro účely smirkování byl použit brusný pás s abrazivními zrny z korundu, zrnitostí A80 a pojivem z umělé pryskyřice.

Obr. 16 Smirkovaný plech



Obr. 17 Pásová bruska Einhell BT-US 400 [26]



Po dokončení smirkování byly plechy opět odmaštěny a očištěny od ostatních nečistot ulpívajících na jeho povrchu. Odmaštění a čištění bylo provedeno stejným způsobem jako v případě předchozí skupiny vzorků. Poté znovu následovalo jejich okamžité svaření.

Tryskání

Pro plechy ve čtvrté skupině byla provedena úprava povrchu v místě budoucího svaru tryskáním. Povrch plechů byl z každé strany otryskán pod úhlem 90° ve vzdálenosti přibližně 5 cm od trysky. Výsledný rozdíl mezi otryskaným a neotryskaným povrchem je ilustrován na obr. 18. Pro tyto účely byla využita tryskací kabina ITB 65, která je zobrazena na obr. 19. Jedná se o malou tryskací kabinu pracující na principu pneumatického tryskání. Konkrétně jde o zařízení injektorového typu. Z těchto důvodů se tryskací kabina ITB 65 hodí pro tryskání malých ploch a je určena hlavně do menších dílen a laboratoří. Je tedy vhodná pro potřeby tohoto experimentu.

Obr. 18 Tryskaný plech



Obr. 19 Tryskací kabina ITB 65



Kabina ITB 65 je velmi variabilní z hlediska možnosti použití celé řady různých tryskacích prostředků a umožňuje jejich operativní výměnu i během práce. Tryskací kabina je vybavena systémem pro uzavřený oběh tryskacího prostředku, který se po dopadu na tryskaný materiál odráží a shromažďuje na dně kabiny, odkud je opět nasáván do tryskací pistole. Tryskací pistole je osazena pracovní a vzduchovou tryskou. [27]

Zdroj tlakového vzduchu v tomto případě představuje mobilní kompresor, který je propojený prostřednictvím hadice se vstupem nožního pedálu, odkud ústí do tryskací kabiny. Nožní pedál slouží k ovládní procesu tryskání. Dále je ke kabině připojen přes nátrubek na zadní straně kabiny odsávač prachu, za účelem odvodu vznikajících prachových částic a přiváděného vzduchu z vnitřního prostoru kabiny. Jinak by docházelo k úniku prachových částic do vnějšího prostoru. K odsávání byl použit vysavač, před který byl zařazen cyklonový odlučovač prachu. Ten slouží k odloučení podstatné části prachových částic a zajistí tak delší životnost vzduchových filtrů odsávacího zařízení. [27; 28]

Vnitřní rozměr pracovního prostoru kabiny je 650 x 500 x 500 mm. Pro zajištění delší životnosti je celý vnitřní prostor kabiny upraven práškovým plastem a pro snížení hlučnosti je zadní

stěna vyložena pryží. Osvětlení pracovního prostoru zajišťuje zářivkové těleso s otěruvzdorným krytem. Průhledové okno je tvořeno dvěma skly. Vnější sklo je fixně uloženo do pryžového těsnění. Vnitřní sklo zajišťuje ochrannou funkci proti opotřebení a zmatování vnějšího skla. Jednoduchý systém upevnění umožňuje jeho snadnou a rychlou výměnu. [27; 28]

Jako tryskáč prostředek byl použit granát MESH 80. Jedná se o ostrohranný nekovový přírodní tryskáč prostředek. Neobsahuje žádný volný křemík. Je velmi pevný, odolný, dosahuje střední hodnoty tvrdosti, dále je ekologický, vodou nerozpustný a zdravotně nezávadný. Díky ostrohrannému tvaru částic má výborný čistící účinek, proto je vhodný k odstraňování nečistot, korozních produktů, nátěrů, povlaků, okují a jiných nežádoucích prvků. Běžně se využívá k tryskání kovových materiálů před následnou povrchovou úpravou. Dále se uplatňuje při výrobě brusných nástrojů, při filtraci kapalin jako filtrační prostředek nebo při řezání vodním paprskem. Avšak přírodní granát je vhodný i k tryskání fasád, kamene, betonu a dalších stavebních materiálů. Důležité fyzikální vlastnosti granátu MESH 80 udává tab. 1. [29]

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti tryskáčeho prostředku granát MESH 80 [30]

Tvar zrna	Ostrohranný
Tvrdost	7,5 Mohs
Barva	Červeno-hnědá
Měrná hmotnost	4,1 kg/dm ³

Po dokončení tryskání byl povrch plechů očištěn a odmaštěn organickým rozpouštědlem acetonem. Tento proces slouží k očištění povrchu plechů od nežádoucích zbytků tryskáčeho prostředku a prachových částic ulpívajících na jejich povrchu během tryskání. Veškerý postup procesu odmaštění byl identický jako v případě předchozích dvou skupin vzorků. Okamžitě po oschnutí plechů od organického rozpouštědla následovalo jejich svaření.

5.1.3 Měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu plechů tryskaných a odmaštěných, smirkovaných a odmaštěných, pouze odmaštěných, byla měřena podle normy ČSN EN ISO 4287 zařízením pro měření drsnosti Surf-test SJ-301. Toto zařízení využívá dotykovou metodu, kdy je snímán profil povrchu vzorku. Hlavním prvkem zařízení je snímací systém tvořený diamantovým hrotem, jež se konstantní rychlostí posunuje po měřeném povrchu a zaznamenává číselné hodnoty drsnosti v parametrech podle dané normy. Sledovány byly dva parametry, a to:

- Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu (tzn. aritmetický průměr absolutních hodnot všech úchylek posuzovaného profilu v základní délce),
- Rz – největší výška nerovností profilu (tzn. součet největší prohlubně a největšího výstupku posuzovaného profilu).

V každé skupině vzorků (podle přípravy povrchu) bylo měřeno na pěti zkušebních vzorcích podélně ve směru delšího rozměru plechu. Každé měření bylo opakováno desetkrát. Na každé ploše bylo tedy měřeno dvakrát.

Výsledné hodnoty drsnosti povrchu jsou uvedeny v tab. 2. Z naměřených hodnot je patrné, že nejvyšší drsnosti bylo dosaženo u tryskaných plechů, naopak nejnižší u pouze odmaštěných plechů.

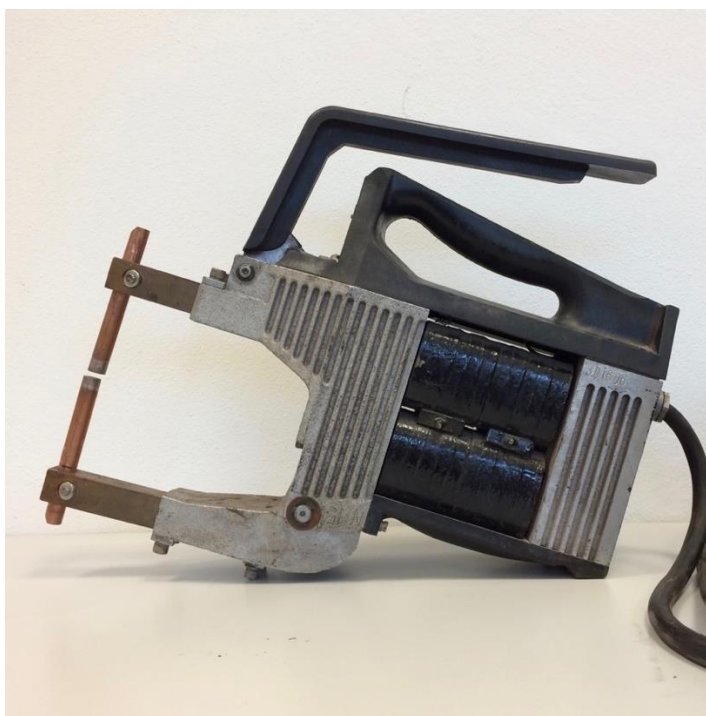
Tab. 2 Naměřené hodnoty drsnosti

	Ra	Rz
Drsnost plechů tryskaných a odmaštěných	2,06 ± 0,26 μm	15,60 ± 1,90 μm
Drsnost plechů smirkovaných a odmaštěných	1,56 ± 0,23 μm	13,50 ± 1,90 μm
Drsnost plechů pouze odmaštěných	1,38 ± 0,17 μm	9,60 ± 1,30 μm

5.2 Svařování

Vzorky svarových spojů byly vytvořeny v měkkém svařovacím režimu pomocí svařovacích kleští BV 2.5.21 v kombinaci s řídicí jednotkou QX 12.1., obojí od výrobce Danubius Elektrik Bratislava. Svařovací kleště BV 2.5.21 (obr. 20) jsou mobilní zařízení pro svařování plechů do maximální tloušťky 2,5 + 2,5 mm. Jsou tvořeny transformátorem, pákovým mechanismem, rameny pro upevnění elektrod a vzduchem chlazenými elektrodami z legované mědi. Přítlačná síla se vyvozuje mechanicky ručně ovládanou pákou a lze ji regulovat předpětím pružiny prostřednictvím šroubu. Ovládací páka je opatřena dorazem, který spouští průchod svařovacího proudu. Ten prochází svařovaným materiálem pouze při úplném stlačení ramen zařízení. Svařovací kleště BV 2.5.21 neumožňují regulaci svařovacího proudu.

Obr. 20 Svařovací kleště BV 2.5.21



Řídicí jednotka QX 12.1. umožňuje regulaci svařovacího času. Nabízí dvanáct svařovacích časů, konkrétně 0,10 s, 0,15 s, 0,20 s, 0,25 s, 0,30 s, 0,40 s, 0,60 s, 0,80 s, 1,00 s, 1,30 s, 1,60 s, 2,00 s. Použitá řídicí jednotka je zobrazena na obr. 21.

Obr. 21 Řídicí jednotka QX 12.1.



Vzorek svarového spoje byl vytvořen přeplátováním a následným bodovým svařením dvou plechů ze stejné skupiny podle úpravy povrchu. To znamená, že například k otryskanému a odmaštěnému plechu byl bodově přivařen opět plech otryskaný a odmaštěný, nikoliv plech z jiné skupiny dle úpravy povrchu před svařováním. Velikost přeplátování byla 30 ± 3 mm.

Přítlačná síla byla zvolena na základě doporučení výrobce přibližně 1,5 kN a byla konstantní po celou dobu svařování. Svařovací proud je pevně stanovený na hodnotě 6,4 kA a není možné ho regulovat. Překládané plechy byly vloženy mezi elektrody. Ručně ovládaným pákovým mechanismem na ně byla vyvozena zvolená přítlačná síla. Úplným domáčknutím na doraz se spustil průchod svařovacího proudu. Po uplynutí svařovacího času byl průchod svařovacího proudu přerušen, následovalo rozevření ramen a vyjmutí hotového vzorku svarového spoje. Takto vytvořené vzorky svarových spojů byly označeny a dále využity pro statickou smykovou zkoušku, na jejímž základě bylo možné stanovit velikost síly potřebné k jejich porušení. Ukázka reálného vzorku svarového spoje je na obr. 22.

Obr. 22 Vzorek svarového spoje



Celkově bylo v každé skupině plechů, rozdělených podle přípravy povrchu, vytvořeno vždy šest vzorků svarových spojů pro každý z dvanácti možných svařovacích časů (tzn. celkem 72 vzorků pro každou skupinu podle přípravy povrchu). Dohromady bylo tedy zhotoveno 288 kusů vzorků svarových spojů. Obr. 23 ilustruje, jak se měnila velikost tepelně ovlivněné oblasti v závislosti na velikosti svařovacího času.

Obr. 23 Velikost tepelně ovlivněné oblasti v závislosti na svařovacím čase



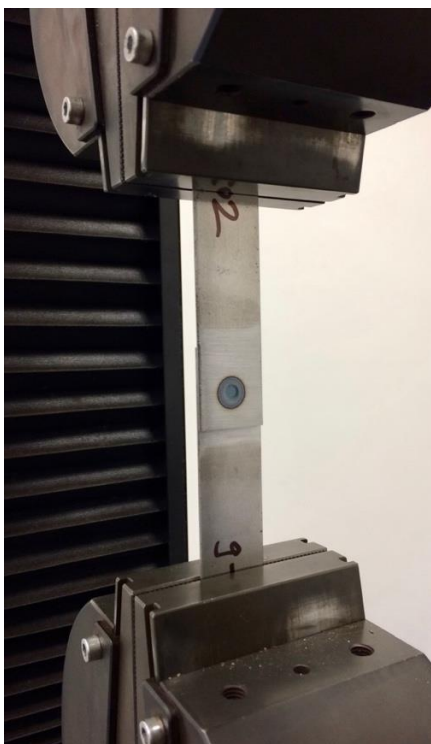
5.3 Smyková zkouška

Smyková zkouška byla provedena na univerzálním elektromechanickém zkušebním stroji LabTest 5.50ST od výrobce LaborTech s.r.o., kterým je vybavena jedna z laboratoří Katedry materiálu a strojírenské technologie na České zemědělské univerzitě. Jde o stacionární dvou-sloupcový zkušební stroj s maximální možnou zatěžovací silou do 50 kN. Je vhodný zejména pro testování vzorků nebo hotových výrobků při statickém i dynamickém namáhání na tah, tlak a ohyb.

Zkušební stroj je vybaven digitální měřicí a řídicí elektronikou. Je určen pro použití v oblasti výzkumu a vývoje, dále v automobilové a strojírenském průmyslu. Uplatňuje se při kontrole jakosti výroby nebo při kontrolách zboží a materiálu. Stroj LabTest 5.50ST je kvalifikovaný pro využití v systému řízení jakosti podle normy ISO 9001:2009.

Před samotnou zkouškou byla nastavena rychlost zatěžování na hodnotu 10 mm/min. Zároveň bylo nutné nastavit vzdálenost upínacích čelistí zkušebního stroje tak, aby bylo možné vzorek svarového spoje pevně upnout mezi čelisti, aniž by během zkoušky docházelo k jeho uvolňování. Vzorek svarového spoje byl upnut mezi čelisti ve svislé poloze, tak jak ilustruje obr. 24.

Obr. 24 Upnutí vzorku svarového spoje mezi čelisti zkušebního stroje



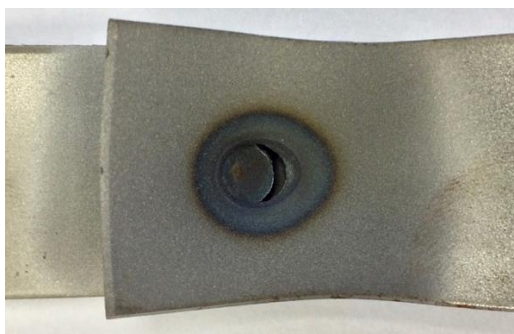
Následovalo spuštění procesu zatěžování vzorku svarového spoje, který trval až do chvíle porušení jeho celistvosti. Během smykové zkoušky docházelo ke dvěma způsobům porušení celistvosti vzorku svarového spoje, a to k:

- porušení svarové čochky (obr. 25),
- porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti (obr. 26).

Obr. 25 Porušení svarové čochky



Obr. 26 Porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti



Výstupem smykové zkoušky byla maximální síla potřebná k porušení svarového spoje, a právě zmíněný způsob jeho porušení. V následujícím kroku bylo provedeno zpracování a vyhodnocení naměřených výsledků pro jednotlivé skupiny vzorků.

6 Zhodnocení výsledků

Vyhodnocení naměřených výsledků bylo rozděleno do dvou částí. První část je věnována zpracování a vyhodnocení naměřených výsledků pro každou skupinu vzorků samostatně. S cílem charakterizovat zejména vliv přípravy povrchu a svařovacího času na velikost síly potřebné k porušení svarového spoje a na způsob, kterým k tomuto porušení došlo. Pro každou skupinu vzorků byly vypočteny statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot.

Statistické charakteristiky polohy popisují obecnou velikost hodnot proměnné ve statistickém souboru. Udávají polohu (úroveň) dat, tedy jejich střední hodnotu nebo hodnoty krajní. Pro výpočet střední hodnoty byl pro účely zhodnocení výsledků zvolen aritmetický průměr, který je definován vztahem:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

kde \bar{x} označuje aritmetický průměr, x_1, x_2, \dots, x_n jsou jednotlivé hodnoty proměnné ve statistickém souboru a n je celkový počet pozorování. Slovně lze vztah vyjádřit jako podíl součtu všech hodnot proměnné ku celkovému počtu těchto hodnot. [31]

Statistické charakteristiky variability popisují variabilitu neboli rozptýlenost jednotlivých hodnot dané proměnné kolem jejich střední hodnoty. Čím vyšší je variabilita hodnot proměnné kolem střední hodnoty, tím nižší je schopnost této střední hodnoty charakterizovat danou proměnnou. Pro stanovení míry variability byly pro účely zhodnocení výsledků zvoleny výběrová směrodatná odchylka a variační koeficient. Výběrová směrodatná odchylka je definována jako druhá odmocnina rozptylu:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}},$$

kde \bar{x} představuje aritmetický průměr, x_1, x_2, \dots, x_n označují hodnoty proměnné ve statistickém souboru a n je celkový počet pozorování. [27; 28]

Variační koeficient slouží ke srovnání variability proměnných, které se liší svojí polohou. Náleží do skupiny statistických charakteristik relativní variability. Je vymezen jako podíl směrodatné odchylky a aritmetickému průměru.

$$V = \frac{s}{\bar{x}},$$

kde V značí variační koeficient, s představuje výběrovou směrodatnou odchylku a \bar{x} je aritmetický průměr. Výsledkem je bezrozměrné číslo, které (po vynásobení 100) představuje variabilitu v procentech. Variační koeficient v procentech udává, z jak velké části se směrodatná odchylka podílí na aritmetickém průměru. Překročila-li tato hodnota 50 %, jedná se o vysokou nesourodost hodnot dané proměnné. [27; 28]

Druhá část vyhodnocení výsledků obsahuje souhrnné vzájemné porovnání naměřených hodnot všech skupin vzorků. Skupina vzorků s neupravených povrchem svarových ploch byla zvolena jako kontrolní skupina, vzhledem k níž byly ostatní skupiny vzorků porovnávány. Cílem porovnání bylo zjistit, zda mají jednotlivé přípravy povrchu před svařováním statisticky významný vliv na velikost síly potřebné k porušení svarového spoje. Pro tyto účely byl použit test významnosti rozdílu dvou rozptylů (tzv. F-test) a test významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů (tzv. t-test).

Pomocí F-testu bylo zjišťováno, zda má určitá příprava povrchu před svařováním významný vliv na variabilitu naměřených hodnot. Výpočet vychází z hodnot dvou výběrových souborů, které jsou vzájemně porovnávány. Jedná se o podíl většího z rozptylů ku menšímu z rozptylů. Testována byla nulová hypotéza o rovnosti dvou rozptylů. Vypočtené testovací kritérium se porovná s tabulkovou kritickou hodnotou, z čehož se stanoví, zda lze nulovou hypotézu zamítnout či nikoliv.

Na základě výsledků F-testu bylo zvoleno odpovídající testovací kritérium nepárového t-testu pro shodné nebo různé rozptyly. Testována je nulová hypotéza o rovnosti střední hodnoty měření u vzorků bez přípravy povrchu svarových ploch a střední hodnoty měření u vzorků s určitou přípravou povrchu svarových ploch. Výsledkem je zjištění, zda konkrétní příprava povrchu plechů před svařováním má statisticky významný vliv na velikost střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje či nikoliv. [32]

Testovací kritérium nepárového t-testu pro shodné rozptyly se stanovuje podle vzorce:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}},$$

kde \bar{x}_1, \bar{x}_2 jsou aritmetické průměry daných výběrů, n_1 a n_2 označují velikost výběru, s_1^2 a s_2^2 jsou výběrové rozptyly. Testovací kritérium nepárového t-testu pro různé rozptyly se stanovuje podle vzorce:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}},$$

kde \bar{x}_1, \bar{x}_2 označují aritmetické průměry daných výběrů, n_1 a n_2 značí velikost výběru, s_1^2 a s_2^2 jsou výběrové rozptyly. Vypočtené testovací kritérium se porovná s kritickou hodnotou a stanoví se, zda lze nulovou hypotézu zamítnout či nikoliv. U obou testů byla zvolena hladina významnosti 0,05. Testy významnosti rozdílu dvou rozptylů a testy významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů byly provedeny v programu Microsoft Excel pomocí doplňku s názvem Analýza dat. [32]

6.1 Dílčí zhodnocení

Dílčí zhodnocení obsahuje zpracování a vyhodnocení naměřených dat pro každou skupinu vzorků samostatně. Naměřená data byly zpracovány do grafů závislosti síly potřebné k porušení spoje na svařovacím čase, ve kterých je vynesena aritmetický průměr a 95% interval spolehlivosti naměřených dat pro každý z dvanácti svařovacích časů.

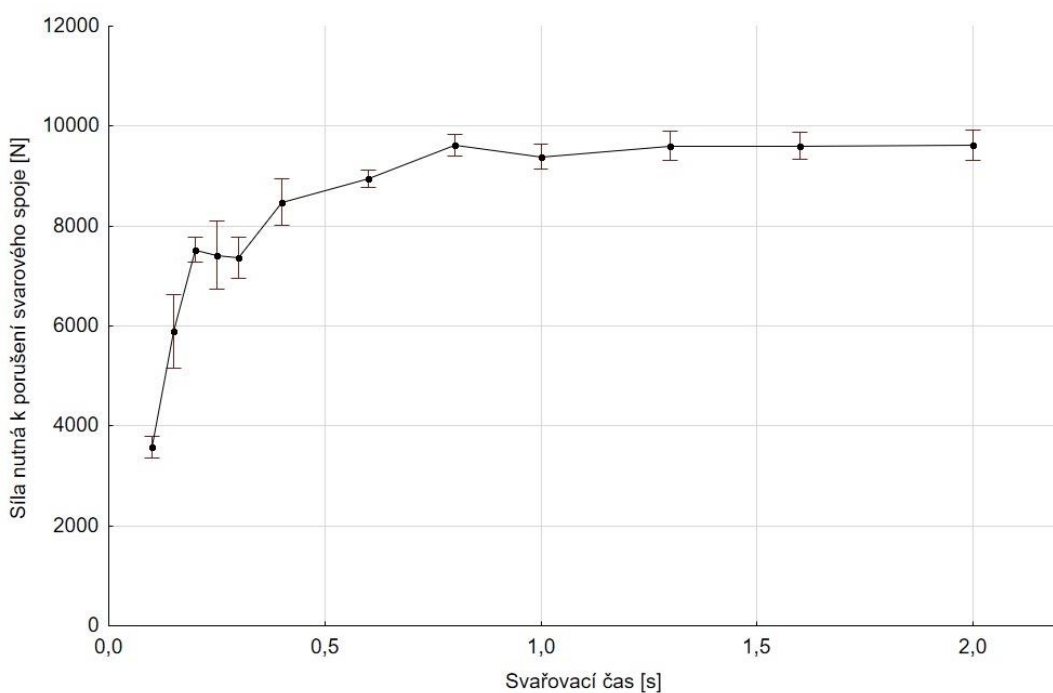
6.1.1 Skupina vzorků č. 1 – bez přípravy povrchu

Obr. 27 zobrazuje vliv svařovacího času na velikost síly nutné k porušení spoje pro vzorky s neupraveným povrchem svarových ploch. Od svařovacího času 0,10 s do času 0,20 s došlo k prudkému nárůstu síly, při které nastalo porušení svarového spoje. Mezi svařovacími časy 0,20 až 0,30 s byl zaznamenán mírný pokles sledované síly. Původ této anomálie není prokázán. Od času 0,30 s došlo k opětovnému růstu této síly. Intenzita růstu se pozvolna snižovala až do

chvíle, kdy bylo dosaženo při svařovacím čase 0,80 s, maximální hodnoty aritmetického průměru 9 622 N. V rozmezí svařovacích časů od 0,80 do 2,00 s se hodnota sledované síly ustálila a už nedocházelo k významným změnám. Pro optimální hodnotu svařovacího času při svařování plechů o tloušťce 1,5 + 1,5 mm udávanou výrobcem svařovacích kleští 0,60 s, byla naměřena průměrná síla potřebná k porušení svarového spoje 8 949 N při směrodatné odchylce 159 N a variačním koeficientu 1,77 %.

Pro 73,6 % vzorků došlo k porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti, pro zbylých 26,4 % nastalo porušení svarové čochky. Destrukce v místě svarové čochky se během měření objevovala až do svařovacího času 0,40 s, při kterém byl pozorován tento způsob porušení ještě ve dvou z celkových šesti případů. Od svařovacího času 0,60 s už nastávalo výhradně porušení základního materiálu vzorků. Tato skutečnost vysvětluje snížení intenzity růstu síly potřebné k porušení svarového spoje v závislosti na růstu svařovacího času.

Obr. 27 Graf závislosti síly potřebné k porušení spoje na svařovacím čase pro vzorky s neupraveným povrchem



Tab. 3 udává veškeré vypočtené statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot. Vypočtené hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu dokazují velmi dobrou schopnost aritmetického průměru reprezentovat úroveň naměřených hodnot sledované síly pro jednotlivé svařovací časy. Výjimky tvořily svařovací časy 0,15 s při variačním koeficientu 12 % a 0,25 s při variačním koeficientu 9 %.

Tab. 3 Výsledky experimentu pro vzorky s povrchem bez přípravy

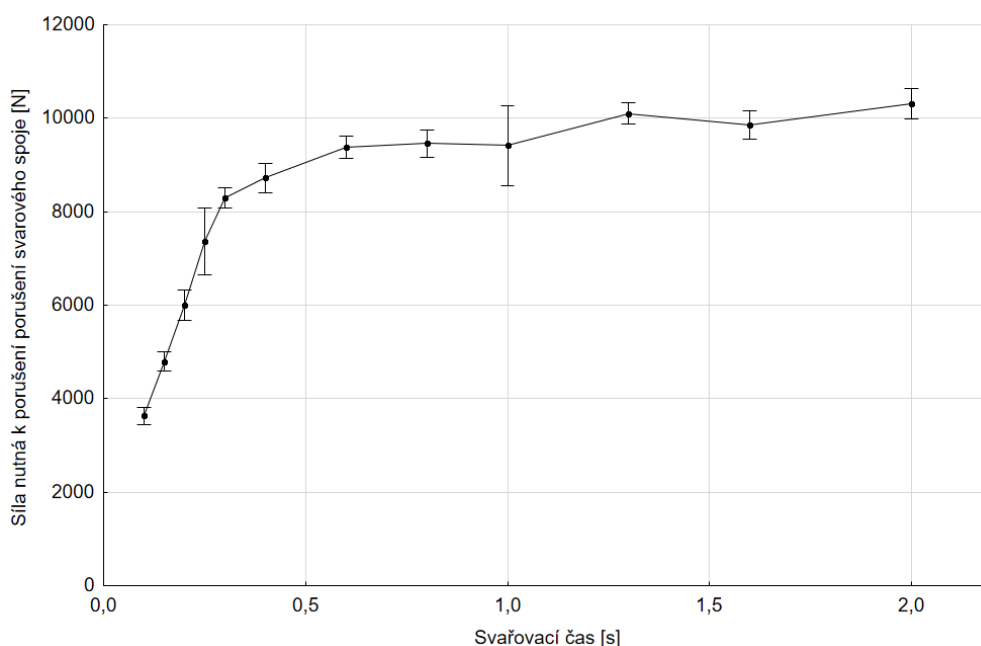
Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]
0,10	3 576	209	5,83
0,15	5 893	706	11,98
0,20	7 523	238	3,17
0,25	7 421	656	8,85
0,30	7 373	395	5,35
0,40	8 479	440	5,19
0,60	8 949	159	1,77
0,80	9 622	205	2,13
1,00	9 389	233	2,48
1,30	9 606	286	2,97
1,60	9 607	250	2,61
2,00	9 619	296	3,08

6.1.2 Skupina vzorků č. 2 – příprava odmaštěním povrchu

Z obr. 28, který zobrazuje závislost síly potřebné k porušení svarového spoje na svařovacím čase pro vzorky s odmaštěným povrchem je patrné, že v intervalu svařovacího času od 0,1 do 0,3 s zaznamenala tato síla prudký a téměř lineární růst v závislosti na zvyšujícím se svařovacím čase. Od tohoto bodu následoval pozvolný růst sledované síly až na maximální dosaženou hodnotu aritmetického průměru 10 310 N při svařovacím čase 2,00 s. Pro výrobcem doporučený optimální svařovací čas 0,60 s, nastávalo porušení svarového spoje při průměrné síle zatížení 9 375 N při výběrové směrodatné odchylce 231 N a variačním koeficientu 2,47 %.

V 68 % případů došlo k porušení svarového spoje v místě tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu. Naopak pro zbývajících 32 % vzorků byly porušena čochka bodového svaru. K porušení čochky svarového spoje docházelo až do svařovacího času 0,3 s, při kterém nastal tento způsob destrukce u jednoho z šesti vzorků. Pro nižší svařovací časy nastávalo téměř výhradně k porušení v čochce svarového spoje. Pro svařovací časy vyšší docházelo k destrukci základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti.

Obr. 28 Graf závislosti síly potřebné k porušení spoje na svařovacím čase pro vzorky s odmaštěným povrchem



Veškeré statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot jsou uvedeny v tab. 4. Vypočtené směrodatné odchylky a variační koeficienty ukazují na nízkou rozptýlenost naměřených hodnot kolem jejich aritmetického průměru. Z toho vyplývá velmi dobrá schopnost aritmetického průměru naměřených hodnot reprezentovat úroveň síly potřebné k porušení svarového spoje pro jednotlivé svařovací časy. Výjimku tvoří svařovací časy 0,25 a 1,00 s, při kterých dosahuje variační koeficient úrovně 9 %.

Tab. 4 Výsledky experimentu pro vzorky s odmaštěným povrchem

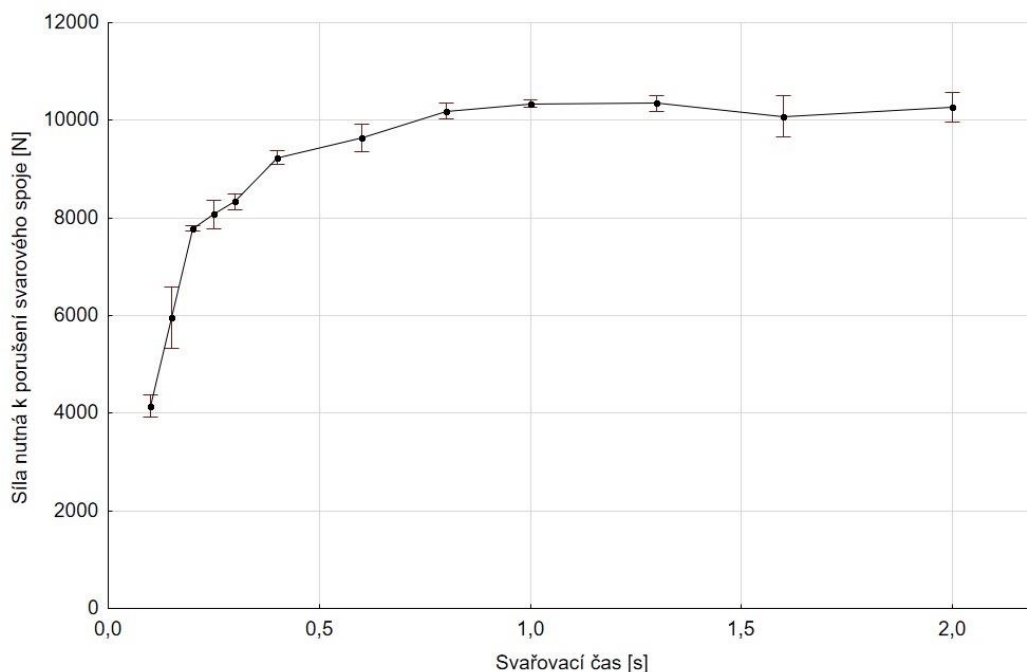
Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]
0,10	3 631	172	4,75
0,15	4 792	198	4,14
0,20	6 003	318	5,29
0,25	7 364	680	9,23
0,30	8 303	211	2,55
0,40	8 727	300	3,44
0,60	9 375	231	2,47
0,80	9 463	278	2,93
1,00	9 413	816	8,67
1,30	10 102	219	2,17
1,60	9 854	290	2,94
2,00	10 310	303	2,94

6.1.3 Skupina vzorků č. 3 – příprava povrchu smirkováním a odmaštěním

Graf závislosti velikosti síly nutné k porušení svarového spoje na svařovacím čase pro vzorky se smirkovaným a odmaštěným povrchem, ilustruje obr. 29. V intervalu svařovacích časů od 0,10 do 0,20 s byl růst sledované síly velmi prudký a téměř lineární. Následoval pozvolný růst až do svařovacích časů 1,00 a 1,30 s, kdy bylo dosaženo nejvyšších hodnot síly nutné k porušení svarového spoje. Pro doporučený optimální svařovací čas byla naměřena průměrná síla potřebná k porušení svarového spoje 9 642 N při výběrové směrodatné odchylce 274 N a variačním koeficientu 2,84 %.

Pouhých 15 % všech vzorků bylo porušeno ve svarové čočce. Tento způsob destrukce bylo možné sledovat pouze do svařovacího času 0,15 s, při kterém nastal pro ještě pět z celkových šesti vzorků. U zbývajících 85 % vzorků docházelo k porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti. Od svařovacího času 0,20 s už docházelo výhradně k tomuto způsobu porušení.

Obr. 29 Graf závislosti síly potřebné k porušení spoje na svařovacím čase pro vzorky se smirkovaným a odmaštěným povrchem



Vypočtené statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot uvádí tab. 5. Stanovené hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu poukazují na skutečnost, že pro skupinu vzorků se smirkovaným a odmaštěným povrchem svarových ploch bylo dosaženo

nejnižší variability naměřených výsledků a nejpřesnější schopnosti aritmetického průměru reprezentovat jejich úroveň ve srovnání s ostatními skupinami vzorků. Pouze při svařovacím čase 0,15 s překročila hodnota variačního koeficientu 10 %.

Tab. 5 Výsledky experimentu pro vzorky se smirkovaným a odmaštěným povrchem

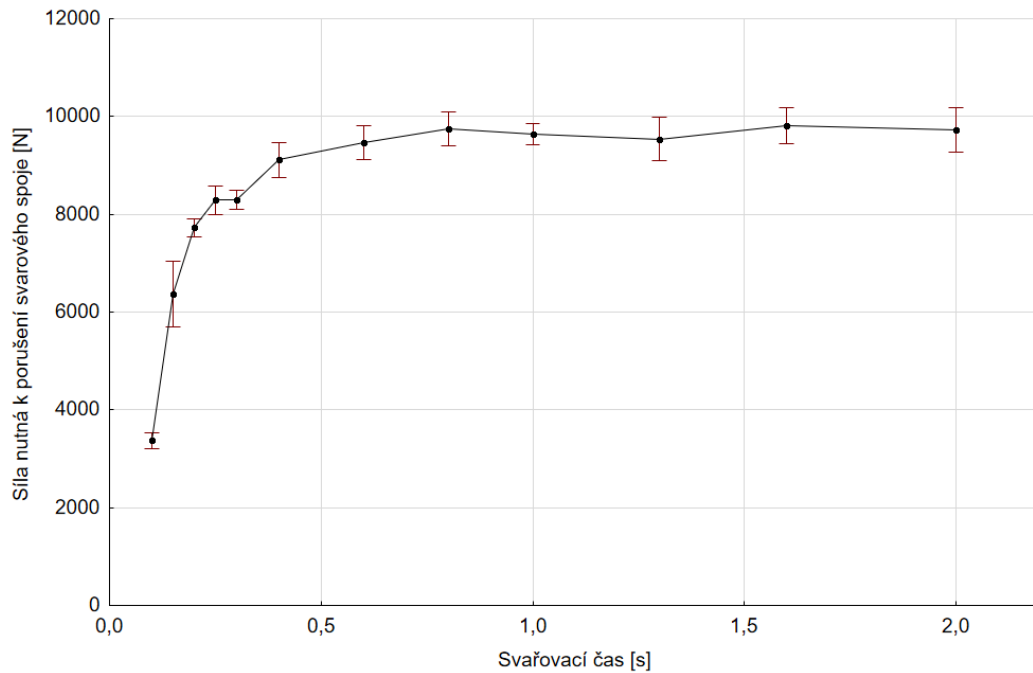
Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]
0,10	4 144	214	5,15
0,15	5 955	600	10,07
0,20	7 786	51	0,66
0,25	8 082	279	3,45
0,30	8 330	153	1,83
0,40	9 236	138	1,50
0,60	9 642	274	2,84
0,80	10 190	157	1,54
1,00	10 343	66	0,64
1,30	10 350	154	1,49
1,60	10 080	401	3,98
2,00	10 260	290	2,82

6.1.4 Skupina vzorků č. 4 – příprava povrchu tryskáním a odmaštěním

Graf závislosti velikosti síly potřebné k porušení vzorku svarového spoje na svařovacím čase pro vzorky s tryskaným a odmaštěným povrchem svarových ploch, ilustruje obr. 30. Z grafu je zřejmý prudký růst sledované síly v rozmezí svařovacích časů od 0,10 do 0,25 s. Následoval pozvolný růst až do svařovacího času 0,80 s. Pro svařovací časy 1,30 a 1,60 s došlo k mírnému poklesu dané síly. Vzápětí byla při svařovacím čase 1,80 s, zaznamenána nejvyšší průměrná síla potřebná k porušení svarového spoje 9 817 N. Při doporučeném optimálním svařovacím čase 0,6 s, docházelo k porušení svarového spoje při průměrné síle zatížení 9 469 N, při výběrové směrodatné odchylce 334 N a variačním koeficientu 3,53 %.

U 21 % všech vzorků svarových spojů došlo při smykové zkoušce k porušení přímo ve svarové čočce. Tento způsob porušení nastal při svařovacích časech 0,10 a 0,15 s u všech vzorků a při 0,20, 0,25 a 0,30 s vždy pouze u jednoho z šesti vzorků pro každý z těchto časů. U zbylých 71 % vzorků nastalo porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti. Od svařovacího času 0,40 s už docházelo výhradně k tomuto způsobu porušení.

Obr. 30 Graf závislosti síly potřebné k porušení spoje na svařovacím čase pro vzorky s tryskaným a odmaštěným povrchem



V tab. 6 jsou uvedeny statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot. Vypočtené hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu dokazují velmi dobrou schopnost aritmetického průměru reprezentovat úroveň naměřených hodnot pro jednotlivé svařovací časy. Výjimku tvoří opět svařovací čas 0,15 s, pro který je hodnota variačního koeficientu 10 %.

Tab. 6 Výsledky experimentu pro vzorky s tryskaným a odmaštěným povrchem

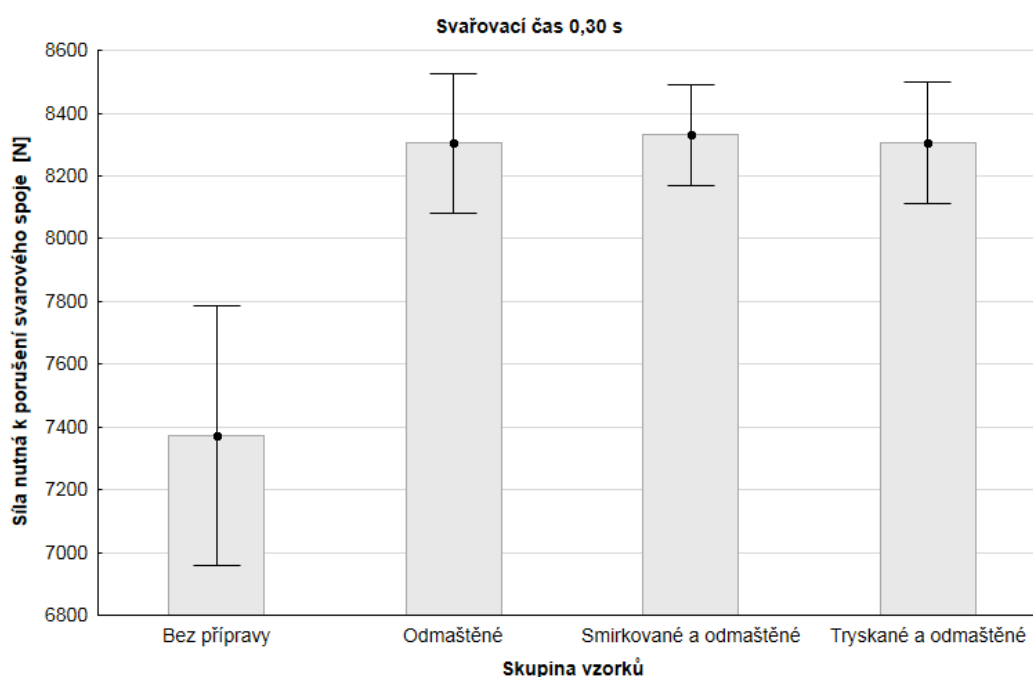
Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]
0,10	3 371	158	4,68
0,15	6 368	636	9,99
0,20	7 732	173	2,24
0,25	8 288	284	3,42
0,30	8 306	185	2,22
0,40	9 114	336	3,69
0,60	9 469	334	3,53
0,80	9 746	332	3,41
0,10	9 648	206	2,14
1,30	9 544	416	4,36
1,60	9 817	344	3,50
2,00	9 729	442	4,55

6.2 Souhrnné zhodnocení

Testování za účelem zjistit, zda mají dané způsoby přípravy povrchu před svařováním statisticky významný vliv na velikost síly potřebné k porušení svarového spoje, bylo provedeno pro svařovací časy 0,30, 0,60 a 1,30 s. Naměřená data byly zpracovány do grafů souhrnného porovnání naměřených hodnot při zvolených svařovacích časech. V těchto grafech je vynesena aritmetický průměr a 95% interval spolehlivosti naměřených dat pro každou skupinu vzorků.

6.2.1 Porovnání při svařovacím čase 0,30 s

Obr. 31 Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot při svařovacím čase 0,30 s



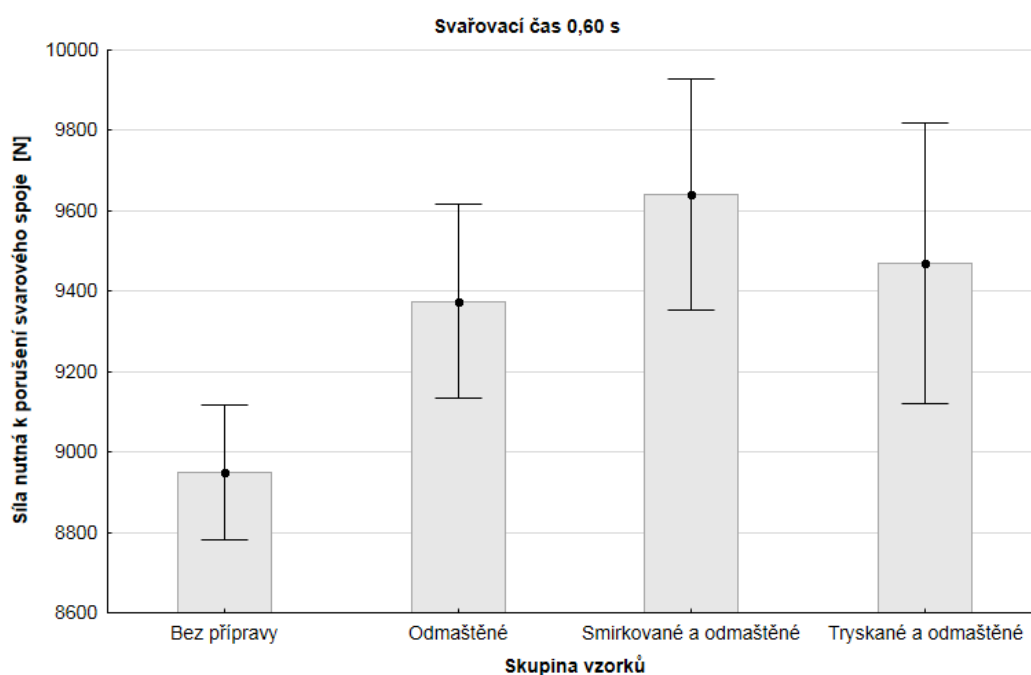
Obr. 31 zobrazuje graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro dané skupiny vzorků při svařovacím čase 0,30 s. Při vzájemném porovnání naměřených dat skupiny vzorků s odmaštěným povrchem svarových ploch a vzorků kontrolní skupiny, nelze na základě výsledku testu významnosti rozdílu dvou výběrových rozptylů zamítnout nulovou hypotézu. Z toho vyplývá, že mezi rozptyly není statisticky významný rozdíl. Výsledkem testu významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů je zjištění, že odmaštění povrchu svarových ploch vedlo ke statisticky významnému zvýšení střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje o 12,6 %.

Kombinace přípravy povrchu svarových ploch smirkováním a odmaštěním vede vzhledem ke kontrolní skupině vzorků nejen ke statisticky významnému zvýšení střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje o 13 %, ale i ke statisticky významnému snížení variability naměřených dat.

Při porovnání výsledků měření u vzorků s tryskaným a odmaštěným povrchem vzhledem ke kontrolní skupině vzorků, není možné na základě výsledků testu významnosti rozdílu dvou výběrových rozptylů zamítnout nulovou hypotézu. Mezi oběma rozptyly tedy není statisticky významný rozdíl. Následným testem významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů bylo určeno, že příprava povrchu svarových ploch tryskáním a odmaštěním má statisticky významný vliv na velikost síly nutné k porušení svarového spoje. Došlo ke zvýšení o 12,7 %.

6.2.2 Porovnání při svařovacím čase 0,60 s

Obr. 32 Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot při svařovacím čase 0,60 s



Obr. 32 ilustruje, jak se měnila velikost průměrné síly potřebné k porušení svarového spoje v závislosti na způsobu přípravy povrchu svarových ploch před svařováním při svařovacím čase 0,60 s. V případě vzorků s odmaštěným povrchem porovnávaných s kontrolní skupinou vzorků, bylo otestováno, že tento způsob přípravy povrchu nezpůsobí statisticky významné změny

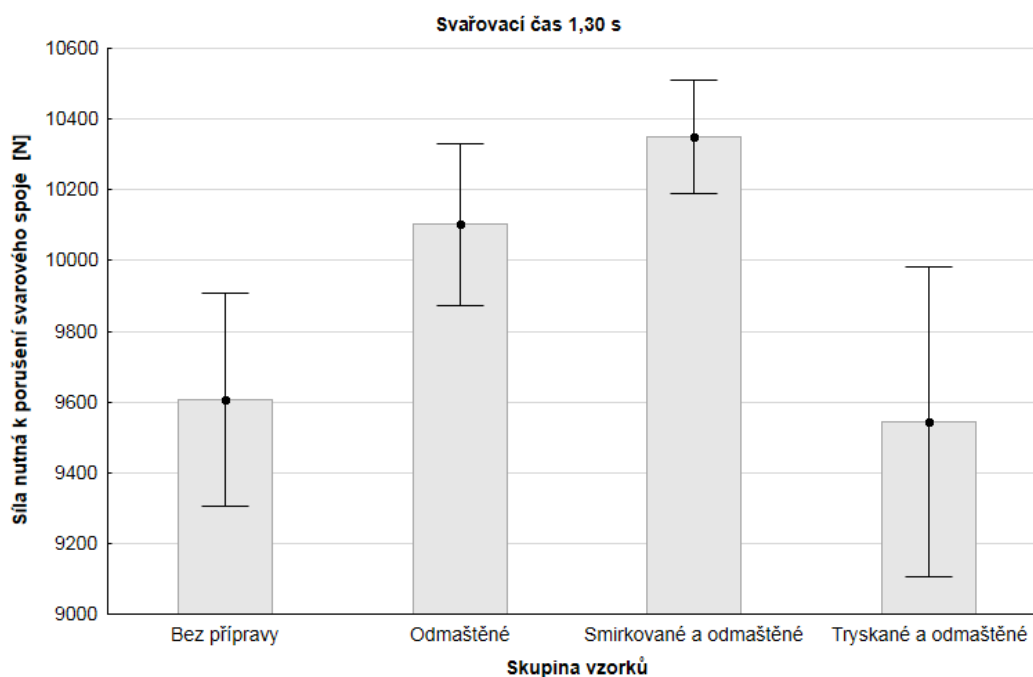
variability naměřených dat. V závislosti na výsledku testu významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů, lze zamítnout nulovou hypotézu. Z toho vyplývá, že daná úprava povrchu svarových ploch vede ke statisticky významnému zvýšení střední hodnoty sledované síly o 4,8 %.

Kombinace přípravy povrchu svarových ploch smirkováním a odmaštěním nezpůsobuje vzhledem ke kontrolní skupině vzorků statisticky významný rozdíl obou rozptylů naměřených dat, avšak vede k významnému zvýšení síly potřebné k porušení svarového spoje oproti kontrolní skupině vzorků o 7,7 %.

V případě vzorků s tryskaným a odmaštěným povrchem svarových ploch bylo dosaženo stejných výsledků testů významnosti rozdílu dvou výběrových rozptylů a průměrů jako v předchozích dvou případech. To znamená, že i tento způsob přípravy povrchu přináší statisticky významný nárůst síly potřebné k porušení svarového spoje. Konkrétně o 5,8 %.

6.2.3 Porovnání při svařovacím čase 1,30 s

Obr. 33 Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot při svařovacím čase 1,30 s



Obr. 33 zobrazuje změnu průměrné síly potřebné k porušení svarového spoje v závislosti na způsobu přípravy povrchu svarových ploch při svařovacím čase 1,30 s. Příprava povrchu sva-

rových ploch pouhým odmaštěním nepřinesla vzhledem ke kontrolní skupině statistický významnou změnu variability naměřených hodnot, ale způsobila významný rozdíl střední hodnoty sledované síly. Zaznamenán byl nárůst o 5,2 %

Vzorky se smirkovaným a odmaštěným povrchem svarových ploch vykazovaly v porovnání s kontrolní skupinou opět statisticky významné zvýšení síly potřebné k porušení svarového spoje o 7,8 %, nikoliv však významný rozdíl variability naměřených dat.

Při daném svařovací čase nepřinesla kombinace přípravy povrchu svarových ploch tryskáním a odmaštěním v porovnání s kontrolní skupinou vzorků statisticky významný rozdíl variability naměřených dat ani střední hodnoty síly nutné k porušení svarového spoje.

7 Technicko-ekonomické zhodnocení práce

Technicko-ekonomické zhodnocení je zaměřeno na stanovení rozdílu nákladů na vytvoření jednoho svarového spoje v závislosti na přípravě povrchu vzorků před svařováním. Do výpočtu nákladů byly zahrnuty náklady na spotřebovanou elektrickou energii, základní mzdové náklady na obsluhu a náklady spojené se spotřebou organického rozpouštědla.

Pro účely stanovení nákladů na jeden svarový spoj byly v první řadě vypočteny náklady na jednotlivé operace uplatněné během přípravy vzorků. Následně byly stanoveny celkové náklady součtem dílčích nákladů na dané operace využité v rámci jednotlivých skupin vzorků, rozčleněných podle přípravy povrchu svarových ploch.

7.1.1 Výpočet nákladů na jednotlivé operace

Náklady na tryskání

$$N_{Tryskání} = C_{kWh} \cdot P \cdot t_t + N_O \cdot t_t \text{ [Kč]},$$

kde N_{kWh} označuje cenu za kWh [Kč], P je příkon použitých strojů [kW], t_t je doba potřebná k otryskání povrchu jednoho vzorku ocelového plechu [h] a N_O jsou náklady na mzdu obsluhy [Kč/h].

Náklady na smirkování

$$N_{Broušení} = C_{kWh} \cdot P_b \cdot t_b + \frac{N_O}{n_{bh}} \text{ [Kč]},$$

kde C_{kWh} představuje cenu za jednu kWh [Kč], P_b je příkon brusky [kW], n_{bh} označuje maximální počet osmirkovaných vzorků za hodinu [ks/h] a N_O značí náklady na mzdu obsluhy [Kč/h].

Náklad na odmaštění

$$N_{\text{odmaštění}} = C_{\text{aceton}} \cdot S_{\text{aceton}} + N_o \cdot t_o \text{ [Kč]},$$

kde C_{aceton} značí cenu acetonu za [Kč/l], S_{aceton} je spotřeba acetonu na odmaštění jednoho vzorku ocelového plechu [l], t_o je doba potřebná k odmaštění povrchu vzorku [h] a N_o označuje náklady na mzdu obsluhy [Kč/h].

Náklady na svařování

$$N_{\text{svařování}} = C_{\text{kWh}} \cdot P_s \cdot t_s + \frac{N_o}{n_h} \text{ [Kč]},$$

kde C_{kWh} představuje cenu za jednu kWh [Kč], P_s značí příkon bodové svářečky [kW], t_s je svařovací čas [h], n_h je maximální možný počet svarových spojů za hodinu při určitém svařovacím čase [ks/h] a N_o označuje náklady na mzdu obsluhy [Kč/h].

Pro účely výpočtu byla cena elektrické energie stanovena na 3,72 Kč za jednu kWh. Příkon použité brusky je 0,375 kW, příkon svařovacích kleští je 6 kW, příkon odsávacího zařízení použitého během tryskání je 1,2 kW a příkon kompresoru připojeného k tryskací kabině je 3 kW. Hodinové náklady na mzdu obsluhy strojů činí 400 Kč/h. Na základě měření během laboratorních zkoušek byla určena doba nutná k otryskání jednoho ocelového plechu, která činí 25 s. Dále doba potřebná k osmirkování povrchu jednoho plechu, která je 20 s a k jeho odmaštění je potřeba doba 15 s.

Pro svařovací čas 0,6 s uvádí výrobce svařovacích kleští orientační kadenci 56 svarových spojů za hodinu. Pro svařovací čas 1,30 s uvádí 28 svarových spojů za hodinu. Výrobce neuvádí kadenci při svařovacím čase 0,30 s, proto byla pomocí interpolace stanovena na 119 svarových spojů za hodinu. Na základě těchto hodnot byly vypočteny náklady na mzdu obsluhy při svařování za jeden svarový spoj. Na použité brusce bylo možné obrousit povrch 60 plechů za hodinu. Cena organického rozpouštěla použitého na odmaštění je 83 Kč/l a celkem ho pro účely experimentu bylo spotřebováno 0,5 l.

7.1.2 Výpočet celkových nákladů

Skupina vzorků č. 1 - bez přípravy povrchu

$$NC_1 = N_{Svařování} [Kč]$$

Skupina vzorků č. 2 - příprava odmaštěním povrchu

$$NC_2 = 2 \cdot N_{Odmaštění} + N_{Svařování} [Kč]$$

Skupina vzorků č. 3 - příprava povrchu smirkováním a odmaštěním

$$NC_3 = 2 \cdot (N_{Broušení} + N_{Odmaštění}) + N_{Svařování} [Kč]$$

Skupina vzorků č. 4 - příprava povrchu tryskáním a odmaštěním

$$NC_4 = 2 \cdot (N_{Tryskání} + N_{Odmaštění}) + N_{Svařování} [Kč]$$

7.1.3 Zhodnocení

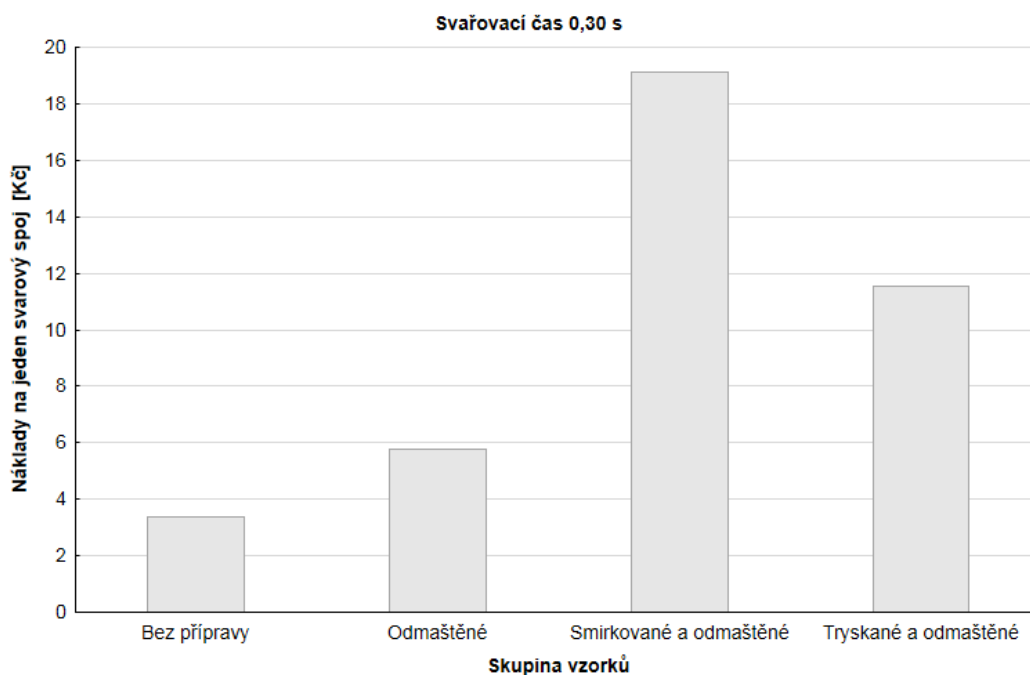
Výpočet nákladů a celkové technicko-ekonomické hodnocení bylo provedeno pro svařovací časy 0,30, 0,60 a 1,30 s. Tab. 7 udává celkové náklady na jeden svarový spoj a změnu nákladů v závislosti na svařovacím čase vyjádřenou v procentech pro každou skupinu vzorků.

Tab. 7 Celkové náklady

Svařovací čas [s]	Bez přípravy		Odmaštěné		Smirkované a odmaštěné		Tryskané a odmaštěné	
	NC ₁ [Kč]	Změna nákladů [%]	NC ₂ [Kč]	Změna nákladů [%]	NC ₃ [Kč]	Změna nákladů [%]	NC ₄ [Kč]	Změna nákladů [%]
0,30	3,36	0	5,79	0	19,13	0	11,56	0
0,60	7,15	113	9,57	65	22,92	20	15,34	33
1,30	14,29	325	16,72	189	30,06	57	22,49	95

Porovnání nákladů při svařovacím čase 0,30 s

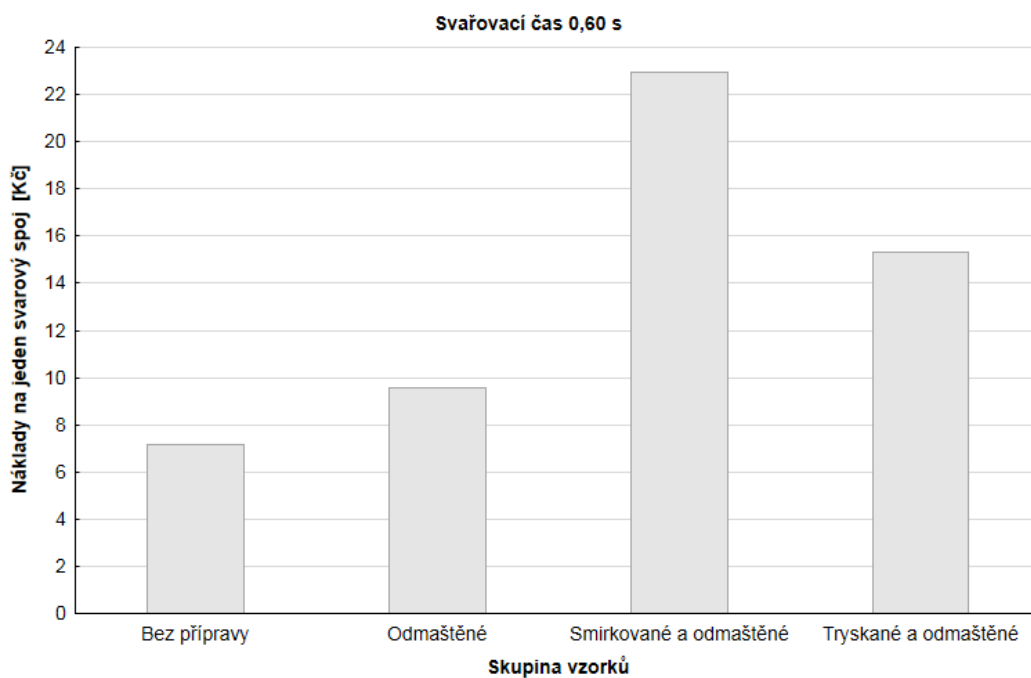
Obr. 34 Graf souhrnného hodnocení nákladů při svařovacím čase 0,30 s



Obr. 34 ilustruje vliv přípravy povrchu svarových ploch na velikost nákladů na jeden svarový spoj. Nárůst nákladů vzhledem ke kontrolní skupině vyjádřený v procentech je v případě odmaštěných vzorků 72 %. V případě vzorků se smirkovaným a odmaštěným povrchem 469 % a pro vzorky s tryskaným a odmaštěným povrchem 244 %. Porovnáme-li tyto údaje s hodnotami naměřené síly potřebné k porušení svarového spoje, zjistíme, že při daném svařovacím čase, lze dosáhnout samotným odmaštěným povrchem stejných výsledků jako v případě mechanické přípravy povrchu svarových ploch. Z toho vyplývá, že z technicko-ekonomického hlediska je každá další úprava nevhodná.

Porovnání při svařovacím čase 0,60 s

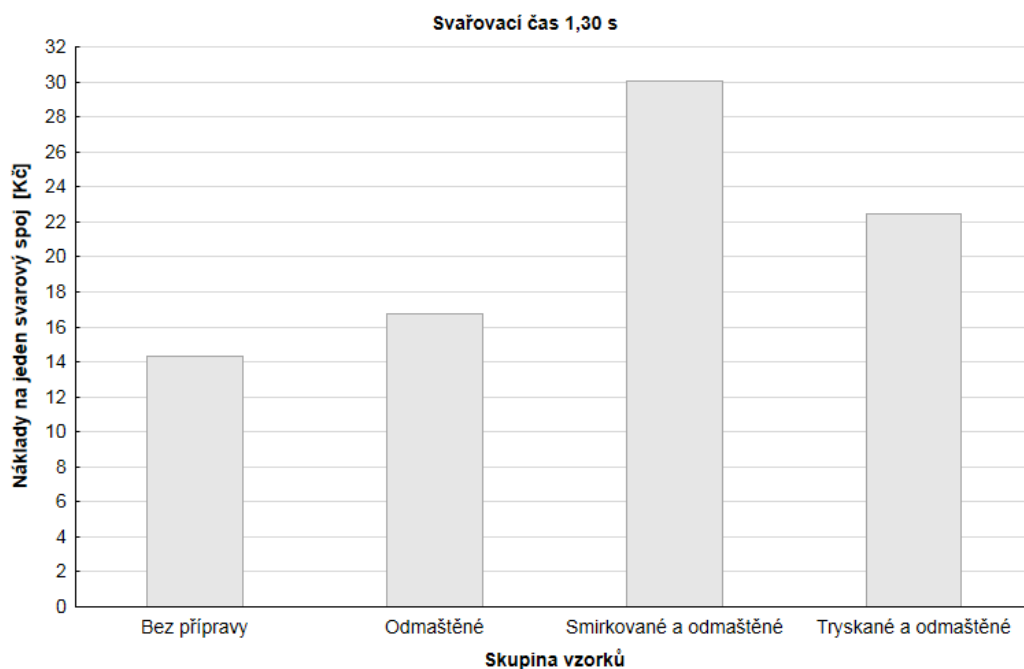
Obr. 35 Graf souhrnného hodnocení nákladů při svařovacím čase 0,60 s



Obr. 35 zobrazuje změnu nákladů na jeden svarový spoj v závislosti na přípravě povrchu svařových ploch. Změna nákladů na jeden svarový spoj u vzorků s odmaštěným povrchem vzhledem ke kontrolní skupině je 34 %, při průměrné síle potřebné k porušení spoje 8 303 N. Pro skupinu vzorků s povrchem smirkovaným a odmaštěným činí tato změna 221 %, při průměrné síle 9 642 N. Pro vzorky s tryskaným a odmaštěným povrchem byl zaznamenán nárůst nákladů o 115 %, při průměrné síle potřebné k porušení spoje 9 469 N.

Porovnání při svařovacím čase 1,30 s

Obr. 36 Graf souhrnného hodnocení nákladů při svařovacím čase 1,30 s



Obr. 36 ilustruje, jak se měnila velikost nákladů na jeden svarový spoj v závislosti na způsobu přípravy povrchu plechů před svařováním. Vzorky s odmaštěným povrchem dosahovaly při daném svařovacím čase průměrné síly potřebné k porušení spoje 9 606 N a vzhledem ke kontrolní skupině došlo ke změně nákladů na jeden svarový spoj o 17 %. V případě vzorků se smirkovaným a odmaštěným povrchem byla stanovena změna nákladů o 110 % a průměrná síla při porušení spoje 10 350 N. Pro vzorky s tryskaným a odmaštěným povrchem byl zjištěn nárůst nákladů o 57 % a průměrná síla potřebná k porušení spoje 9 544 N.

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že příprava povrchu svarových ploch má významný vliv nejen na únosnost svarového spoje, ale i na výši nákladů spojených s jeho výrobou. Zatím co změna síly potřebné k porušení spoje s pohybovala v intervalu od 2,2 % do 13 %, změna nákladů byla v intervalu od 17 % až do 469 %. Dále je nutné zamyslet se nad volbou svařovacího času. Jeho zvyšováním do určité hodnoty sice dochází ke zvýšení únosnosti spoje, ale tato skutečnost je doprovázena neúměrným zvyšováním nákladů na výrobu spoje. V tomto ohledu bylo dosaženo nejlepších výsledků při svařovacím čase 0,60 s, který je výrobcem svařovacích kleští doporučen jako optimální pro svařování plechů o tloušťce 1,5 + 1,5 mm. Dalším zvyšováním docházelo k neúměrnému růstu nákladů na výrobu spoje vzhledem k nárůstu průměrné síly nutné k jeho porušení.

8 Závěr

Cílem experimentu bylo stanovit velikost síly potřebné k porušení svarového spoje v závislosti na úpravě povrchu svařovaných ocelových plechů v místě budoucího svaru a svařovacím čase. Dále na základě naměřených výsledků statisticky vyhodnotit významnost vlivu konkrétní přípravy povrchu svarových ploch před svařováním na úroveň a variabilitu naměřených hodnot síly potřebné k porušení svarového spoje.

Pro účel laboratorních zkoušek bylo nastříháno 576 plechů o rozměrech 100 x 25 mm z tabule ocelového plechu o tloušťce 1,5 mm. Tyto plechy byly následně rozděleny do čtyř skupin podle toho, jakým způsobem byl připraven jejich povrch v místě budoucího svaru před samotným svařováním.

Vzorky svarových spojů vznikly přeplátováním dvou ocelových plechů se stejnou přípravou povrchu svarových ploch a následným bodovým svařením v měkkém svařovacím režimu. Svařování probíhalo při svařovacím proudu 6,4 kA, při přitlačné síle přibližně 1,5 kN a bylo provedeno pro všech 12 dostupných svařovacích časů.

Na základě statické smykové zkoušky bylo možné sledovat dva způsoby porušení svarového spoje, a to porušení svarové čocky a porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti. Nejvyšší procentní podíl vzorků porušených ve svarové čocke vykazovala skupina s odmaštěným povrchem svarových ploch, který činil 32 % vzorků. Naopak nejnižší procentní podíl byl zjištěn u skupiny vzorků s kombinací přípravy povrchu svarových ploch smirkováním a odmaštěním. K porušení svarové čocky došlo v pouhých 15 % případů.

Z vypočtených hodnot statistických charakteristik variability v rámci jednotlivých skupin vzorků byla stanovena nízká rozptýlenost naměřených hodnot kolem jejich aritmetického průměru pro jednotlivé svařovací časy. Z toho vyplývá, že dané aritmetické průměry velmi dobře reprezentují dosaženou úroveň síly potřebné k porušení svarového spoje. Nejvyšší variabilita naměřených dat byla zjištěna při svařovacím čase 0,15 s, kdy pro skupiny vzorků s povrchem bez přípravy, s povrchem smirkovaným a odmaštěným a s povrchem tryskaným a odmaštěným, byla hodnota variačního koeficientu v rozmezí od 10 do 12 %. Z těchto důvodů je svařovací čas 0,15 s nevhodný pro praktické využití vzhledem k daným přípravám svarových ploch.

Souhrnné hodnocení vlivu přípravy povrchu svarových ploch před svařováním na velikost síly potřebné k porušení svarového spoje bylo provedeno pro svařovací časy 0,30, 0,60 a 1,30 s. Výsledkem testování významnosti rozdílu dvou výběrových rozptylů (tzv. F-test) bylo zjištěno, že při výše zmíněných svařovacích časech neměly dané přípravy povrchu svarových ploch statistický významný vliv na variabilitu naměřených dat. Výjimku tvořila kombinace přípravy povrchu smirkováním a odmaštěním svarových ploch vzorků bodově svařených při svařovacím čase 0,30 s, která v porovnání s kontrolní skupinou vedla ke statisticky významnému rozdílu variability naměřených dat. Co se týče testování rozdílu dvou výběrových průměrů (tzv. t-test) výsledek ukázal, že při svařovacím čase 0,30 s způsobuje každá jednotlivá příprava povrchu svarových ploch vzhledem ke kontrolní skupině vzorků statisticky významné zvýšení síly potřebné k porušení svarového spoje přibližně o 13 %.

Stejně jako v předchozím případě testování prokázalo, že i při svařovacím čase 0,60 s vede každá jednotlivá příprava svarových ploch ke statisticky významnému zvýšení síly potřebné k porušení svarového spoje. Nejlepšího výsledku dosahovala kombinace přípravy povrchu svarových ploch smirkováním a odmaštěním, kdy bylo zaznamenáno procentní zvýšení sledované síly o 7,7 % a průměrné hodnoty dané síly 9 642 N.

Při svařovacím čase 1,30 s došlo vzhledem ke kontrolní skupině ke statisticky významnému zvýšení síly nutné k porušení svarového spoje v případě vzorků s odmaštěným povrchem a vzorků se smirkovaným a odmaštěným povrchem. Naopak u vzorků s tryskaným a odmaštěným povrchem nebylo prokázáno významné zvýšení sledované síly. Nejlepšího výsledku dosahovala skupina vzorků se smirkovaným a odmaštěným povrchem, kdy bylo naměřeno zvýšení o 7,8 % a průměrná hodnota 10 350 N.

Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že příprava povrchu má významný vliv nejen na velikost síly potřebné k porušení svarového spoje, ale i na růst nákladů spojených s jeho výrobou. Přičemž změna nákladů je několika násobně vyšší než změna velikosti síly nutné k porušení spoje. Náklady významně ovlivňuje svařovací čas, který určuje kadenci svařovacích kleští. Jeho zvyšování do určité hodnoty vede k růstu únosnosti spoje, avšak daný fakt je doprovázen neúměrným růstem nákladů na výrobu spoje. Je-li požadována maximální únosnost spoje, je zvýšení nákladů opodstatněné. Pokud ne, je třeba se zamyslet nad volbou těchto parametrů.

Citovaná literatura

- [1] WEMAN, Klas. *Welding processes handbook*. 1st ed. Oxford: Woodhead Publishing, 2003, 193 s. Woodhead Publishing in materials. ISBN 1-85573-689-6.
- [2] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975, 265 s. Řada strojírenské literatury.
- [3] MESSLER, Robert. *Principles of welding: processes, physics, chemistry, and metallurgy*. Weinheim: Wiley-VCH, 2004, 662 s. ISBN 04-712-5376-6.
- [4] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [5] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 607 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [6] KOVAŘÍK, Rudolf. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 186 s. ISBN 978-80-7082-697-3.
- [7] O'BRIEN, Annette, ed. *Welding handbook: welding processes, part 2*. 9. ed. Miami, FL: American Welding Society, 2007, 624 s. ISBN 978-087-1710-536.
- [8] ZHANG, Hongyan a Jacek SENKARA. *Resistance welding: fundamentals and applications*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012, 436 s. ISBN 978-143-9853-719.
- [9] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 265 s.
- [10] KUNCIPÁL, Josef, Václav PILOUS a Jiří DUNOVSKÝ. *Nové technologie ve svařování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 291 s.
- [11] BLAŠČÍK, František. *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarania: celoštátna vysokoškolská učebnica pre stroj. fak. vys. škôl*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1988, 830 s.
- [12] ČSN 05 0003. *Zváranie. Odporové Zváranie. Základné pojmy*. Praha: Český normalizační institut, 1992.

- [13] Cross section of electrical spot welding configuration/process. *Diagrams.org: the world of diagrams* [online]. 2004 [cit. 2017-11-01]. Dostupné z: <http://diagrams.org/fig-pages/f00010.html>
- [14] KUNCIPÁL, Josef, Václav PILOUS a František PYTLÍK. *Svařování pro konstruktéry a technology*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 356 s.
- [15] KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka*. Vyd. 1. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-718-3054-2.
- [16] ČSN EN ISO 10447. *Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [17] JENNEY, Cynthia L., ed. a Annette O'BRIEN, ed. *Welding handbook: welding science and technologyology*. 9. ed. Miami, FL: American Welding Society, 2001, 872 s. ISBN 08-717-1657-7.
- [18] ČSN EN ISO 14273. *Odporové svařování – Destruktivní zkoušky svarů – Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [19] ŠTORKÁN, Zdeněk. Problematika hodnocení svarových spojů. In: *Časopis KONSTRUKCE* [online]. 2014 [cit. 2018-03-29].
- [20] ČSN EN ISO 17639. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [21] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení: nauka o materiálu IV*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 169 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [22] BERNÁSOVÁ, Eva et al. *Svařování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988, 199 s.
- [23] ČSN EN ISO 3452-1. *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [24] Introduction to Nondestructive Testing. *The American Society For Nondestructive Testing* [online]. 2017 [cit. 2017-12-3]. Dostupné z: <https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT.aspx>

- [25] Ultrasonic Testing (UT). *Advanced Technology Group* [online]. [cit. 2018-12-4]. Dostupné z: <http://www.atg.cz/ndt-121&display=UT?language=en>
- [26] Pásová bruska Einhell Blue BT-US 400. *KASA.cz* [online]. c1999–2017 [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <https://www.kasa.cz/pasova-bruska-einhell-blue-bt-us-400/>
- [27] Pneumatická tryskací zařízení. 1. *Toušeňská s.r.o.* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <https://www.1tousenska.cz/vyroba.php?sub=1&podr=1>
- [28] Návod k použití tryskacích kabin. *Tryskání a pískování. GDS.cz* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: http://tryskani-piskovani.gds.cz/public/default/userfiles/file/gds_profiboxy_navod.pdf
- [29] SEDLÁČEK, Alexander. Nekomové tryskací prostředky. *Povrcháři* [online]. 2010, (10), 9–12 [cit. 2018-01-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201010_povrchari.pdf
- [30] Přírodní granát pro řezání vodním paprskem. *ABRANOVA, s.r.o* [online]. 2018 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <http://abranova.cz/prirodni-granat-pro-rezani-vodnim-paprskem>
- [31] BÍLKOVÁ, Diana, Petr BUDINSKÝ a Václav VOHÁNKA. *Pravděpodobnost a statistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2009, 639 s. ISBN 978-80-7380-224-0.
- [32] ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. 2. opr. vyd. Praha: Matfyzpress, 2007, 357 s. ISBN 80-737-8001-1.

Seznam obrázků

OBR. 1 ZÁKLADNÍ DRUHY ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ [4]	6
OBR. 2 HLAVNÍ DRUHY BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ [2]	7
OBR. 3 ZVLÁŠTNÍ METODY BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ [2].....	7
OBR. 4 SLOŽKY CELKOVÉHO ELEKTRICKÉHO ODPORU PŘI BODOVÉM SVAŘOVÁNÍ [8]	9
OBR. 5 VELIKOST ELEKTRICKÉHO ODPORU V JEDNOTLIVÝCH MÍSTECH SOUSTAVY [10]	10
OBR. 6 ŘEŠENÍ TEPELNÉ NEROVNOVÁHY VE SVARU [2]	13
OBR. 7 VODNÍ CHLAZENÍ ELEKTROD [13].....	16
OBR. 8 PRINCIP ŠVOVÉHO SVAŘOVÁNÍ [1]	17
OBR. 9 PRINCIP VÝSTUPKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ [1].....	18
OBR. 10 STYKOVÉ STLAČOVACÍ SVAŘOVÁNÍ [1]	19
OBR. 11 STYKOVÉ ODTAVOVACÍ SVAŘOVÁNÍ [15]	19
OBR. 12 ZPŮSOBY PORUŠENÍ CELISTVOSTI SOUČÁSTI [7].....	22
OBR. 13 TVAR ZKOUŠENÉ SOUČÁSTI PŘI KŘÍŽOVÉ ZKOUŠCE [17].....	23
OBR. 14 TVAR ZKOUŠENÉ SOUČÁSTI PŘI U-ZKOUŠCE [17].....	23
OBR. 15 ODMAŠTĚNÝ PLECH	28
OBR. 16 SMIRKOVANÝ PLECH.....	28
OBR. 17 PÁSOVÁ BRUSKA EINHELL BT-US 400 [26]	29
OBR. 18 TRYSKANÝ PLECH	29
OBR. 19 TRYSKACÍ KABINA ITB 65.....	30
OBR. 20 SVAŘOVACÍ KLEŠTĚ BV 2.5.21	33
OBR. 21 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA QX 12.1.....	33
OBR. 22 VZOREK SVAROVÉHO SPOJE	34
OBR. 23 VELIKOST TEPELNĚ OVLIVNĚNÉ OBLASTI V ZÁVISLOSTI NA SVAŘOVACÍM ČASE.....	34
OBR. 24 UPNUTÍ VZORKU SVAROVÉHO SPOJE MEZI ČELISTI ZKUŠEBNÍHO STROJE	35
OBR. 25 PORUŠENÍ SVAROVÉ ČOČKY	36
OBR. 26 PORUŠENÍ ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU V MÍSTĚ TEPELNĚ OVLIVNĚNÉ OBLASTI.....	36
OBR. 27 GRAF ZÁVISLOSTI SÍLY POTŘEBNÉ K PORUŠENÍ SPOJE NA SVAŘOVACÍM ČASE PRO VZORKY S NEUPRAVENÝM POVRCHEM	40
OBR. 28 GRAF ZÁVISLOSTI SÍLY POTŘEBNÉ K PORUŠENÍ SPOJE NA SVAŘOVACÍM ČASE PRO VZORKY S ODMAŠTĚNÝM POVRCHEM	42

OBR. 29 GRAF ZÁVISLOSTI SÍLY POTŘEBNÉ K PORUŠENÍ SPOJE NA SVAŘOVACÍM ČASE PRO VZORKY SE SMIRKOVANÝM A ODMAŠTĚNÝM POVRCHEM	43
OBR. 30 GRAF ZÁVISLOSTI SÍLY POTŘEBNÉ K PORUŠENÍ SPOJE NA SVAŘOVACÍM ČASE PRO VZORKY S TRYSKANÝM A ODMAŠTĚNÝM POVRCHEM	45
OBR. 31 GRAF SOUHRNNÉHO POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PŘI SVAŘOVACÍM ČASE 0,30 s	46
OBR. 32 GRAF SOUHRNNÉHO POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PŘI SVAŘOVACÍM ČASE 0,60 s	47
OBR. 33 GRAF SOUHRNNÉHO POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PŘI SVAŘOVACÍM ČASE 1,30 s	48
OBR. 34 GRAF SOUHRNNÉHO HODNOCENÍ NÁKLADŮ PŘI SVAŘOVACÍM ČASE 0,30 s	53
OBR. 35 GRAF SOUHRNNÉHO HODNOCENÍ NÁKLADŮ PŘI SVAŘOVACÍM ČASE 0,60 s	54
OBR. 36 GRAF SOUHRNNÉHO HODNOCENÍ NÁKLADŮ PŘI SVAŘOVACÍM ČASE 1,30 s	55

Seznam tabulek

TAB. 1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI TRYSKACÍHO PROSTŘEDKU GRANÁT MESH 80 [30]	31
TAB. 2 NAMĚŘENÉ HODNOTY DRSNOSTI	32
TAB. 3 VÝSLEDKY EXPERIMENTU PRO VZORKY S POVRCHEM BEZ PŘÍPRAVY	41
TAB. 4 VÝSLEDKY EXPERIMENTU PRO VZORKY S ODMAŠTĚNÝM POVRCHEM	42
TAB. 5 VÝSLEDKY EXPERIMENTU PRO VZORKY SE SMIRKOVANÝM A ODMAŠTĚNÝM POVRCHEM	44
TAB. 6 VÝSLEDKY EXPERIMENTU PRO VZORKY S TRYSKANÝM A ODMAŠTĚNÝM POVRCHEM	45
TAB. 7 CELKOVÉ NÁKLADY	52

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1: NAMĚŘENÁ DATA – SKUPINA VZORKŮ Č. 1 – BEZ PŘÍPRAVY POVRCHU	1
PŘÍLOHA 2: NAMĚŘENÁ DATA – SKUPINA VZORKŮ Č. 2 – PŘÍPRAVA ODMAŠTĚNÍM POVRCHU	3
PŘÍLOHA 3: NAMĚŘENÁ DATA – SKUPINA VZORKŮ Č. 3 – PŘÍPRAVA POVRCHU SMIRKOVÁNÍM A ODMAŠTĚNÍM ...	5
PŘÍLOHA 4: NAMĚŘENÁ DATA – SKUPINA VZORKŮ Č. 4 – PŘÍPRAVA POVRCHU TRYSKÁNÍM A ODMAŠTĚNÍM	7

Příloha 1: Naměřená data – skupina vzorků č. 1 – bez přípravy povrchu

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH[N]	Porušení
1	15.12.17	8:07	12	1	9629,7	Plech
2	15.12.17	8:14	12	2	9809,4	Plech
3	15.12.17	8:17	12	3	9901,6	Plech
4	15.12.17	8:20	12	4	9853,15	Plech
5	15.12.17	8:23	12	5	9338,1	Plech
6	15.12.17	8:26	12	6	9183,95	Plech
7	15.12.17	8:31	11	1	9573,2	Plech
8	15.12.17	8:33	11	2	9519,75	Plech
9	15.12.17	8:37	11	3	9681,75	Plech
10	15.12.17	8:40	11	4	10042,3	Plech
11	15.12.17	8:43	11	5	9541,35	Plech
12	15.12.17	8:46	11	6	9282,15	Plech
13	15.12.17	8:50	10	1	10059,2	Plech
14	15.12.17	8:54	10	2	9426,15	Plech
15	15.12.17	8:57	10	3	9262,5	Plech
16	15.12.17	8:59	10	4	9759,8	Plech
17	15.12.17	9:03	10	5	9678,15	Plech
18	15.12.17	9:05	10	6	9452,75	Plech
19	15.12.17	9:14	9	1	9461,35	Plech
20	15.12.17	9:17	9	2	9121,85	Plech
21	15.12.17	9:20	9	3	9295,45	Plech
22	15.12.17	9:22	9	4	9268,3	Plech
23	15.12.17	9:25	9	5	9803,6	Plech
24	15.12.17	9:27	9	6	9384,05	Plech
25	15.12.17	9:31	8	1	9904,9	Plech
26	15.12.17	9:34	8	2	9467,7	Plech
27	15.12.17	9:37	8	3	9561,05	Plech
28	15.12.17	9:39	8	4	9832,1	Plech
29	15.12.17	9:42	8	5	9385,2	Plech
30	15.12.17	9:45	8	6	9582,35	Plech
31	15.12.17	9:56	7	1	9003,05	Plech
32	15.12.17	9:59	7	2	8764,35	Plech
33	15.12.17	10:02	7	3	8889,55	Plech
34	15.12.17	10:04	7	4	9157,3	Plech
35	15.12.17	10:07	7	5	9083,65	Plech
36	15.12.17	10:09	7	6	8794	Plech
37	15.12.17	10:13	6	1	8607,35	Plech
38	15.12.17	10:15	6	2	8654,15	Čočka
39	15.12.17	10:18	6	3	8334,55	Plech
40	15.12.17	10:22	6	4	8598,75	Plech
41	15.12.17	10:24	6	5	8989,75	Plech

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH[N]	Porušení
42	15.12.17	10:27	6	6	7688	Čočka
43	15.12.17	10:29	5	1	7760,6	Plech
44	15.12.17	10:32	5	2	7485,05	Čočka
45	15.12.17	10:33	5	3	6970,8	Čočka
46	15.12.17	10:35	5	4	7009,3	Čočka
47	15.12.17	10:37	5	5	7128,95	Čočka
48	15.12.17	10:38	5	6	7884,9	Plech
49	15.12.17	10:42	4	1	7408,6	Plech
50	15.12.17	10:46	4	2	6689,75	Čočka
51	15.12.17	10:48	4	3	6561,55	Čočka
52	15.12.17	10:49	4	4	7903,15	Plech
53	15.12.17	10:51	4	5	8081,8	Plech
54	15.12.17	10:53	4	6	7881,3	Plech
55	15.12.17	10:59	3	1	7654,8	Plech
56	15.12.17	11:01	3	2	7451,25	Plech
57	15.12.17	11:05	3	3	7565,05	Plech
58	15.12.17	11:07	3	4	7741,2	Plech
59	15.12.17	11:08	3	5	7647	Plech
60	15.12.17	11:10	3	6	7079,9	Plech
61	15.12.17	11:15	2	1	5970,05	Čočka
62	15.12.17	11:17	2	2	6208,2	Čočka
63	15.12.17	11:18	2	3	6870,6	Plech
64	15.12.17	11:19	2	4	6162,25	Čočka
65	15.12.17	11:21	2	5	4989,8	Čočka
66	15.12.17	11:22	2	6	5155,95	Čočka
67	15.12.17	11:24	1	1	3490,4	Čočka
68	15.12.17	11:25	1	2	3863,35	Čočka
69	15.12.17	11:26	1	3	3477,9	Čočka
70	15.12.17	11:28	1	4	3338,05	Čočka
71	15.12.17	11:29	1	5	3805,2	Čočka
72	15.12.17	11:30	1	6	3482,3	Čočka

Příloha 2: Naměřená data – skupina vzorků č. 2 – příprava odmaštěním povrchu

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH [N]	Porušení
1	27.11.17	8:02	12	1	10602,9	Plech
2	27.11.17	8:08	12	2	10435,6	Plech
3	27.11.17	8:13	12	3	10655,5	Plech
4	27.11.17	8:19	12	4	9886,05	Plech
5	27.11.17	8:30	12	5	10126,4	Plech
6	27.11.17	8:34	12	6	10153,5	Plech
7	27.11.17	8:40	11	1	9993,4	Plech
8	27.11.17	8:44	11	2	9697,45	Plech
9	27.11.17	8:51	11	3	10055,4	Plech
10	27.11.17	8:55	11	4	10055,2	Plech
11	27.11.17	9:01	11	5	9995,6	Plech
12	27.11.17	9:05	11	6	9328,85	Plech
13	27.11.17	9:12	10	1	9990,05	Plech
14	27.11.17	9:16	10	2	10408,2	Plech
15	27.11.17	9:21	10	3	10224,7	Plech
16	27.11.17	9:25	10	4	10214,9	Plech
17	27.11.17	9:29	10	5	9969,05	Plech
18	27.11.17	9:35	10	6	9804,25	Plech
19	27.11.17	9:42	9	1	9390,6	Plech
20	27.11.17	9:47	9	2	7793,4	Plech
21	27.11.17	9:52	9	3	9697,1	Plech
22	27.11.17	9:56	9	4	9867,95	Plech
23	27.11.17	10:00	9	5	9786,8	Plech
24	27.11.17	10:03	9	6	9943	Plech
25	27.11.17	10:15	8	1	9906,2	Plech
26	27.11.17	10:24	8	2	9206,5	Plech
27	27.11.17	10:29	8	3	9536,5	Plech
28	27.11.17	10:34	8	4	9436,3	Plech
29	27.11.17	10:37	8	5	9133,65	Plech
30	27.11.17	10:41	8	6	9556,7	Plech
31	27.11.17	10:47	7	1	9427,4	Plech
32	27.11.17	10:52	7	2	9487,5	Plech
33	27.11.17	10:56	7	3	9254,05	Plech
34	27.11.17	11:00	7	4	8968,05	Plech
35	27.11.17	11:03	7	5	9607,15	Plech
36	27.11.17	11:08	7	6	9507,95	Plech
37	27.11.17	11:17	6	1	8587,8	Plech
38	27.11.17	11:20	6	2	8498,1	Plech
39	27.11.17	11:29	6	3	8436,95	Plech
40	27.11.17	11:39	6	4	8899,85	Plech
41	27.11.17	11:42	6	5	9241,3	Plech

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH [N]	Porušení
42	27.11.17	11:46	6	6	8699,7	Plech
43	27.11.17	11:56	5	1	8370,15	Plech
44	27.11.17	12:00	5	2	7990,2	Čočka
45	27.11.17	12:03	5	3	8117,9	Plech
46	27.11.17	12:07	5	4	8344,1	Plech
47	27.11.17	12:09	5	5	8563,45	Plech
48	27.11.17	12:14	5	6	8434,65	Plech
49	27.11.17	12:24	4	1	7127,65	Čočka
50	27.11.17	12:27	4	2	7235,9	Čočka
51	27.11.17	12:29	4	3	8314,2	Plech
52	27.11.17	12:32	4	4	8068,85	Plech
53	27.11.17	12:36	4	5	6670,75	Čočka
54	27.11.17	12:39	4	6	6766,85	Čočka
55	27.11.17	12:42	3	1	6534,5	Čočka
56	27.11.17	12:48	3	2	5778,25	Čočka
57	27.11.17	12:53	3	3	5696,55	Čočka
58	27.11.17	13:01	3	4	5895,15	Čočka
59	27.11.17	13:03	3	5	6231,3	Čočka
60	27.11.17	13:05	3	6	5883,2	Čočka
61	27.11.17	13:07	2	1	4829,3	Čočka
62	27.11.17	13:12	2	2	4721,85	Čočka
63	27.11.17	13:14	2	3	4459,3	Čočka
64	27.11.17	13:16	2	4	4826,2	Čočka
65	27.11.17	13:17	2	5	4851,45	Čočka
66	27.11.17	13:19	2	6	5065,2	Čočka
67	27.11.17	13:22	1	1	3906,1	Čočka
68	27.11.17	13:25	1	2	3517,55	Čočka
69	27.11.17	13:27	1	3	3556,05	Čočka
70	27.11.17	13:28	1	4	3549,15	Čočka
71	27.11.17	13:30	1	5	3782,55	Čočka
72	27.11.17	13:31	1	6	3473,55	Čočka

Příloha 3: Naměřená data – skupina vzorků č. 3 – příprava povrchu smirkováním a odmaštěním

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH [N]	Porušení
1	04.12.17	8:09	12	6	9731,65	Plech
2	04.12.17	8:17	12	1	10425,6	Plech
3	04.12.17	8:21	12	2	10476,5	Plech
4	04.12.17	8:26	12	3	10345,8	Plech
5	04.12.17	8:30	12	4	10458,5	Plech
6	04.12.17	8:34	12	5	10121,8	Plech
7	04.12.17	8:40	11	1	10006,3	Plech
8	04.12.17	8:44	11	2	9618,1	Plech
9	04.12.17	8:49	11	3	10397,9	Plech
10	04.12.17	8:54	11	4	9653	Plech
11	04.12.17	8:58	11	5	10186,6	Plech
12	04.12.17	9:03	11	6	10619,4	Plech
13	04.12.17	9:09	10	1	10111,6	Plech
14	04.12.17	9:13	10	2	10436,9	Plech
15	04.12.17	9:17	10	3	10251,1	Plech
16	04.12.17	9:21	10	4	10539,7	Plech
17	04.12.17	9:25	10	5	10319	Plech
18	04.12.17	9:28	10	6	10440	Plech
19	04.12.17	9:35	9	1	10277,2	Plech
20	04.12.17	9:40	9	2	10374,7	Plech
21	04.12.17	9:44	9	3	10375,2	Plech
22	04.12.17	9:48	9	4	10445,2	Plech
23	04.12.17	9:52	9	5	10296	Plech
24	04.12.17	9:56	9	6	10289,6	Plech
25	04.12.17	10:06	8	1	10377,4	Plech
26	04.12.17	10:10	8	2	10277,4	Plech
27	04.12.17	10:15	8	3	10261,4	Plech
28	04.12.17	10:18	8	4	9959,8	Plech
29	04.12.17	10:21	8	5	10042,6	Plech
30	04.12.17	10:24	8	6	10223,1	Plech
31	04.12.17	10:32	7	1	10058,7	Plech
32	04.12.17	10:35	7	2	9430,6	Plech
33	04.12.17	10:38	7	3	9376,6	Plech
34	04.12.17	10:41	7	4	9854,55	Plech
35	04.12.17	10:44	7	5	9686,5	Plech
36	04.12.17	10:47	7	6	9445,05	Plech
37	04.12.17	10:56	6	1	9101,9	Plech
38	04.12.17	10:59	6	2	9383,8	Plech
39	04.12.17	11:01	6	3	9339,2	Plech
40	04.12.17	11:04	6	4	9065,6	Plech
41	04.12.17	11:07	6	5	9348,1	Plech

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH [N]	Porušení
42	04.12.17	11:09	6	6	9177,2	Plech
43	04.12.17	11:13	5	1	8367,5	Plech
44	04.12.17	11:15	5	2	8289,75	Plech
45	04.12.17	11:17	5	3	8437,9	Plech
46	04.12.17	11:20	5	4	8380,55	Plech
47	04.12.17	11:22	5	5	8043,85	Plech
48	04.12.17	11:24	5	6	8462,25	Plech
49	04.12.17	11:28	4	1	7586,15	Plech
50	04.12.17	11:30	4	2	8149,35	Plech
51	04.12.17	11:32	4	3	8174,8	Plech
52	04.12.17	11:34	4	4	8078,4	Plech
53	04.12.17	11:36	4	5	8060,15	Plech
54	04.12.17	11:38	4	6	8440,35	Plech
55	04.12.17	11:41	3	1	7786,3	Plech
56	04.12.17	11:43	3	2	7719,8	Plech
57	04.12.17	11:45	3	3	7835,25	Plech
58	04.12.17	11:47	3	4	7800,1	Plech
59	04.12.17	11:49	3	5	7732,8	Plech
60	04.12.17	11:50	3	6	7844,2	Plech
61	04.12.17	11:53	2	1	5787,5	Čočka
62	04.12.17	11:55	2	2	5749,85	Čočka
63	04.12.17	12:00	2	3	5424,75	Čočka
64	04.12.17	12:01	2	4	7130	Plech
65	04.12.17	12:03	2	5	5696,4	Čočka
66	04.12.17	12:04	2	6	5941,7	Čočka
67	04.12.17	12:07	1	1	4118,8	Čočka
68	04.12.17	12:09	1	2	4353,9	Čočka
69	04.12.17	12:10	1	3	4118,8	Čočka
70	04.12.17	12:11	1	4	4362,75	Čočka
71	04.12.17	12:13	1	5	4129,85	Čočka
72	04.12.17	12:14	1	6	3777,05	Čočka

Příloha 4: Naměřená data – skupina vzorků č. 4 – příprava povrchu tryskáním a odmaštěním

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH[N]	Porušení
1	05.01.18	7:09	12	1	10217,1	Plech
2	05.01.18	7:13	12	2	9479,7	Plech
3	05.01.18	7:17	12	3	9469,5	Plech
4	05.01.18	7:20	12	4	10239,3	Plech
5	05.01.18	7:23	12	5	9825,55	Plech
6	05.01.18	7:25	12	6	9145,45	Plech
7	05.01.18	7:30	11	1	10089,2	Plech
8	05.01.18	7:32	11	2	9459,8	Plech
9	05.01.18	7:34	11	3	9631,15	Plech
10	05.01.18	7:37	11	4	10373,1	Plech
11	05.01.18	7:39	11	5	9627,9	Plech
12	05.01.18	7:42	11	6	9718,15	Plech
13	05.01.18	7:46	10	1	10244	Plech
14	05.01.18	7:48	10	2	9430,2	Plech
15	05.01.18	7:50	10	3	9583,85	Plech
16	05.01.18	7:53	10	4	9184,8	Plech
17	05.01.18	7:55	10	5	9095,95	Plech
18	05.01.18	7:58	10	6	9724,2	Plech
19	05.01.18	8:02	9	1	9467,5	Plech
20	05.01.18	8:04	9	2	9959,05	Plech
21	05.01.18	8:06	9	3	9806,55	Plech
22	05.01.18	8:09	9	4	9412,45	Plech
23	05.01.18	8:11	9	5	9645,3	Plech
24	05.01.18	8:14	9	6	9598,5	Plech
25	05.01.18	8:18	8	1	9339,3	Plech
26	05.01.18	8:21	8	2	9420,2	Plech
27	05.01.18	8:23	8	3	10209,4	Plech
28	05.01.18	8:26	8	4	9714,55	Plech
29	05.01.18	8:29	8	5	9994,45	Plech
30	05.01.18	8:32	8	6	9798,4	Plech
31	05.01.18	8:35	7	1	9867,9	Plech
32	05.01.18	8:37	7	2	9717	Plech
33	05.01.18	8:40	7	3	9569,4	Plech
34	05.01.18	8:42	7	4	9348,7	Plech
35	05.01.18	8:45	7	5	8914,8	Plech
36	05.01.18	8:47	7	6	9398	Plech
37	05.01.18	8:51	6	1	8984,85	Plech
38	05.01.18	8:53	6	2	9752,15	Plech
39	05.01.18	8:55	6	3	8797,7	Plech
40	05.01.18	8:58	6	4	8974,9	Plech
41	05.01.18	9:01	6	5	8986,25	Plech

N	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	FH[N]	Porušení
42	05.01.18	9:03	6	6	9189,5	Plech
43	05.01.18	9:10	5	1	8635,15	Plech
44	05.01.18	9:13	5	2	8385,35	Plech
45	05.01.18	9:15	5	3	8243,6	Čočka
46	05.01.18	9:17	5	4	8104,6	Plech
47	05.01.18	9:20	5	5	8212,8	Plech
48	05.01.18	9:23	5	6	8251,9	Plech
49	05.01.18	9:26	4	1	8095,7	Plech
50	05.01.18	9:28	4	2	7934,05	Plech
51	05.01.18	9:30	4	3	8412,5	Plech
52	05.01.18	9:31	4	4	8183,2	Plech
53	05.01.18	9:33	4	5	8744,5	Plech
54	05.01.18	9:34	4	6	8361	Čočka
55	05.01.18	9:37	3	1	7600,85	Plech
56	05.01.18	9:40	3	2	7757,05	Plech
57	05.01.18	9:41	3	3	7587,85	Plech
58	05.01.18	9:43	3	4	7714,65	Plech
59	05.01.18	9:45	3	5	7669,55	Čočka
60	05.01.18	9:46	3	6	8060	Čočka
61	05.01.18	9:48	2	1	6123	Čočka
62	05.01.18	9:50	2	2	6708,9	Čočka
63	05.01.18	9:51	2	3	6008,9	Čočka
64	05.01.18	9:52	2	4	5892,05	Plech
65	05.01.18	9:53	2	5	5957,7	Čočka
66	05.01.18	9:54	2	6	7518,35	Čočka
67	05.01.18	9:58	1	1	3318,15	Čočka
68	05.01.18	9:59	1	2	3419,5	Čočka
69	05.01.18	9:59	1	3	3471,3	Čočka
70	05.01.18	10:00	1	4	3253,9	Čočka
71	05.01.18	10:01	1	5	3162	Čočka
72	05.01.18	10:02	1	6	3598,4	Čočka