TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI CHLAZENÍ ELEKTRODOVÝCH ČEPIČEK U BODOVÉHO ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ.

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály

Autor práce: Bc. Petr Žilla
Vedoucí práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.

Liberec 2015

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Listr originálního zadání

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 25.5.2015

Podpis: ……..

ZVÝŠENÍ ÚČINNSOTI CHLAZENÍ ELEKTRODOVÝCH ČEPIČEK PRO ODPOROVÉ BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením životnosti elektrod při bodovém odporovém svařování. Práce obsahuje dvě části, a to teoretickou a experimentální. V teoretické části je popsána všeobecná metodika odporového svařování. Experimentální část popisuje realizaci bodového svařování pozinkovaných ocelových plechů a vliv chování elektrod při různém způsobu chlazení. Pro posouzení životnosti elektrod byly provedeny srovnávací testy. Nejprve byly elektrody chlazeny klasickým způsobem s uzavřeným systémem chlazením a po té byly chlazeny pomocí kapalného oxidu uhličitého.

Klíčová slova:

Odporové svařování, bodové odporové svařování, pozinkovaný plech, kapalný oxid uhličitý, svařovací parametry (svařovací proud, svařovací čas, svařovací síla), chlazení elektrod.

INCREASE THE COOLING EFFICIENCY OF THE ELECTRODE CAPS OF RESISTANCE WELDING

Annoation:

This thesis deals with the evaluation lifetime electrodes in case of resistance spot welding. The work contains of two parts: theoretical and experimental part. The theoretical one describes the general methodology in case of resistance spot welding. The experimental one describes the realization of spot welding with galvanized sheets. Also, it deals with behavior of electrodes with different cooling methods. There were performed comparative trials to asses the electrode lifetime. The electode were firstly cooled by conventional manner with closed cooling system. Afterwards, they were cooled by liquid carbon dioxide.

Keywords:

Resistance welding,resistance spot welding, galvanized sheet, liquid carbon dioxide, welding parameters (welding current, welding time, welding power), electrode cooling.

Poděkování

Cítím povinnost poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Heinzu Neumannovi CSc., který mi přispěl velmi cennými rady a odbornými poznatky jak v teoretické, tak i v experimentální části mé diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval celé své rodině a přátelům za jejich podporu a trpělivost, kterých se mi dostávalo po celou dobu mého studia na TU v Liberci.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21005/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

OBSAH

Obsah 6
Seznam použitých zkratek a symbolů 8
1. ÚVOD 10
2. TEORETICKÁ ČÁST 11
3. CHARAKTERISTIKA A METODY ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ 11
3.1 Bodové odporové svařování 13
3.1.1 Druhy bodového svařování 14
3.2 Švové odporové svařování 15
3.3 Výstupkové odporové svařování 16
3.4 Stykové odporové svařování 17
3.5 Svařovací stroje odporového svařování 18
4. ZÁKLADY TEORIE BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ 19
4.1 Svařovací parametry 20
4.2 Svařovací režim 21
4.3 Svařovací cyklus 22
4.4 Geometrie bodového svaru 24
4.5 Teplotní pole při bodovém svařování 25
4.6 Deformační procesy při odporovém bodovém svařování 28
5. ELEKTRODY 29
5.1 Velikost špiček elektrod 31
5.2 Životnost elektrody 32
5.3 Chlazení elektrod 33
5.3.1 Chlazení elektrod pomocí oxidu uhličitého 34
6. KVALITA BODOVÉHO SVARU 36
7. DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY 37
7.1 Zkouška střihem 37
7.2 Zkouška krutem 40
7.3 Odlupovací zkouška 41
7.4 Sekáčová zkouška 43
7.5 Metalografická zkouška 44

8. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY 44
8.1 Vizuální kontrola 45
8.2 Kontrola ultrazvukem 45
9. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST 49
10. METODIKA A HODNOCENÍ ZKOUŠEK ŽIVOTNOSTI 51
10.1 Charakteristika základního materiálu 52
10.2 Svařovací parametry při zkoušení vzorků 53
10.3 Postup zkoušky 54
11. POPIS REALIZACE EXPERIMENTŮ 57
11.1 Zkoušky životnosti elektrodových čepiček při centrálním chlazení 58
11.2 Zkoušky životnosti elektrodových čepiček - chlazení pomocí kapalného CO_2 72
11.3 Zkoušky životnosti elektrodových čepiček při chlazení pomocí vody 78
11.4 Porovnání a zhodnocení výsledků jednotlivých experimentů 82
12. ZÁVĚR 84
13. LITERATURA 86
14. SEZNAM PŘÍLOH 89

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka:	Popis:	Jednotka:
Q …	Celkové množství tepla vyvinutého pří průchodu elektrického proudu	[J]
I…	Svařovací elektrický proud	[A]
R…	Elektrický odpor	[Ω]
t…	Svařovací čas (doba průchodu proudu)	[s]
T…	Teplota	[K]
U…	Napětí	[V]
R_1…	Přechodový odpor mezi vrchní součástí a elektrodou	[Ω]
R_2...	Měrný elektrický odpor vrchní součásti (plechu)	[Ω]
R_3…	Přechodový odpor mezi spojovanými součástmi	[Ω]
R_4…	Měrný elektrický odpor spodní součásti (plechu)	[Ω]
R_5…	Přechodový odpor mezi spodní součástí a elektrodou	[Ω]
Ps…	Přítlačná síla	[N]
S…	Tloušťka materiálu	[mm]
d_e…	Průměr elektrody	[mm]
d_s…	Průměr svaru	[mm]
d_c…	Průměr tepelně zbarvené oblasti	[mm]
d_{el}…	Průměr vtisku elektrody ve spodním plechu	[mm]
d_{eu}…	Průměr vtisku elektrody v horním plechu	[mm]
d_{HAZ}…	Průměr tepelně ovlivněné oblasti	[mm]
d_n…	Průměr svarové čočky	[mm]
e_i…	Hloubka vtisku elektrody ve spodním plechu	[mm]
e_u…	Hloubka vtisku elektrody v horním plechu	[mm]
$p_{HAZ\ I}$…	Průnik tepelně ovlivněné oblasti ve spodním plechu	[mm]
$p_{HAZ\ U}$…	Průnik tepelně ovlivněné oblasti v horním plechu	[mm]
p_I…	Průvar svarové čočky ve spodním plechu	[mm]
p_U…	Průvar svarové čočky v horním plechu	[mm]
t_I…	Tloušťka materiálu – spodní plech	[mm]
t_u…	Tloušťka materiálu – horní plech	[mm]
x…	Velikost mezery mezi plechy (a-místo měření mezery)	[mm]

k…	Součinitel závislý na druhu materiálu	[-]
t_v…	Směrodatná srovnávací tloušťka plechu	[mm]
a…	Součinitel teplotní vodivosti	[$m^2 \cdot s^{-1}$]
q_v…	Intenzita objemového zdroje tepla	[$J \cdot m^{-3} s^{-1}$]
r…	Poloměr elektrody	[mm]
c…	Měrné teplo	[$J \cdot kg^{-1} K^{-1}$]
ρ…	Hustota	[$kg \cdot m^{-3}$]
d…	Průměr pracovní plochy elektrody	[mm]
d_p…	Průměr vytržené části svaru (porušení vytržením)	[mm]
d_s…	Střední hodnota svaru	[mm]

1. ÚVOD

Svařování je metalurgický proces zhotovování nerozebíratelných spojení dosažený působením meziatomových vazeb mezi spojovanými díly přímo, nebo pomocí přídavného materiálu při jejich ohřevu, nebo plastické deformaci, případně při společném působení ohřevu a plastické deformace. V zásadě lze tedy říci, že v souladu s normou ČSN EN 14610 – Svařování a příbuzné procesy – Definice metod svařování kovů, jsou metody systematicky uspořádány na základě fyzikálních vlastností a podle nositele energie se rozdělují:

- Tlakové svařování,
- Tavné svařování.

Požadavky kladené na svařované konstrukce a samotné svary, umožňují rozlišit několik způsobů svařování. Jedním ze způsobů je odporové svařování, jehož počátky se datují k padesátým létům 19. století, kdy byly Jamesem Joulem provedeny první experimenty, které spočívaly ve svařování svazkem drátů, pomocí tepla generovaného elektrickým proudem. Další významný rozmach této metody zaznamenáváme v roce 1925 a to především v souvislosti s rozvojem automobilového průmyslu. V současnosti je tato metoda v technické praxi velmi rozšířená a patří k vysoce produktivním způsobům svařování. Často se setkáváme s odporovým bodovým svařováním ocelových plechů.

Svařovací soustava pro odporové svařování obsahuje dvě elektrody, nebo upínací čelisti, které jsou nejčastěji vyrobeny ze slitin mědi. Dále je v soustavě obsažen svařovací materiál a svařovací transformátor, který je součástí elektrické části odporové svářečky. Celkový odpor soustavy se skládá z odporu elektrod, přechodového odporu elektroda – základní (svařovaný) materiál, odpor materiálu a z přechodového odporu, který vzniká ve stykové ploše spojovaných dílů.

Svařování elektrickým odporem je možné použít jak v kusové, tak hlavně v sériové výrobě, neboť lze snadno mechanizovat a automatizovat, což činí tuto metodu vysoce produktivní a navíc při sériové výrobě je tato metoda ekonomicky nenáročná.

Odporové svařování je jednou ze svařovacích technologií, jejíž význam a rozšíření stále vzrůstá.

2. TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části diplomové práce se zaměřím na popis odporového svařování, na jeho jednotlivé metody (bodové, švové, výstupkové, stykové). Podrobněji se budu věnovat základům teorie odporového bodového svařování, kde bude vysvětlen princip tvorby svaru v souvislosti s dílčími odpory. Obsahem této části dále budou svařovací parametry, teplotní pole, deformační pole a geometrie bodového svaru. Dalšími tématy budou elektrody, kvalita bodového svaru a popis destruktivních a nedestruktivních zkoušek svarů.

3. CHARAKTERISTIKA A METODY ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Jedná se o svařování, které v souladu s normou ČSN EN ISO 4063 patří do skupiny 2 - Odporové metody svařování.

Odporové svařování je tlakové svařování, při kterém se nezbytné teplo ke svařování vytváří elektrickým odporem při průchodu elektrického proudu v oblasti svařování. Tato definice je stanovena normou ČSN EN 14610 [5]. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 14610.

Tlakové svařování lze popsat jako způsob svařování, při kterém je zapotřebí vyvinout dostatečnou vnější sílu pro větší, nebo menší plastickou deformaci obou styčných ploch svařovaného materiálu. Obvykle se u tohoto způsobu nepoužívá přídavný materiál.

Svařování elektrickým odporem je vhodné pro většinu kovových materiálů (nelegované a legované oceli, Ni, Al), a jsou to takové materiály, které při procesu svařování procházejí v určitém teplotním rozsahu plastickým, tvárným stavem.

Rozdělení metod odporového bodového svařování je stanoveno normou ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy - přehled metod a jejich číslování (v*iz. Tabulka 3.1).* Základní typy odporového bodového svařování lze rozdělit na základě způsobu umístění spojovaných dílů:

- Svařování s přeplátováním (bodové, švové, výstupkové),
- Svařování stykové (stykové stlačením, stykové odtavením).

Tab. 3.1: Rozdělení metod odporového svařování dle ČSN EN ISO 4063.

ROZDĚLENÍ METOD SVAŘOVÁNÍ PODLE ČSN EN ISO 4063			
Skupina 2 – Odporové metody svařování podle ČSN EN ISO 4063			
Číslo metody		**Český název**	**Anglický název**
21		**Odporové bodové svařování**	Spot welding
	211	*Nepřímé bodové svařování*	Indirect spot welding
	212	*Přímé bodové svařování*	Direct spot welding
22		**Odporové švové svařování**	Seam welding
	221	*Švové svařování s přeplátováním*	Lap seam welding
	222	*Švové svařování s rozválcováním*	Mash seam welding
	225	*Stykové Švové svařování s páskem*	Foil butt-seam welding
	226	*Přeplátované švové svařování s páskem*	Seam welding with strip
23		**Odporové výstupkové svařování**	Projection welding
	231	*Nepřímé výstupkové svařování*	Indirect projection welding
	232	*Přímé výstupkové svařování*	Direct projection welding
24		**Odtavovací stykové svařování**	Flash welding
	241	*Odtavovací stykové svařování s předehřevem*	Flash welding with preheating
	242	*Odtavovací stykové svařování bez předehřevu*	Flash welding without preheating
25		**Stlačovací stykové svařování**	Resistance butt welding
26		**Odporové přivařování svorníků**	Resistance stud
27		**Vysokofrekvenční odporové svařování**	High frequency resistance welding
29		**Ostatní způsoby odporového svařování**	Other method of resistance welding

3.1 Bodové odporové svařování

Způsob odporového (tlakového) svařování, při kterém se vytváří bodový svar mezi bodovými svařovacími elektrodami; bodový svar má přibližně stejnou plochu jako čela elektrod [5].

Princip spočívá v sevření dvou přeplátovaných plechů mezi elektrody, jimiž protéká elektrický proud. Vlivem průchodu proudu vzniká odporové teplo mezi svařovanými díly, což vede k plastifikaci, nebo dochází k natavení stykových ploch základního materiálu a v místě styku svařovaných dílů, tak vzniká největší přechodový odpor. Materiál se zde zahřeje na požadovanou teplotu svařování a tlakem se spojí – svaří. Vznikající teplo – Q je dáno Joulovým zákonem (3.1).

$$Q = \int_0^{t_{svař}} R_c(t) \cdot I^2(t) \cdot dt_{svař} \qquad (3.1)$$

kde je:

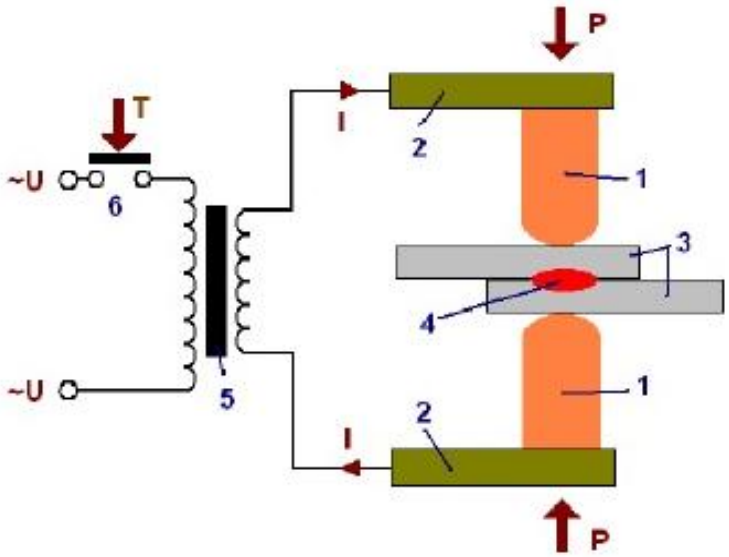
Q…	celkové množství tepla	[J]
I…	intenzita elektrického proudu	[A]
R_c…	celkový elektrický odpor v místě svaru	[Ω]
t...	svařovací čas	[s]

Při této technologii vzniká svar ve tvaru čočky při stálém působení tlaku. Při tvorbě svaru vzniká přechodový odpor na styku elektroda - plech, a přechodový odpor na vzájemném styku svařovaných dílů, kde dochází na začátku svařovacího procesu k intenzivnímu vývoji tepla. Teplo se mezi elektrodami a svařovanými díly šíří vedením a rozvádí se bezprostředně do přilehlých objemů materiálu, čímž dochází ke zvýšení teploty materiálu. Se zvyšující se teplotou materiálu nastává změna přechodového odporu a při průchodu svařovacího proudu vzniká další teplo, jehož následkem je, že původně plošný zdroj tepla se mění na objemový. Na objemovém zdroji pokračuje vývin tepla, i přestože došlo vlivem působení přítlačné síly k zániku přechodových odporů.

Přechodový odpor elektroda – plech je v podstatě nežádoucí, jelikož vede k přehřívání elektrod a tím ke snížení jejich životnosti. Proto se používají elektrody ze slitin mědi, které jednak zajistí dobrý odvod tepla a při použití vody jako chladícího média je dosažena jemná

struktura svaru a lepší mechanické vlastnosti. Dalším způsobem ochrany životnosti elektrody je kvalitně ofrézovaná dotyková plocha. Jakmile je svar proveden, nastává chladnutí svarové čočky a pomocí elektrod dochází k odvodu tepla z bodového svaru.

Odporové bodové svařování je nejvíce používanou metodou odporového svařování, při níž svařujeme plechy tloušťky 0,01 – 10 mm, lze však svařit i tlustší materiály. Princip metody bodového svařování je na obrázku 3.2.



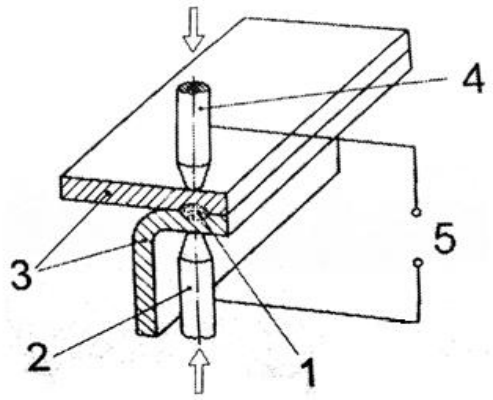
Obr. 3.2: Princip odporového bodového svařování /12/

Legenda

1… elektrody (horní - pohyblivá, dolní - pevná)
2… přítlačná ramena
3… svařované díly
4… bodový svar
5… transformátor (primární, sekundární vinutí)
6… spínač zdroje

3.1.1 Druhy bodového svařování

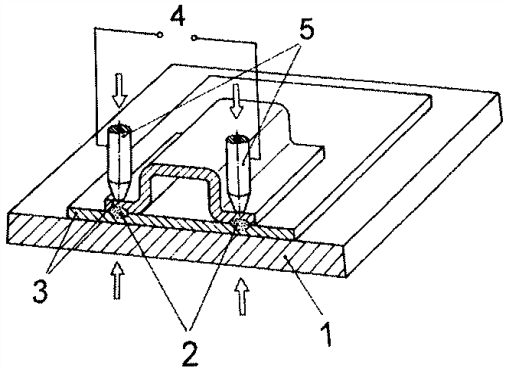
Rozeznáváme dva druhy bodového svařování – přímé a nepřímé. U přímého (Obr. 3.3) jsou elektrody umístěny na protilehlých stranách svařovaných dílů, kdežto u nepřímého (Obr. 3.4) bývají elektrody umístěné pouze na jednom svařovaném dílu, a druhý je opřen o podložku.



Legenda

1… bodový svar
2… svařovací elektroda
3 … svařovaný materiál
4… svařovací elektroda
5… zdroj proudu

Obr. 3.3: Přímé bodové svařování /5/



Legenda

1… bodový svar
2… svařovací elektroda
3 … svařovaný materiál
4… svařovací elektroda
5… zdroj proudu

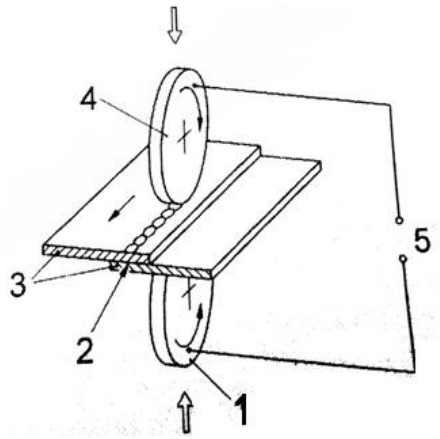
Obr. 3.4 Nepřímé bodové svařování /5/

3.2 Švové odporové svařování

Způsob odporového svařovaní, při kterém síla působí trvale a proud prochází průběžně nebo přerušovaně a vytváří řadu překrytých bodových svarů; svařované materiály jsou umístěny mezi kotoučovými elektrodami nebo mezi kotoučovou elektrodou a elektrodou ve tvaru tyče [5].

Jedná se o metodu dosti podobnou bodovému svařování, ale zásadní rozdíl je v tom, že elektrody jsou otočné a mají tvar kotouče. Tuto metodou lze použít jak na svary přeplátovaných plechů, tak i na svary tupých spojů. Nejznámější je výroba švově svařovaných trub. S ohledem na charakter styku kotoučových elektrod se svařovanými díly se švové svařování používá pro plechy s tloušťkou 0,5 až 3,5 mm. Technologie je plně automatizována a dosahuje se při ní velkých svařovacích rychlostí.

Princip spočívá v sevření svařovaných dílů pomocí elektrod ve tvaru kotouče (kladek), jimiž prochází proud a pod nimiž se plechy odvalují. Velikost svarové čočky je dána šířkou elektrod. Princip metody je na obr. 3.5.



Legenda

1… kotoučová elektroda
2… svar
3… svařované materiály
4… kotoučová elektroda
5… zdroj proudu

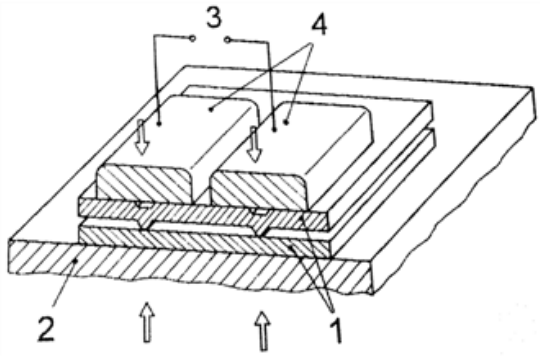
Obr. 3.5: Švové svařování s přeplátováním /5/

3.3 Výstupkové odporové svařování

Způsob odporového svařování, při kterém síla i svařovací proud jsou soustředěny použitím výstupku nebo výstupků na jednu nebo více styčných ploch; výstupky se během svařování zatlačí [5].

Tato metoda patří mezi nejproduktivnější a pro realizaci svarů se používají svařovací lisy, které pracují ve většině případů automaticky, a proto mají uplatnění především v hromadné výrobě. Svařování probíhá ve speciálních přípravcích. Ke koncentraci svařovacího proudu a tlaku do místa svaru slouží výstupky vhodného tvaru, které jsou nejčastěji zhotoveny lisováním. Používá se pro plechy tloušťek 0,4 - 6 mm.

Princip této metody spočívá v sevření svařovaných dílů v místě výstupků pomocí deskových elektrod. Po dosednutí výstupků se v místě styku koncentruje svařovací proud, což vede ke zvýšení proudové hustoty, která zajistí ohraničený lokální ohřev a v čase odpovídajícím zhruba zániku přechodového odporu dojde ke zborcení výstupků a plechy na sebe dosednou. Princip výstupkového svařování je patrný z obr. 3.6.



Legenda

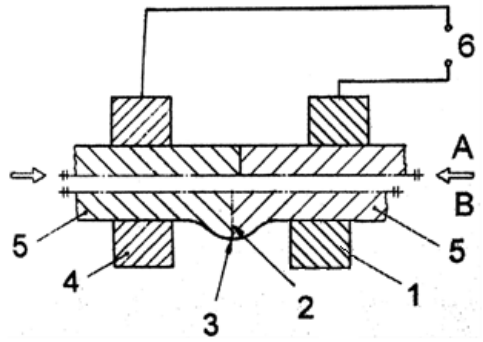
1… svařované materiály
2… upínací deska
3… zdroj proudu
4… elektrody

Obr. 3.6: Výstupkové svařování /5/

3.4 Stykové odporové svařování

Způsob odporového svařování, při kterém se spojení dílů uskutečňuje na celém povrchu stykových ploch.

Stykové svařování rozdělujeme na základě technologických postupů na stykové stlačovací svařování (obr. 3.7) a stykové odtavovací svařování (obr. 3.8). *Stykové stlačovací svařování* je způsob odporového svařování, při kterém jsou díly svými rovnými svarovými plochami přitlačeny k sobě ještě dříve, než začíná ohřev; tlak se udržuje a procházející elektrický proud ohřívá místo styku tak dlouho, až je dosažena svařovací teplota, při které se materiál spěchuje a vytvoří se výronek [5].



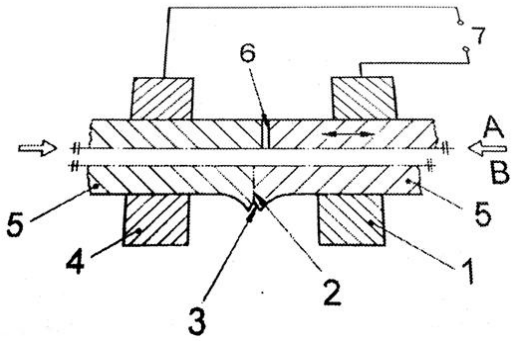
Obr. 3.7: Stlačovací stykové svařování /5/

Legenda

1… upínací čelist
2… svar
3… nápěch
4… upínací čelist
5… svařovaný materiál
6… zdroj proudu
A… před svařováním
B… po svařování

Odtavovací stykové svařování je způsob odporového svařování, při kterém se díly stále k sobě přibližují, přičemž proud soustředěný na místa slabých lokálních dotyků způsobuje opakované odtavování a výstřik roztaveného kovu [5].

U tohoto způsobu může být podle potřeby zařazen předehřev. Vyvození síly a přívod proudu zajišťují upínací čelisti.



Obr. 3.8: Odtavovací stykové svařování /5/

Legenda

1… upínací čelist
2… svar
3… výronek
4… upínací čelist
5… svařovaný materiál
6… oblast odtavování
7… zdroj proudu
A… před svařováním
B… po svařování

3.5 Svařovací stroje odporového svařování

Zdrojem elektrického proudu jsou odporové svářečky, které jsou tvořeny mechanickou a elektrickou částí. Mechanická část je tvořena upínacími prvky a přítlačným zařízením. Elektrická část je tvořena svařovacím transformátorem, který zajistí ohřev materiálu na svařovací teplotu.

Odporové svářečky lze dělit podle několika kritérií – např. podle použití dělíme svářečky na stabilní, závěsné a speciální, dále podle účelu a způsobu svařování:

- přeplátováním – bodové, švové, výstupkové, bradavkové,
- stykové (natupo) – stlačení bez odtavení nebo s odtavením.

Všechny odporové svařovací zařízení jsou konstruované na základě hlavní technologické podmínky – proud je do svařovaného dílu přiveden až po dosažení svařovacího tlaku Ps s určitým časovým zpožděním. Pohon strojů bývá pneumatický, nebo hydraulický.

Velmi časté využití bodového svařování ručních i automatických bodových strojů je možné pozorovat v automobilovém průmyslu především při bodování karosářských plechů. Pro doplnění kapitoly bude uvedeno několik obrázků odporových zdrojů. Na obr. 3.9 a) je vyobrazen jednofázový bodovací lis, který je řízen digitální řídící jednotkou T500. Stolní bodovka s minimálními energetickými nároky, vhodná pro použití ve výrobních podnicích je na obr. 3.9 b). Obrázek 3.9 c) jsou bodovací kleště, které jsou vhodné pro lehké opravy např. do autoopraven. Na obrázku 3.9 d) je bodovací robot od společnosti CEMSA. Obrázek 3.9 e) je zdroj pro stykové svařování.

a) b) c)

Obr. 3.9 a) Jednofázový bodový lis TECNA 8211 /27/

Obr. 3.9 b) Stolní bodovka TECNA 2101(16kVA) /27/

Obr. 3.9 c) Bodovací kleště TECNA7042 (2kVA s rameny 125mm) /27/

d)

e)

Obr. 3.9 d) Robot pro bodové svařování /12/

Obr. 3.9 e) Zdroj pro stykové svařování /12/

4. ZÁKLADY TEORIE BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Stejně jako u jiných svařovacích technologií, jsou i odporové svařovací procesy nerovnovážné děje, při kterých spoje vznikají působením rozdílných mechanismů. Základem je existence a působení teplotních a deformačních koncentračních gradientů, které vznikají v důsledku lokálního působení zdroje tepla v místě svařování. Tento jev je výrazný u všech metod odporového svařování a je dominantní z hlediska tvorby svarového spoje. Vlastní spojení svařovaných částí nastane pomocí nataveného (svařovacího) materiálu při stálém působení tlaku, který zajistí přítlačná síla. Přítlačná síla má více funkcí, jejíž význam se při různých metodách odporového svařování mění a kromě přítlaku a plastické deformace zabezpečuje průchod svařovacího proudu a odvod tepla ze spoje.

Pro vytvoření kvalitního bodového svaru, který bude odpovídat jakostním podmínkám, při co možná nejdelší životnosti elektrod, je zapotřebí zohlednit několik aspektů. Jedním z nich je například správná volba a nastavení svařovacích parametrů. Svařovací parametry, svařovací cyklus a svařovací režim budou popsány v následujících podkapitolách. Další částí základů teorie bodového svařování bude geometrie bodového svaru, teplotní pole a deformace při odporovém bodovém svařování. Pro úplnost a správnost této kapitoly budou uvedeny definice, které udává norma ČSN 050003.

4.1 Svařovací parametry

Svařovací parametry jsou všechny proměnlivé veličiny, které je potřebné nastavit tak, aby se zhotovil svar; nejdůležitější je svařovací proud, svařovací síla a svařovací čas [11].

Při volbě svařovacích parametrů odporového bodového svařování lze vycházet z normy ČSN EN ISO 14373 – Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných uhlíkových ocelí. Norma poskytuje návod pro odporové bodové svařování při výrobě sestav z nepovlakovaných a povlakovaných nízkouhlíkových ocelí složených ze dvou, nebo tří plechů. Největší jednotlivá tloušťka plechu je v rozmezí 0,4 až 3 mm z těchto materiálů:

- nepovlakované oceli,
- ponorem pozinkovaná ocel nebo ocel povlakovaná slitinou železo – zinek (galvanizovaná),
- elektrolyticky pozinkovaná ocel, ocel povlakovaná slitinou zinek – železo, nebo zinek – nikl,
- ocel povlakovaná hliníkem,
- ocel povlakovaná slitinou zinek – hliník.

Tyto svařovací podmínky platí pro elektrody s komolým kuželem z materiálu třídy A2/2 podle ČSN EN ISO 5182. Označení materiálů elektrod bude podrobněji uvedeno v kapitole 5. elektrody.

V tabulce 4.1 jsou uvedeny hodnoty svařovacích parametrů pro bodové svařování pozinkovaných ocelových plechů tloušťky 0,4 až 3,0 mm.

Tab. 4.1: Směrné hodnoty svařovacích parametrů pro bodové svařování pozinkovaných ocelových plechů tloušťky 0,4 mm až 3,0 /23/

Tloušťka jednoho plechu		Průměr plochy elektrody	Svařovací parametry					
			Pozinkováno ponorem [a]			Elektrolyticky pozinkováno [b]		
			Síla	Doba svaru v periodách [c]	Proud	Síla	Doba svaru v periodách [c]	Proud
mm	mm	mm	kN		kA	kN		kA
> 0,4	≤ 0,6	4	1,5 až 2,0	6 až 8	7 až 9	1,5 až 2,0	6 až 8	6 až 8
> 0,6	≤ 0,8	4	1,9 až 2,0	8 až 10	8 až 10	1,9 až 2,2	8 až 10	7 až 9
> 0,8	≤ 1,0	5	2,2 až 2,9	9 až 12	9 až 11	2,2 až 2,9	9 až 12	8 až 10
> 1,0	≤ 1,2	5	2,8 až 3,6	10 až 13	10 až 13	2,8 až 3,6	10 až 13	9 až 13
> 1,2	≤ 1,6	6	3,4 až 4,5	11 až 15	14 až 16	3,4 až 4,5	11 až 15	12 až 15
> 1,6	≤ 2,0	7	4,4 až 5,5	12 až 16	18 až 21	4,4 až 5,5	12 až 16	14 až 17
> 2,0	≤ 2,5	8	5,4 až 6,8	14 až 18	22 až 26	5,4 až 6,8	14 až 18	17 až 22
> 2,5	≤ 3,0	9	6,6 až 8,0	17 až 21	26 až 30	6,6 až 8,0	17 až 21	19 až 24

[a] Vhodné pro tloušťky povlaku G275 (t = 20 µm na jedné straně).
[b] Vhodné pro tloušťky povlaku 7 µm na jedné straně.
[c] 1 perioda = 0,02 s

Svařovací proud - proud použitý na dosažení a udržení svařovací teploty ve svařovaných dílcích. Při nevhodném nastavení svařovacího proudu hrozí riziko vzniku nekvalitního svaru, který nebude vyhovovat jakostním podmínkám. Nedostatečný průchod proudu svařovanými materiály může vést pouze k difuznímu spojení. V opačném případě při nadměrném působení proudu může nastat propálení svařovaného materiálu, nebo vznikají hluboké vtisky elektrod v materiálu. Pro zajištění správné velikosti svarové čočky je zapotřebí v určitých mezích udržovat teplo, které je přímo ovlivněno velikostí proudové hustoty.

Svařovací čas - jedná se o časový interval, ve kterém materiálem protéká svařovací proud. Nastavení správné doby svařovacího času je důležité z hlediska regulace tepla uvnitř vznikajícího svaru. Svařovací časy u moderních elektronických systémů je možné dělit na dobu náběhu a poklesu svařovacího proudu – tzv. svahování, dále dobu přestávky mezi jednotlivými pulsy a dobu dotlaku svařovacích elektrod.

Svařovací síla mezi elektrodami - primárním účelem tlaku je zajištění polohy svařovaných dílů v bezprostředním kontaktu jejich dotyku mezi elektrodami. Nastavení velikosti svařovacího tlaku se odvíjí od vlastností materiálu (povrch, nerovnosti, tloušťka, elektrický odpor). Velikost svařovacího tlaku dále stanovíme na základě svařovacího času a vyložení ramen. Při menších tlacích dochází ke zvětšení přechodového odporu mezi svařovanými díly a elektrodami, následkem toho dochází ke zvýšení tepla v této oblasti a to vede ke hlubším vtiskům, nebo přilepení elektrod k materiálu, což má zásadní vliv na opotřebení a životnost elektrod.

Svařovací parametry jsou ovlivněny celou řadou faktorů, ať už to jsou vlivy působící nahodile (např. změny v materiálu, kolísání síťového napětí), nebo vlivy působící soustavně (např. opotřebení elektrod).

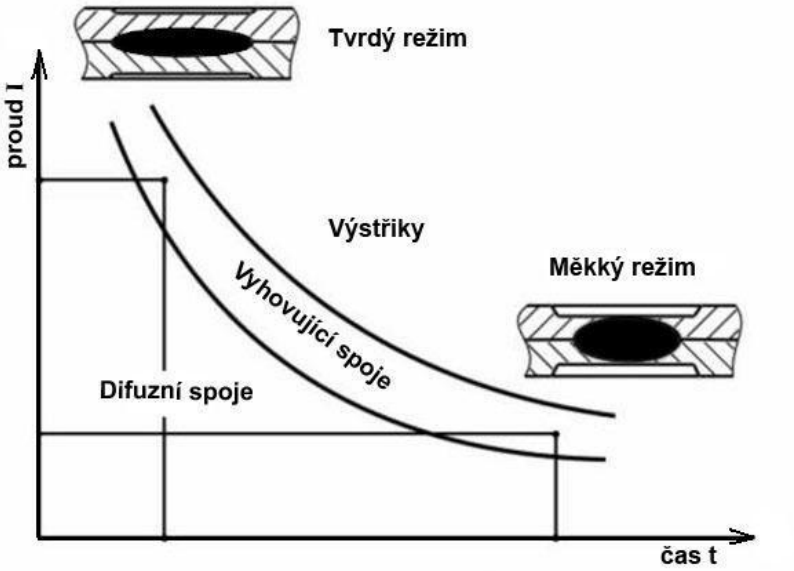
4.2 Svařovací režim

Svařovacím režimem se rozumí vzájemná kombinace velikosti svařovacích parametrů a dělíme je podle způsobu nastavení svařovacích parametrů na dva základní režimy:
Měkký režim – použití relativně dlouhého svařovacího času, nízkého proudu a malé síly [11]
Tvrdý režim – použití relativně krátkého svařovacího času, vysokého proudu a velké síly [11].

V současnosti stav poznání a praxe jednoznačně preferuje tvrdé svařovací režimy, jejichž podstata spočívá v působení vysokých proudů v krátkém čase. Výhodou těchto režimů je snížení opotřebení elektrod (méně se zahřívají - vyšší životnost elektrod), dále díky vyšším

tlakům dochází ke snížení přechodového odporu dotyku - elektrody nejsou tolik tepelně namáhány. Dalšími výhodami jsou např. menší deformace, vyšší účinnost a kratší svařovací časy. Nevýhodami tohoto režimu je nutnost vyšších příkonů a přítlačných sil, což vede k vyšším napětím ve svaru.

Pro měkký režim jsou typické menší proudy, menší tlaky a delší svařovací časy. Při tomto způsobu svařování jsou elektrody nepříznivě tepelně namáhány, proto se rychleji znehodnocují a vyžadují tak častější úpravu a výměnu. Důsledkem delších svařovacích časů jsou ztráty energie vedením a sáláním tepla do okolí. Využití tohoto režimu je zejména při svařování legovaných ocelí s vyšším obsahem uhlíku, protože se snižuje nebezpečí zakalení materiálu. Nevýhodou je deformace svarového spoje s malou svarovou čočkou a se znatelnými otlaky po okraji. Obrázek 4.1 znázorňuje oblasti měkkého a tvrdého režimu.

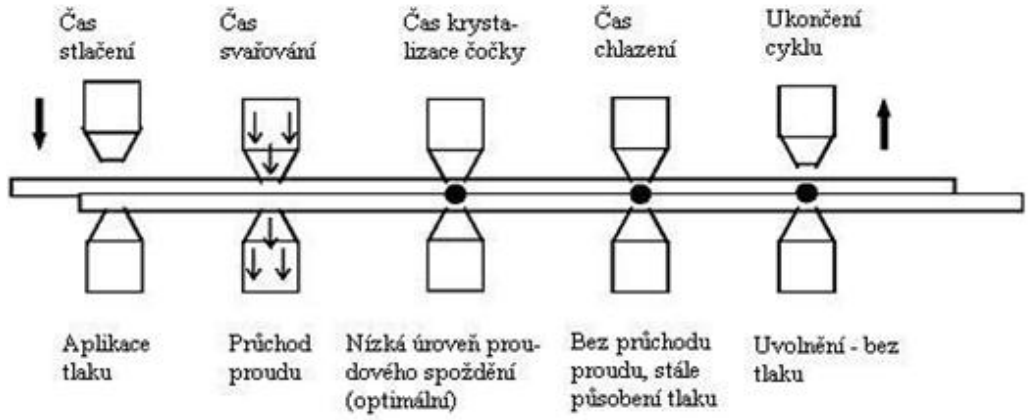


Obr. 4.1: Oblast měkkého a tvrdého svařovacího režimu u bodového svařování /9/

4.3 Svařovací cyklus

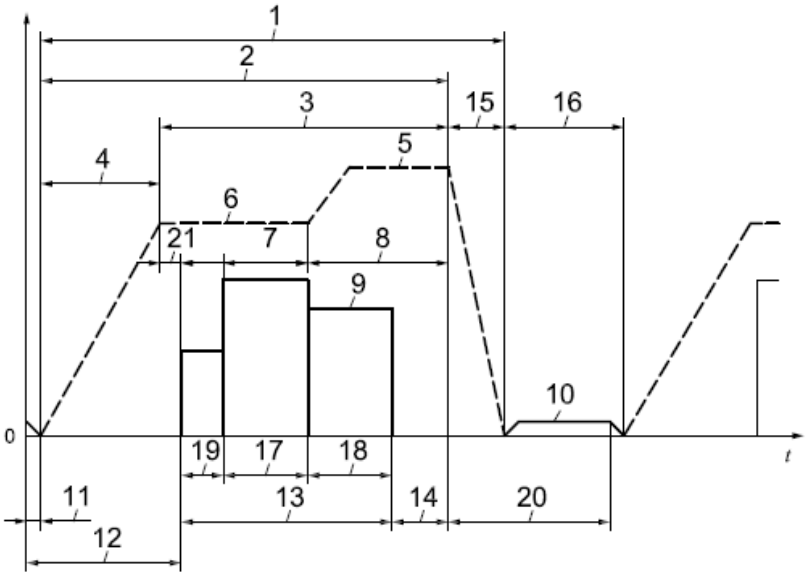
Jedná se o sled operací vykonaných odporovým svařovacím zařízením na zhotovení svaru a návrat do počáteční polohy; svařovací cyklus může být jednorázový, nebo opakovaný [11].

Před začátkem svařovacího cyklu je nutné nastavit svařovací parametry - hodnotu elektrického proudu, svařovací čas a tlak elektrod. Samotný proces svařování začíná přiložením svařovaných materiálů (přeplátovaných plechů) mezi dvě elektrody. Materiál obvykle pokládáme na spodní elektrodu, která bývá zpravidla v horizontálním provedení pevná. Průběh svařovacího cyklu je patrný z obr. 4.2.



Obr. 4.2: Pracovní fáze při odporovém bodovém svařování /9/

Moderní svařovací stroje jsou vybaveny programovým řízením, které umožňuje realizaci i složitých svařovacích cyklů. Jednotlivé programy řízení udává norma ČSN EN ISO 15609 – 5 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Stanovení postupu svařování - Část 5: Odporové svařování. Na obr. 4.3 je program řízení proudu a elektrodové síly pro odporové bodové svařování.



Obr. 4.3: Program řízení proudu a elektrodové síly při odporovém bodovém svařování /16/

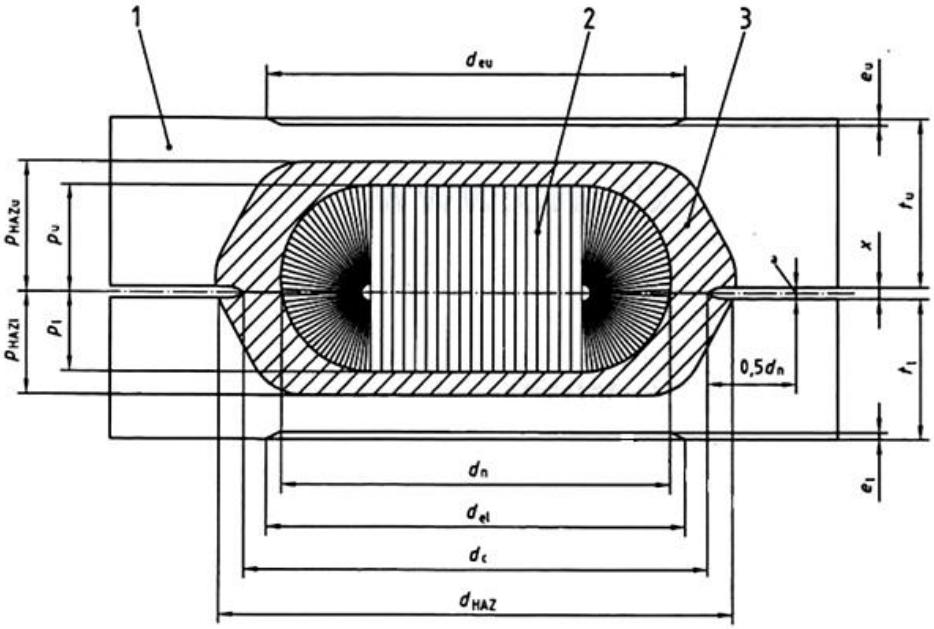
Legenda

1… doba působení síly
2… doba elektrodové síly
3… doba udržovací síly
4… doba vzestupu síly
5… kovací síla
6… elektrodová síla

7… doba zpoždění kování
8… doba kování
9… proud
10… pohyb elektrody
11… doba přibližování hlavy
12… doba stlačení
13… celková doba svařování
14… doba výdrže
15… doba poklesu síly
16… skutečná doba vypnutí síly
17… doba ohřevu/samostatná doba svařování
18… doba dohřevu
19… doba předehřevu
20… doba vypnutí
21… doba zpoždění proudu
t… doba

4.4 Geometrie bodového svaru

Svar zhotovený bodovým svařováním má soubor vlastností a charakteristik, které se posuzují měřitelnými veličinami na základě požadavků kladených na kvalitu spoje. Posouzení geometrických měření v souvislosti se zkoušením odporových bodových, švových a výstupkových svarů definuje norma ČSN EN ISO 14329. Vyobrazení geometrie bodového svaru je na obr. 4.4.



Obr. 4.4: Geometrie bodového svaru /7/

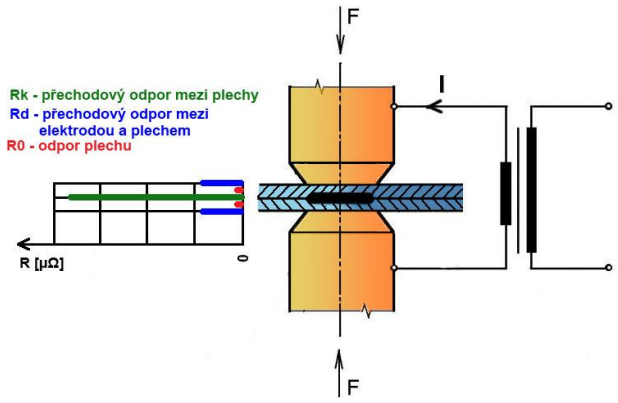
Legenda

d_c…	průměr tepelně zbarvené oblasti	[mm]
d_{el}…	průměr vtisku elektrody ve spodním plechu	[mm]
d_{eu}…	průměr vtisku elektrody v horním plechu	[mm]
d_{HAZ}…	průměr tepelně ovlivněné oblasti	[mm]
d_n…	průměr svarové čočky	[mm]
e_i…	hloubka vtisku elektrody ve spodním plechu	[mm]
e_u…	hloubka vtisku elektrody v horním plechu	[mm]
$p_{HAZ\ I}$…	průnik tepelně ovlivněné oblasti ve spodním plechu	[mm]
$p_{HAZ\ U}$…	průnik tepelně ovlivněné oblasti v horním plechu	[mm]
p_I…	průvar svarové čočky ve spodním plechu	[mm]
p_U…	průvar svarové čočky v horním plechu	[mm]
t_I …	tloušťka materiálu – spodní plech	[mm]
t_u…	tloušťka materiálu – horní plech	[mm]
x…	velikost mezery mezi plechy (a-místo měření mezery)	[mm]
1…	základní materiál (plechy)	
2…	svarová čočka	
3…	tepelně ovlivněná oblast (TOO)	

4.5 Teplotní pole při bodovém svařování

Odporový ohřev je charakteristický výrazný fyzikální jev. Soustředěné teplo v místě svaru ohřívá materiál na vysokou tepotu a v důsledku tepelné vodivosti se ohřívá i okolní oblast základního materiálu. Teplota se v kovu mění v širokém pásmu od teploty prostředí až do teploty tavení. Tepelné procesy při odporovém svařování lze popsat i matematicky. Matematický popis je však značně složitý, a k jeho řešení je zapotřebí idealizovaných okrajových podmínek, které tím pádem nevystihují skutečné termofyzikální vlastnosti svařovaných materiálů. Dále je zapotřebí zohlednit změny odporu při roztavení zinkových vrstev, nebo metalurgicky ovlivněné vrstvy na povrchu svařovacích elektrod. Další rozpor nastane v případě, kdybychom chtěli brát v úvahu existenci tuhé a kapalné fáze a jejich proměnné hranice při tvorbě svarového spoje. Teplo potřebné pro vznik svaru je složeno ze systému, který je tvořen několika do série řazených odporů, jejichž celkové hodnoty jsou proměnné s teplotou a časem, což značně komplikuje výpočet celkového odporu, a proto je nutné do výpočtu zařadit i dílčí odpory, které jsou znázorněny na obr. 4.5. Jedním z těchto dílčích odporů je přechodový odpor (R_d), který vzniká v ploše styku elektrod se svařovaným materiálem. Tento odpor je možné ovlivnit vhodnou volbou materiálu, nebo chlazením elektrod. Další odpor, který musíme zohlednit je odpor materiálu (R_0), který vzniká při průchodu proudu svařovaným materiálem. Zásadní vliv pro vytvoření tepla potřebného ke

vzniku bodového svaru má přechodový odpor (R_k), který působí mezi svařovanými díly. Tento přechodový odpor však velmi rychle zaniká, protože vzniká svarová čočka a teplo je dále udržováno pomocí objemového zdroje tepla, tvořeného vlastním odporem materiálu.



Legenda

F… přítlačná síla [N]
I… svařovací proud [A]

Obr. 4.5: Rozložení odporů na začátku svařovacího cyklu při bodovém svařování /13/

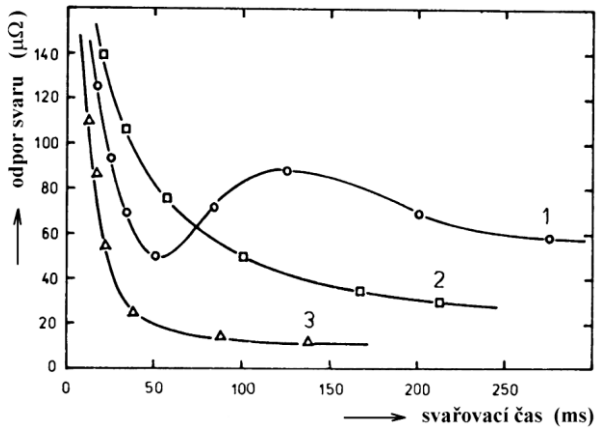
Pro celkový odpor tedy platí vztah podle rovnice (4.1).

$$R_c = 2R_d + 2R_0 + R_k \qquad (4.1)$$

kde je:

R_c…	celkový (výsledný) odpor	[Ω]
R_d…	přechodový odpor mezi elektrodou a plechem	[Ω]
R_k…	přechodový odpor mezi plechy	[Ω]
R_0…	odpor plechu	[Ω]

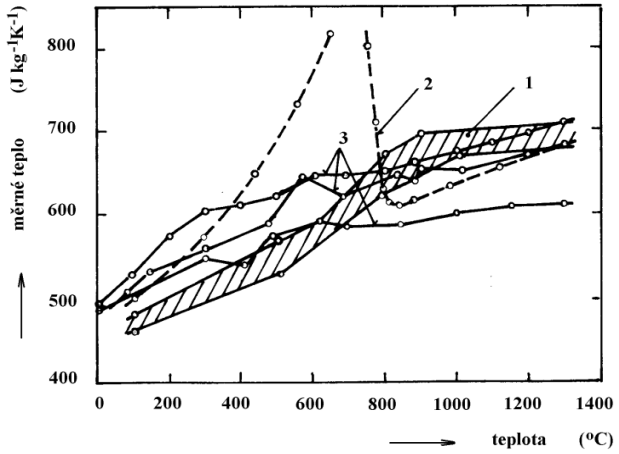
Na obrázku 4.6 jsou znázorněny průběhy odporů různých materiálů při odporovém bodovém svařování, obrázek 4.7 znázorňuje teplotní závislost měrného tepla a měrné tepelné vodivosti.



Legenda

1- nelegovaná nízkouhlíková ocel
2- chrómniklová korozivzdorná ocel
3- hliník

Obr. 4.6: Průběhy elektrického odporu při bodovém svařování pro různé materiály /1/

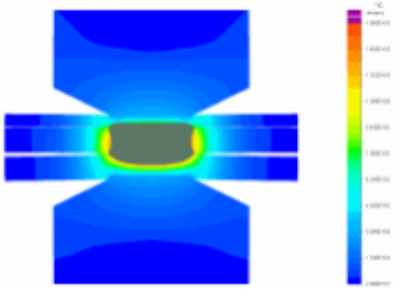


Legenda

1- uhlíková ocel
2- nízkolegovaná ocel
3- vysokolegovaná ocel

Obr. 4.7: Tepelné závislosti měrného tepla pro různé druhy ocelí /1/

Nicméně při matematickém popisu se uvažuje symetrie okolo osy „z“ (obr. 4.8) a popis lze zjednodušeně stanovit Fourierovou rovnicí (4.2) pro vedení tepla v cylindrických souřadnicích.



Obr. 4.8: Geometrické uspořádání bodového svařování /6/

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{q_v}{c \cdot \rho} \qquad (4.2)$$

kde je:

T…	teplota	[K]
t…	čas	[s]
a…	součinitel teplotní vodivosti	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
q_v…	intenzita objemového zdroje tepla	$[J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}]$
r…	poloměr elektrody	[mm]
c…	měrné teplo	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
ρ...	hustota	$[kg \cdot m^{-3}]$

Na základě rovnic sdílení tepla lze provádět analýzy procesu svařování. Podkladem pro výpočet rovnic jsou okrajové podmínky, které spolu s materiálovými konstanty slouží pro vytvoření simulace procesu svařování v simulačním programu. Programy zahrnují dvě základní části:

- tepelně – metalurgická analýza,
- mechanická analýza.

Tepelně – metalurgická analýza je schopna spočítat teplotní pole a jeho jednotlivé fáze, které mohou nastat v procesu svařování. Dále poskytuje informace o velikosti teploty v určitém místě bodového svaru, dobu chladnutí svaru a velikost svarové čočky při daném průměru elektrody.

Mechanická analýza poskytuje informace o deformacích a napětích, které se mohou vyskytnout v průběhu svařování. Pro určení těchto parametrů, je zapotřebí do programu přesně nadefinovat proměnné veličiny, které mají zásadní vliv na tvorbu kvalitního bodového svaru. Jako příklad lze uvést volbu velikosti deformační (přítlačné) síly, která je závislá na typu materiálu při stisku obou elektrod. Analýza používá hranice vyplývající z vlastností svařovaných materiálu a z funkčních požadavků daného produktu.

4.6 Deformační procesy při odporovém bodovém svařování

Jedná se o fyzikální děj, při kterém dochází k deformaci svařovacích elektrod a svařovaného materiálu. Největší deformace nastávají při odporovém ohřevu v samotném průběhu vytváření svarového spoje. Tavenina vzniklá od odporového ohřevu je vytlačována směrem k rovině styku svařovaných dílů ven ze spoje a elektrody se zatlačují do svařovaných plechů. Deformační procesy probíhají ve třech fázích. První fází je dosednutí elektrod, zde se snažíme pomocí silového působení eliminovat přechodový odpor mezi svařovaným materiálem a elektrodou. Druhá fáze je z hlediska vytvoření kvalitního spoje nejdůležitější, dochází při ní k průchodu svařovacího proudu a dále je při této fázi nutné reagovat na tepelnou expanzi svaru. Třetí fázi je možné provést bez průchodu proudu, tzv. svahování, jedná se o programovatelný průběh poklesu svařovacího proudu na nulu. Tato třetí fáze se používá u pohledových svarů.

5. ELEKTRODY

Primární úkol elektrod při bodovém svařování je zabezpečit spolehlivý průchod elektrického proudu svařovanými díly. Při svařovacím procesu na elektrodu společně působí řada dynamicky měnících se namáhání (elektrické, tepelné, mechanické a metalurgické), které nepříznivě ovlivňují životnost elektrod.

Vzhledem k požadovaným vlastnostem materiálů elektrod (vysoké elektrická a tepelná vodivost) je většina elektrodových materiálů vyrobena ze slitin mědi, které zajistí dobré vedení elektrického proudu svařovanými díly. Základní rozdělení elektrodových materiálů podle fyzikálních a mechanických vlastností provedlo RWMA (Resistance Welder Manufacturers Association). Podobné třídění materiálů elektrod je popsáno v normě ČSN EN ISO 5182 – Odporové svařování – Materiály pro elektrody a pomocné vybavení, kde jsou materiály pro elektrody rozděleny do tří skupin:

- **skupina A** – materiály na bázi Cu a slitin mědi,
- **skupina B** – materiály vyrobené práškovou metalurgií na bázi žáruvzdorných kovů a to W a Mo (slinuté materiály).
- **skupina C** – materiály disperzně zpevněné na bázi Cu obsahující oxidy Al_2O_3.

Z této normy je uvedena tabulka 5.1 - materiály elektrod pro odporové svařování.

Tab. 5.1: Materiály elektrod podle ČSN EN ISO 5182 /25/

Skupina	Typ	Číslo	Označení	Nominální Legující Prvky [%]	Použitelná forma (tvar) [mm]	Tvrdost HV 30 min	Elektrická vodivost Ms/m	%IACS	Teplota měknutí [°C]
A	1	1	Cu-ETP	Cu (+Al)min 99,90	výtažek>25	85	56	96	150
					výtažek<25	90	56	96	
					výkovek	50	56	96	
					odlitek	40	50	86	
		3	CuAg0,1P	Ag 0,08-0,15	výtažek<25	90	55	95	150
		4	Cu-PHC	P 0,003	výtažek	40	56	96	150
	2	1	$CuCr_1$	Cr 0,3-1,2	výtažek>25	125	44	76	475
					výtažek<25	140	44	76	
					výkovek	100	44	76	
					odlitek	85	44	76	
		2	$CuCr_1Zr$	Cr 0,5-1,4 Zr 0,02-0,2	výtažek>25	130	43	74	500
					výtažek<25	140	43	74	
					výkovek	100	43	74	500
		3	CuCrZr	Cr 0,4-1 Zr 0,02-1	-	150	43	74	500
					-	150	43	74	
		4	CuCr	Zr 0,11-0,25	výtažek	140	47	81	500

*)pokračování

Tab. 5.1: Materiály elektrod podle ČSN EN ISO 5182 /25/ *)pokračování

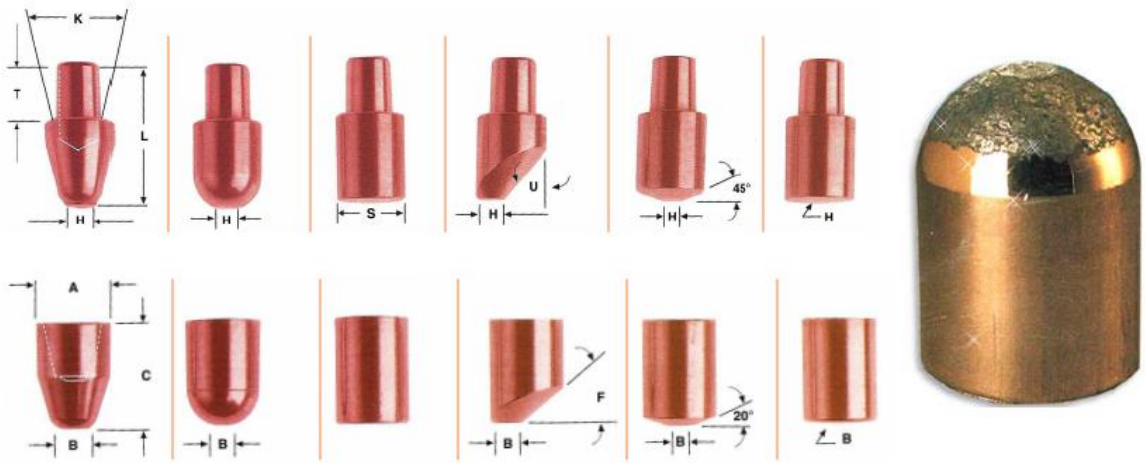
Skupina	Typ	Číslo	Označení	Nominální Legující Prvky [%]	Použitelná forma (tvar) [mm]	Tvrdost HV 30 min	Elektrická vodivost Ms/m	%IACS	Teplota měknutí [°C]
A	3	1	CuCo2Be	Co 2,0-2,8 Be 0,4-0,7	výtažek>25	260	23	40	450
					výtažek<25	270	23	40	
					výkovek	260	23	40	
					odlitek	250	23	40	
		2	CuNi2Si	Ni 1,6-2,5 Si 0,4-0,8	výtažek>25	180	17	29	450
					výtažek<25	190	18	31	
					výkovek	170	19	33	
					odlitek	160	17	29	
		3	CuNi2Be	Ni 1,4-2,4 Be 0,2-0,6	výtažek<40	24	24	42	475
		4	CuCo1Ni1 Be	Co 0,8-1,3 Ni 0,8-1,3 Be 0,4-0,7	výtažek<40	250	23	40	
	4	1	CuNi1P	Ni 0,8-1,2 P 0,16-0,25	výtažek>25	130	29	50	450
					výtažek<25	140	29	50	
					výkovek	130	29	50	
					odlitek	110	29	50	
		2	CuBe2Co Ni	Be 1,8-2,1 Co-Ni-Fe 0,20-0,60	výtažek>25	330	14	25	300
					výtažek<25	340	14	25	
					výkovek	350	14	25	
					odlitek	350	14	25	
		4	CuAl0Fe5 Ni5	Al 8,5 – 11,5 Fe 2,0 – 6,0 Ni 4,0 – 6,0 Mn 0 – 2,0	výkovek	170	4	7	650 [%]
		5	CuZn40Pb 2	Cu 57 – 59 Pb 1,6 – 2,5	Tyč a trubka	120	10	17	
B	10		W75Cu	Cu 25		220	17	29	1000
	11		W78Cu	Cu 23		240	16	27	1000
	12		WC70Cu	Cu 30		300	12	20	1000
	13		Mo	Mo 99,5		150	17	29	1000
	14		W	W 99,5		420	17	29	1000
	15		W65Ag	35 Ag		140	29	50	900
C	20	1	$CuAl_2O_3$	Al_2O_3 1,1	výtlaček	150	44	76	980
					-	160	44	76	980
		2	$CuAl_2O_3$	Al_2O_3 0,5	výtlaček	140	50	86	980
					-	150	50	86	980
		3	$CuAl_2O_3$	Al_2O_3 0,3	výtlaček	120	54	92	950
					-	140	54	92	980
		4	$CuAl_2O_3$	Al_2O_3 1,5 B max 0,2	výtlaček	155	43	74	980
		5	$CuAl_2O_3$	Al_2O_3 1,0 B max 0,2	výtlaček	140	45	77	980
		6	$CuAl_2O_3$	Al_2O_3 0,6 B max 0,2	výtlaček	130	50	86	950

Poznámka: Nominální legující prvky uvedených tříd jsou pouze pro informaci. Materiály jsou vyráběny s vlastnostmi uvedenými v tabulce. Skupina A a C slitiny na bázi mědi; žáruvzdorné materiály jsou uvedeny ve skupině B.

Základními požadavky na materiál elektrod jsou:

- vysoká elektrická a tepelná vodivost za normálních i vyšších teplot,
- dostatečná mechanická pevnost,
- vysoká odolnost proti oxidaci,
- co nejvyšší teplota měknutí,
- dobrá obrobitelnost.

Různé typy používaných čepiček pro odporové svařování jsou na obr. 5.1. Detail vpravo znázorňuje čepičku s povrchovou úpravou (povlakováno titanem).



Obr. 5.1: Druhy svařovacích čepiček pro odporové svařování, čepička povlakována titanem /28/

5.1 Velikost špiček elektrod

Vzhledem k tomu, že velikost bodového svaru je určena velikostí špičky elektrody – průměrem špičky, je nutné, aby tato velikost byla o trochu větší, než je průměr svarové čočky. V případě, kdy bude průměr špičky malý, výsledný svar bude rovněž malý. Naopak při neúměrně velkém průměru špičky vzhledem k tloušťkám svařovaných plechů, dochází k velkému natavení materiálů. Průměr špičky elektrody je určen jednak podle vlastního odporu materiálu elektrody a z empirických poznatků se volí podle vztahu (5.1)[12].

$$d = k\sqrt{s} \qquad (5.1)$$

kde je: s… tloušťka plechu [mm]
k… součinitel závislý na druhu materiálu [-]

V případech rozdílných tloušťek materiálů ($t_1 < t_2$) se liší i odpor jednotlivých materiálů a tomuto rozdílu je nutné přizpůsobit i průměr pracovních ploch elektrod a zabránit tak tepelné nerovnováze ve spoji. Používá se tzv. směrodatná srovnávací tloušťka plechu (udává dokument VW 011 05-1; Odporové bodové svařování, konstrukce, výpočty, zajištění procesu nepovrstvené a povrstvené plechy), která je daná vztahem (5.1) [29].

$$t_V = 0{,}8 \cdot t_1 + 0.2 \cdot t_2 \qquad (5.1)$$

kde je:
t_v… srovnávací tloušťka plechu [mm]
t_1… tloušťka plechu prvního materiálu [mm]
t_2… tloušťka plechu druhého materiálu [mm]

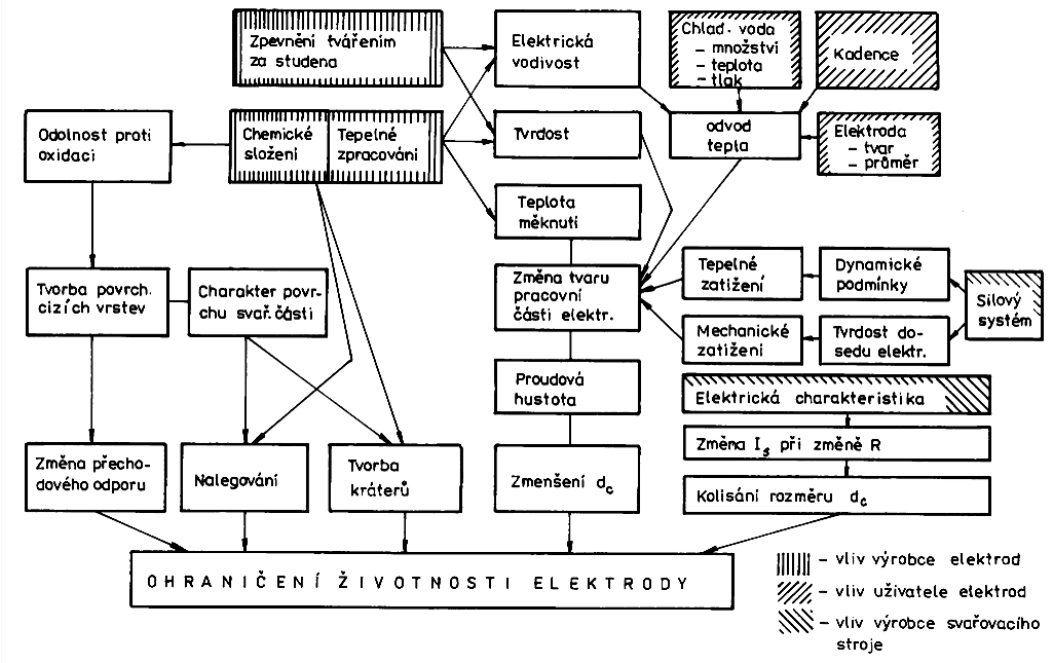
5.2 Životnost elektrody

Hodnocení životnosti elektrody lze určit podle normy ČSN EN ISO 8166 - Odporové svařování – Způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje.

Životnost elektrod je určena počtem svarů, které je možno provést v požadované jakosti svaru, aniž by byla nezbytně nutná úprava dotykových ploch. Elektroda dosáhne své životnosti tehdy, pokud provedené svary mají průměr svaru stanovený při odlupovací zkoušce menší, než $3{,}5\sqrt{t}$ (kde t je tloušťka plechu v milimetrech). Odlupovací zkouška se provádí v souladu s normou ČSN EN ISO 10447 – Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů.

Pro určení životnosti svařovací elektrody je nutné stanovit hodnotící kritéria pro kvalitu bodového svaru a dále zohlednit faktory podmiňující změny, které nastanou v elektrodě během procesu. Jedná se především o změny mechanické, metalurgické a elektrické, všechny tyto změny jsou nežádoucí a snažíme se je eliminovat. Faktory podílející se na celkové životnosti elektrod jsou (obr. 5.2):

- vliv výrobce svařovacích elektrod,
- vliv uživatele,
- vliv svařovací soustavy,
- nastavení svařovacích parametrů,
- vliv materiálu, rozměrů, tvaru a chemického složení elektrod.



Obr. 5.2: Faktory ovlivňující životnost elektrod /14/

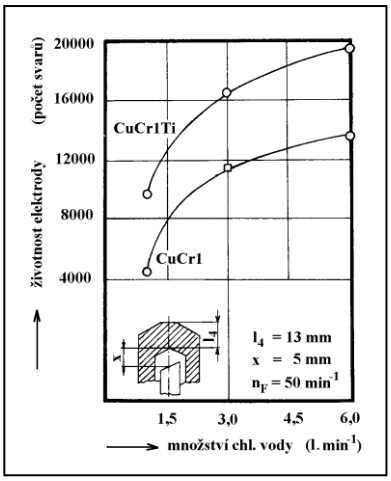
5.3 Chlazení elektrod

Chlazení elektrod ať už jakýmkoli způsobem, který bude uveden v následující kapitole, má vliv na životnost elektrod. Setkáváme se i s případy, že svařovací proces probíhá bez chlazení elektrod, ale tento způsob je použitelný pouze pro stroje malého výkonu s velmi nízkým zatěžovatelem DZ. Při takovémto procesu není chlazené zařízení a ani elektrody. Rozeznáváme dva základní typy chlazení:

- otevřený systém chlazení,
- uzavřený systém chlazení.

Otevřeným systémem chlazení se rozumí to, že zařízení i elektrody jsou chlazené vodou, která po procesu odtéká do kanalizace. Pokud jsou elektrody a zařízení chlazeny chladící jednotkou, jejímž chladicím médiem bývá voda, mluvíme o *uzavřeném systému chlazení*. Tyto jednotky mohou sloužit i pro chlazení více strojů najednou, a je možné k nim připojit i zásobník pro zvýšení chladicí kapacity.

Vliv množství chladící vody na životnost elektrod je na obr. 5.3, ze kterého lze posoudit významný účinek intenzity chlazení na životnost elektrody. Geometrie elektrodové špičky a kadence (n_F) jsou uvedeny pro oba materiály ($CuCr_1Ti$ a $CuCr_1$) na obrázku.



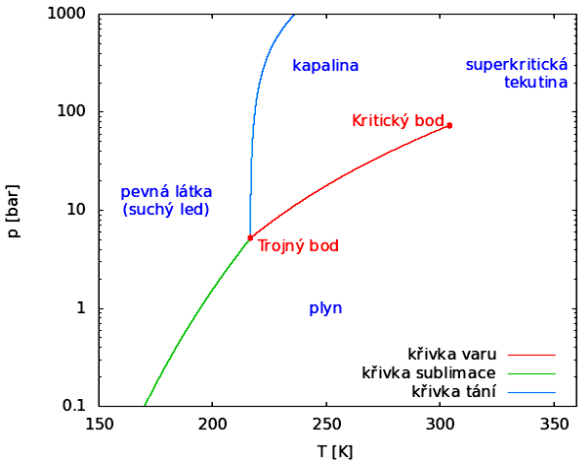
Obr. 5.3: Vliv množství chladicí kapaliny na životnost elektrod /35/

Problematikou pro zvýšení životnosti elektrod pomocí vody a tím tedy dosažení intenzivnějšího odvodu tepla se v minulosti zajímalo mnoho vědců, kteří prováděli různé experimenty. Experimenty spočívaly například v úpravách přívodu chladící vody, možnosti kontroly řízení průtoku kapaliny chladícím oběhem, dále automatické vypínaní chladící vody, nebo přímé chlazení čepičky elektrody. Jako další příklad pro zvýšení životnosti elektrod lze uvést i materiálový výzkum, při kterém se vylepšily mechanické a elektrické vlastnosti materiálu elektrod pomocí tepelného zpracování.

5.3.1 Chlazení elektrod pomocí oxidu uhličitého

Na úvod této kapitoly se zmíním o charakteristice oxidu uhličitého. Jedná se o bezbarvý, nehořlavý plyn, bez chuti a zápachu. Plyn vzniká reakcí uhlíku s kyslíkem (spalováním) podle rovnice $C+O_2 \rightarrow CO_2$.

Při teplotě -78,9 °C přechází oxid uhličitý do tuhého skupenství a vzniká bílá tuhá látka tzv. suchý led. Trojný bod má CO_2 při teplotě -56,6 °C a tlaku cca 0,5 MPa (5,2 bar). Kritický bod oxidu uhličitého nastane při teplotě 31°C a tlaku 73,75 bar. Při atmosférickém tlaku (0,1 MPa) neexistuje oxid uhličitý v kapalném stavu, jelikož při tomto tlaku přechází oxid uhličitý z pevného do plynného skupenství (sublimace). Kapalný oxid uhličitý může existovat jen za tlaku vyššího než cca 500 kPa (≈5-ti násobek atmosférického tlaku). Oxid uhličitý je látka, která není příliš reaktivní. Hustotou 1,98 kg·m^{-3} je plynný oxid uhličitý zhruba 1,5 x těžší než vzduch. Na obr. 5.4 je zobrazen fázový diagram CO_2. Fyzikálně chemické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 5.2.



Obr. 5.4 Fázový diagram CO_2 a parametry kritického a trojného bodu /32/

Tab. 5.2: Tabulka fyzikálně chemických vlastností /31/

Fyzikálně – chemické vlastnosti CO_2	
Chemický vzorec	CO_2
Molekulová hmotnost	44,01 [g·mol^{-1}]
Bod tání (při tlaku 0,5 MPa)	-56,6 [^{o}C]
Bod varu (při tlaku 101,235 kPa)	-78,5 [^{o}C]
Kritická teplota	31,01 [^{o}C]
Kritický tlak	7,386 [MPa]
Hustota plynu (0 ^{o}C; 101,325 kPa)	1,965 [kg·m^{-3}]
Hustota kapaliny (-56,6 ^{o}C; 0,52 MPa)	1,178 [kg·dm^{-3}]
Hustota pevného CO_2 (20 ^{o}C; 101,325 kPa)	1,2 - 1,5 [kg·dm^{-3}]
Tenze par (20^{o}C)	5,733 [MPa]
Rozpustnost ve vodě (20^{o}C)	1740 [mg.l^{-1}]
Barva	bezbarvý plyn

O využití kapalného oxidu uhličitého pro chlazení elektrod u bodového odporového svařování nejsou prakticky žádné poklady. Ověřovací experiment pro chlazení elektrody pomocí CO_2 za účelem zvýšení životnosti elektrod provedli V. K. Bondarev a A. Z Sharypov. Cílem jejich experimentu bylo prozkoumat účinnost chlazení elektrod z nikl-beryliového bronzu pro odporové bodové svařování za použití kapalného oxidu uhličitého a experimentálně stanovit možnosti chlazení pod bodem mrazu.

6. KVALITA BODOVÉHO SVARU

Typy vad ve svarech jsou závislé na metodě svařování a druhu svařovaného materiálu (příprava svarových ploch) a klasifikace těchto vad se provádí na základě normy ČSN EN ISO 6520-2, kde podle této normy jsou vady rozděleny do šesti skupin:

- P_1 - trhliny;
- P_2 - dutiny;
- P_3 - pevné vměstky;
- P_4 - studené spoje;
- P_5 - vady tvaru a rozměru;
- P_6 - ostatní vady nezahrnuté do skupin P až P_5; (P…platí pro tlakové svařování).

V současnosti je obecně známo, že na kvalitu svarového spoje jsou kladeny velmi vysoké nároky, a proto je nezbytně nutné svary posuzovat komplexně vzhledem k požadovaným vlastnostem. Při tvorbě bodových svarových spojů musíme stanovit účel, funkční vlastnosti a vzhled svaru. Dále je zapotřebí určit vhodné tolerance a zvolit na základě daných kriterií správné metodické postupy, které jsou dány normou ČSN EN ISO 15614-12 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování - Část 12: Bodové, švové a výstupkové svařování.

Vady vyskytující se při procesu svařování jsou definované jako odchylky od vlastností předepsané technickými normami, technickými podmínkami, popř. smluvními vzorky. Tyto vady lze rozdělit na zjevné, které se posuzují pouhým okem, tzv. vizuální kontrolou a na vady skryté, jejichž posouzení se provádí pomocí přístrojů, nebo laboratorními zkouškami. Na základě příslušných ustanovení rozeznáváme vady přípustné nebo nepřípustné. Přípustné vady jsou takové, které jsou povoleny technickými normami a podmínkami, nebo odpovídají smluvnímu vzorku a není je zapotřebí odstranit. Nepřípustné vady jsou v rozporu s ustanoveními a dělí se dále na opravitelné, nebo neopravitelné.

Zjišťování kvality bodového svaru je prioritní záležitostí daného výrobního produktu a každý zákazník požaduje různé nároky na kvalitu spoje. Bodové svařovaní je charakterizováno velkosériovou výrobou a proto je nutné implementovat ochranné a kontrolní prvky přímo v procesu výroby. Pro hodnocení kvality bodových svarů se používá celá řada destruktivních a nedestruktivních zkoušek. Jednotlivé druhy a charakteristiky zkoušek (destruktivních, nedestruktivních) budou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

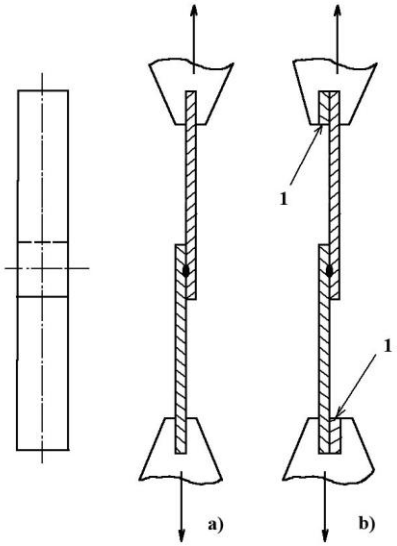
7. DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY

Postup a rozdělení destruktivních zkoušek udává norma ČSN EN ISO 14329 – Odporové svařováni – Destruktivní zkoušky svarů – Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Jak již název napovídá, při destruktivních zkouškách dochází k porušení testovacích dílů, avšak i přesto mají tyto zkoušky nezastupitelnou roli při testování kvality svarů, jelikož umožňují kvantitativně určit vlastnosti svarů jako jeho rozměry. Destruktivní zkoušky slouží k získání mechanických vlastností, dále pomocí těchto zkoušek zjistíme například průměr svarové čočky. Mezi tyto zkoušky patří jednoduché metody, které lze aplikovat přímo v procesu výroby (např. sekáčová, odlupovací zkouška), tak i laboratorní zkoušky (např. křížová zkouška tahem měření tvrdosti svarů podle Vickerse, zkouška rázem v ohybu – Charpyho kladivo, zkoušky únavy). V této diplomové práci se zaměřím na základní typy destruktivních zkoušek, jimiž jsou:

- zkouška střihem,
- zkouška krutem,
- odlupovací zkouška,
- sekáčová zkouška,
- metalografická zkouška.

7.1 Zkouška střihem

Popis a provedení zkoušky je uvedeno v normě ČSN EN ISO 14273 – Rozměry vzorku pro zkoušení střihem odporových, švových a výstupkových svarů. Podstatou je roztržení dvou přeplátovaných plechů v místě bodového svaru. Přeplátované plechy jsou upnuté v čelistech trhacího stroje tak, aby deformační střižná síla byla rovnoběžná s rovinou spojení plechů. Upínací čelisti by měly být navzájem v požadované vzdálenosti od sebe. Pro tloušťku plechu < 3mm nebo kde poměr tlouštěk dvou plechů je > 1,4 musí být pro upnutí do čelistí trhacího stroje použit podložný plech (obr. 7.1 b). Podložný plech musí mít stejnou tloušťku, jako má plech zkušebního vzorku. Zkouška je určena pro jakékoli kovové materiály s tloušťkou 0,5 až 10 mm. Účelem této zkoušky je stanovit maximální střižnou sílu, kterou je svar schopen udržet. Sestava pro zkoušku střihem je na obr. 7.1. Zkouška střihem byla provedena v experimentální části této diplomové práce.

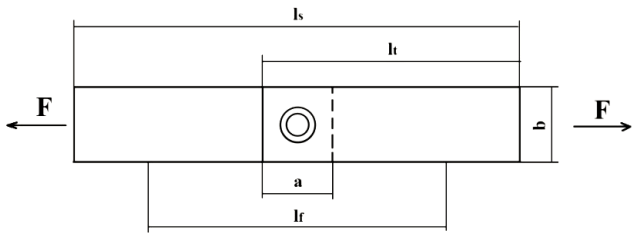


Obr. 7.1: Sestava pro zkoušku střihem /15/

Legenda

a)… profil bez podložných plechů
b)… profil s podložnými plechy
1… podložný plech

Tvar a rozměry zkušebního vzorku (obr. 7.2) jsou uvedeny pro zkoušku střihem v tabulce 7.1 a udává je norma ČSN EN ISO 14273 – Rozměry vzorku a postup pro zkoušení střihem odporových bodových, švových a výstupkových svarů.



Obr. 7.2: Vzorek pro zkoušku střihem /15/

Legenda

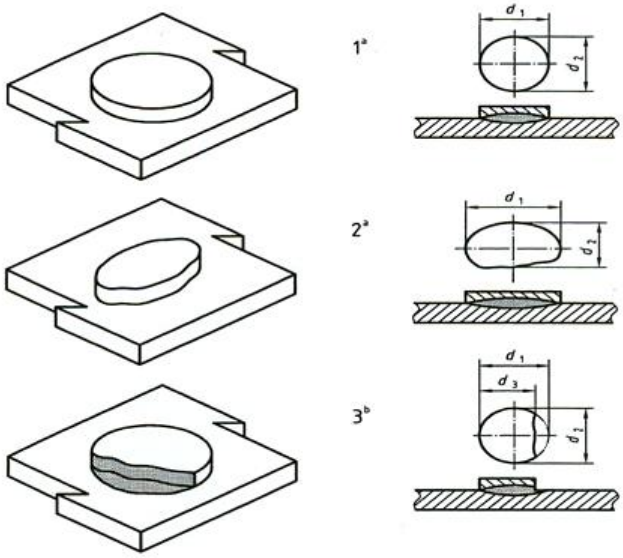
F… směr zkušebního zatížení
l_s… délka vzorku
l_t… délka jednotlivých zkušebních ústřižků
l_f… volná délka mezi čelistmi
a… přeplátování
b… šířka plechu

Tab. 7.1: Rozměry zkušebního vzorku pro zkoušku střihem /15/

Tloušťka **t**	Přeplátování **a**	Šířka vzorku[a] **b**	Délka vzorku l_s	Volná délka mezi čelistmi l_f	Délka jednotlivých zkušebních ústřižků l_t
$0{,}05 \geq t \geq 1{,}5$	35	45 (30)	175	95	105
$1{,}5 \geq t \geq 3$	46	60 (30)	230	105	138
$3 \geq t \geq 5$	60	90 (55)	260	120	160
$5 \geq t \geq 7{,}5$	80	120 (80)	300	140	190
$7{,}5 \geq t \geq 10$	100	150 (100)	320	160	210

[a] Hodnoty v závorkách dávají přibližně 10% snížení pevnosti a proto se tyto šířky používají pouze po dohodě mezi výrobcem a zákazníkem.

Po provedení zkoušky střihem je zapotřebí zjistit rozměry svaru – průměr vytržené části. Pokud nastane případ, kdy dojde k vytržení bodového svaru, měří se výčnělek d_1, d_2, z něhož se získá střední hodnota d (obr. 7.3). Tento způsob měření určuje norma ČSN EN ISO 14273 – Rozměry vzorku a postup pro zkoušení střihem odporových bodových, švových a výstupkových svarů.

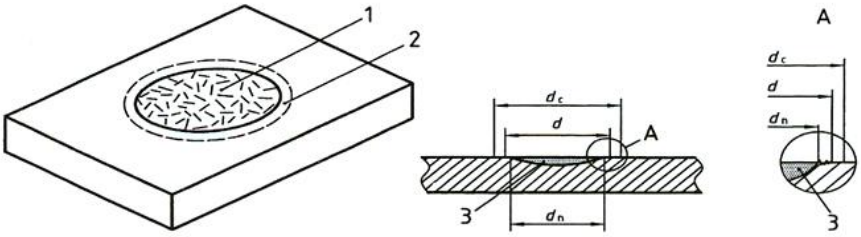


Obr. 7.3: Svar s vytrženou (ustřiženou) částí /15/

Legenda

1… symetrické vytržení [a] $d = d_p = (d_1+d_2)/2$
2… nesymetrycké vytržení [b] $d = d_p = (d_1+d_2)/2$
3… částečné vytržení $d_p = (d_2+d_3)/2$

Je-li spoj porušen v dělící rovině, průměr svaru d stanovíme jako střední průměr natavené oblasti, měřený v dělící rovině s vyloučením tepelně zbarvené oblasti spoje (obr 7.4).



Obr. 7.4: Svar s porušením v dělící rovině /15/

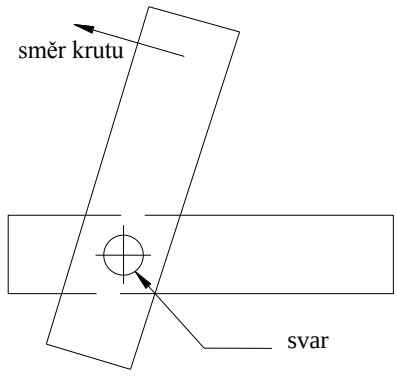
Legenda

1… ustřižená svarová čočka
2… tepelně zabarvená oblast
3… svarová čočka

7.2 Zkouška krutem

Zkoušku krutem udává norma ČSN EN ISO 17653 – Odporové svařování – Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška krutem odporových bodových svarů. Pomocí této zkoušky stanovíme vlivy různých typů ocelí, svařovací parametry a deformační charakteristiky bodového svaru. Po dokončení zkoušky zjišťujeme průměr svaru, typ porušení, a navíc lze určit maximální krouticí moment a tomu odpovídající úhel zkroucení. Princip zkoušky je patrný z obr. 7.5.

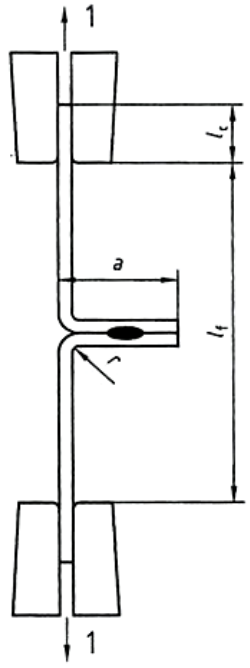
Zkouška je vhodná pro bodově svařené materiály vyrobené z ocelových plechů o tloušťce 0,5 až 3 mm.



Obr. 7.5: Princip zkoušky krutem

7.3 Odlupovací zkouška

Tato zkouška je popsána v normě ČSN EN ISO 14270 a udává rozměry vzorků a postup pro mechanizované odporové bodové, švové a výstupkové svary přeplátovaných dílů z jakýchkoli plechových materiálů o tloušťce 0,5 až 3 mm, kde se dosáhne maximální průměr svaru 7√t (t je tloušťka plechu v milimetrech). Princip zkoušky je zřejmý z obr. 7.6.

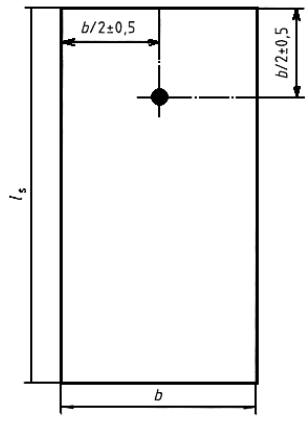


Legenda

1… směr zkušebního zatížení (působení síly)
l_c… délka upnutí v čelistech
l_f… volná délka mezi čelistmi
a… přeplátování
r… poloměr ≈ tloušťce plechu

Obr. 7.6: Princip odlupovací zkoušky /17/

Zkušební vzorek pro odlupovací zkoušku pro jednotlivé bodové a výstupkové svary je na obr. 7.7, rozměry zkušebních vzorků jsou uvedeny v tabulce 7.2.



Legenda

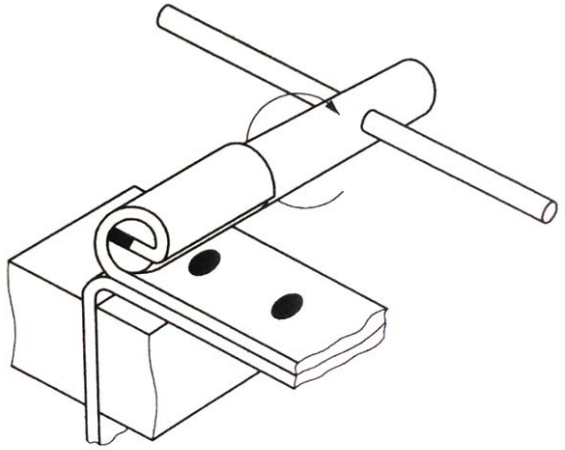
l_s… délka vzorku
b… šířka vzorku

Obr. 7.7: Princip odlupovací zkoušky /17/

Tab. 7.2: Rozměry zkušebního vzorku pro odlupovací zkoušku /17/

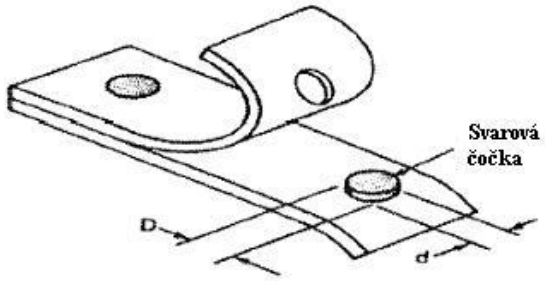
Tloušťka **t**	Přeplátování **a**	Šířka vzorku **b**	Délka vzorku l_s	Volná délka mezi čelistmi l_f	Délka upnutí v čelistech l_c
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45	125	95	40
$1,5 \leq t \leq 3$	45	60	160	105	60
Pozn.: Rozměry v mm					

Mechanizované odlupovací zkoušky byly provedeny v souladu s normou ČSN EN ISO 14270 v experimentální části. Vzorek byl upnut do trhacího zařízení a zatěžován silou, až do oddělení vzorků. Odlupovací zkoušku, lze provádět i takovým způsobem, že jeden plech je pevně upnutý a druhý plech je odlupován pomocí odvíječek, jak je znázorněno na obr. 7.8. Odvíjení (odlupování) musí být pomalé, aby došlo k plastické deformaci odvíjeného plechu. Materiál musí být schopný deformace a navinutí na válec. Tento postup je uveden v normě ČSN EN ISO 10447 Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů.



Obr. 7.8: Odlupovací zkoušení používajícího upnutí ve svěráku a odvíjejícího nástroje /20/

Odlupovací zkouška je vhodná pro zjištění studených spojů, které jsou nejčastějším problémem u materiálů s povrchovou úpravou. Pomocí této zkoušky, jejíž zatížení je nejvíce podobné provozním podmínkám, jsme schopni určit například opotřebení elektrody, špatné nastavení svařovacích parametrů, nebo také tepelně ovlivněnou oblast. Díky jednoduchosti této zkoušky je možné zkušební vzorek podrobit testu přímo ve výrobě. Na obrázku 7.9 jsou vidět rozměry svarové čočky po provedení zkoušky.

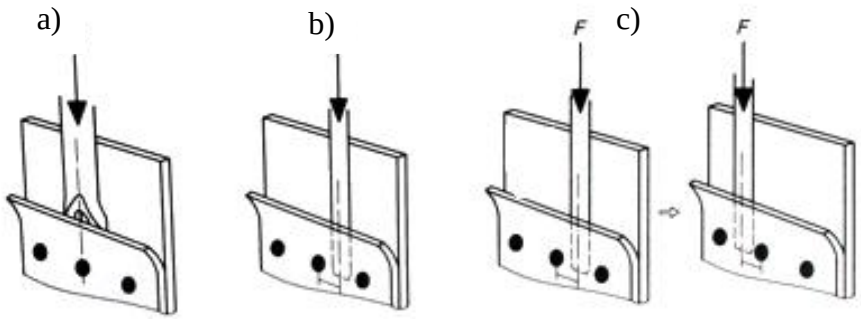


Obr. 7.9 Rozměry svarové čočky po odlupovací zkoušce /18/

7.4 Sekáčová zkouška

Sekáčová zkouška je destruktivní, nebo nedestruktivní. V obou případech se mezi svařené díly zarazí sekáč (obr. 7.10), a po dosažení určité síly dojde k deformaci bodového svaru. Deformace se projevuje vytržením bodového svaru ze základního materiálu, nebo dochází ke zlomení v oblasti spoje. Při těchto zkouškách jsou svary zatěžovány působením tahové síly, což vyvolá napětí, které působí především kolmo k povrchu dělící roviny. Postup a rozměry vzorku jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 10447 Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů.

Při destruktivním zkoušení dochází k úplnému oddělení svařovaných plechů a po jejich oddělení lze určit rozměr (velikost) svaru a typ porušení. Nedestruktivní varianta je pouze doplňující zkouška ke zkoušce destruktivní a postupuje se při ní tak, že se sekáč zarazí mezi svařované díly, což vede k deformaci materiálu mezi svary. Vypovídající schopnost obou variant je velmi závislá na znalostech osoby, která zkoušku provádí. Výhodou je nenáročnost zkoušky.



Obr. 7.10: Sekáčová zkouška odporových bodových svarových spojů /20/

Legenda

a) plochý sekáč s vybráním
b) jednostranné zkoušení
c) oboustranné zkoušení

7.5 Metalografická zkouška

Metalografická zkouška se zabývá hodnocením mikrostruktury i makrostruktury svarového spoje. Pro provedení zkoušky a možnosti zkoumání bodových svarů, je nutné uprostřed rozříznout bodový svar a z něho vytvořit výbrus, který se dále brousí, leští a leptá pro zviditelnění spojení kovů. Pozorování se provádí pod mikroskopem. Na takto zhotoveném výbrusu jsme schopni pozorovat jak průměr svarové čočky, tak i nepravidelnosti svaru. Postup této zkoušky je stanoven normou ČSN EN ISO 1321 Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů.

8. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY

Nedestruktivní zkoušky jsou takové, při kterých nedochází k znehodnocení testovaných dílů, a proto pokud vyhoví požadavkům zkoušky, lze zkoušené díly dále použít. Využití těchto zkoušek je zejména k zaručení jakosti a provozních podmínek daného produktu ve všech etapách výrobního procesu. Kontrolu a rozsah zkoušení udává norma ČSN EN ISO 15614 – 12 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 12: Bodové, švové a výstupkové svařování.

Mezi základní nedestruktivní zkoušky patří zejména vizuální kontrola, která klade vysoký nárok na pozorovací schopnosti pracovníka, a pomocí které jsme schopni odhalit povrchové vady. Velmi významnou nedestruktivní zkouškou pro odporové bodové svařování, je zkouška ultrazvukem, která bude popsána v následující podkapitole. Nedestruktivní metody používané na kontrolu jakosti svaru lze na základě identifikace vad – povrchové nebo vnitřní rozdělit:

- k zjištění povrchových vad se používají tyto metody:
  - vizuální,
  - kapilární (penetrační),
  - magnetická prášková.
- k zjištění vnitřních vad se používají tyto metody:
  - prozářením,
  - ultrazvukem.

8.1 Vizuální kontrola

Jedná se o nejdostupnější a nejlevnější kontrolu svarových spojů. Vizuální kontrola slouží pro zjištění zjevných povrchových vad a zároveň poskytuje ověření pro další nedestruktivní zkoušky (kapilární, magnetická). Kontrola musí probíhat po dokonalém očištění svaru. Pomocí této zkoušky jsme schopni posoudit např. hloubku vtisku elektrody, nebo natavení povrchu materiálu. Vizuální kontrola je jediná metoda, u které hodnotíme přímo samotné vady, u všech ostatních nedestruktivních zkoušek posuzujeme pouze indikace, které ukazují na možný výskyt vad. Výsledky této zkoušky jsou velice významné a měly by se provádět vždy před ostatními kontrolami nedestruktivních zkoušek. Zkouška se dělí na základě použitých zařízení pro měření na *přímou* a *nepřímou*.

Přímá

- kontrola probíhá pouhým okem, nebo se používají jednoduché pomůcky (lupa).
- podmínkou je dobrá zraková schopnost pracovníka.
- vhodná pouze pro dobře přístupné povrchy.
- nutnost dostatečného osvětlení umělým, nebo denním světlem (min. 500 luxů).

Nepřímá

- provádí se pomocí optických, nebo optoelektronických přístrojů.
- použití především tam, kde není umožněn bezpečný přístup pro kontrolu vady, nebo pro nepřípustnost z důvodu geometrie svaru.

8.2 Kontrola ultrazvukem

Při zkouškách ultrazvukem používáme impulsní defektoskopy. Mají buď jednu sondu (pracuje střídavě jako vysílač a přijímač), nebo dvě sondy (sonda vysílací a sonda přijímací). Sondy lze rozdělit na základě konstrukčního uspořádání a podle toho jaké vlny vysílají a přijímají na *přímé*, *úhlové* a *dvojité*.

Svar je testován za pomocí sondy, která je přiložena těsně vedle zkoušeného svaru, odkud vysílá signály. Při šíření ultrazvukové vlny v materiálu dochází díky fyzikálním vlastnostem vlny k odrazu, lámání nebo absorpci této vlny. Ultrazvukové vlny buzené piezoelektrickými nebo elektrostrikčními destičkami mohou být příčné, nebo podélné s vlnovou délkou 1 až 10 MHz. Šíření příčných vln je možné pouze v tuhých látkách, podélné vlny se mohou šířit ve všech skupenstvích (kapalné, plynné, tuhé látky). Součástí každé sondy, která vysílá impulsy je elektroakustický měnič, který mění elektrický signál na mechanický. Nejčastěji se používá piezioelektrický měnič.

Tato metoda je založena na šíření akustického vlnění zkoušeným svařovaným dílem a prostředím, při kterých je zaznamenávána registrace jejich změn, které vznikají interakcí na rozhraní dvou prostředí s odlišnými akustickými vlastnostmi – homogenním prostředím a heterogenitou (vadou). Tyto změny jsou zaznamenávány na obrazovce, kde se vyhodnocuje:

- posunutí vln,
- rozdíl vysílající a přijímací sondy.

Vada v materiálu se stanoví podle výpočtu vlnové délky (8.1).

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{8.1}$$

kde je:

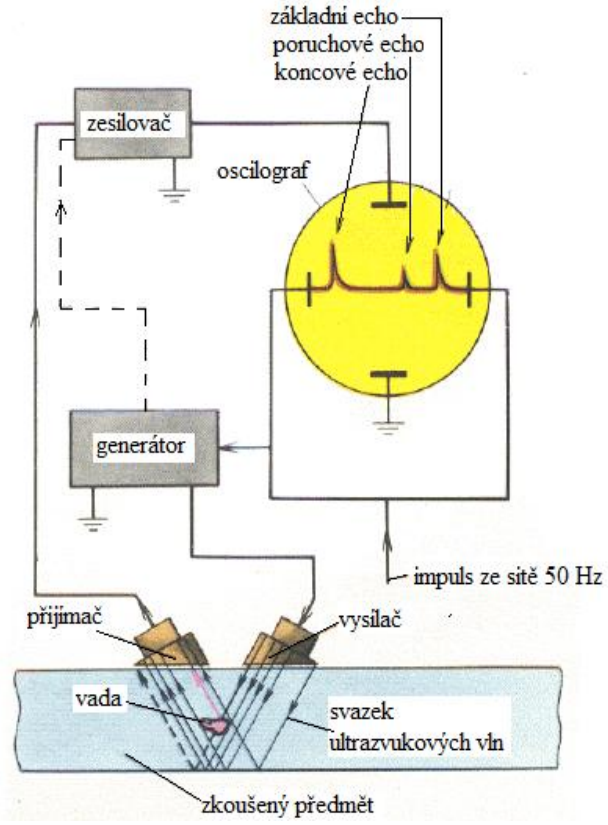
λ…	vlnová délka vln	[nm]
v…	rychlost šíření vln	[$m.s^{-1}$]
f…	frekvence ultrazvukových vln	[MHz]

Ultrazvuková metoda patří mezi nejvýznamnější nedestruktivní zkoušky a slouží ke zjišťování vnitřních necelistvostí. Touto metodou lze zjistit nejen přítomnost vady, ale i její polohu a velikost. Dále můžeme pomocí této zkoušky určit velikost svarové čočky, velikost průvaru a další potřebné parametry. Výhodou je velká citlivost na vnitřní necelistvosti, minimální příprava zkoušeného dílu a okamžité výsledky. Rozeznáváme dva základní typy ultrazvukové zkoušky:

- odrazová metoda,
- průchodová metoda.

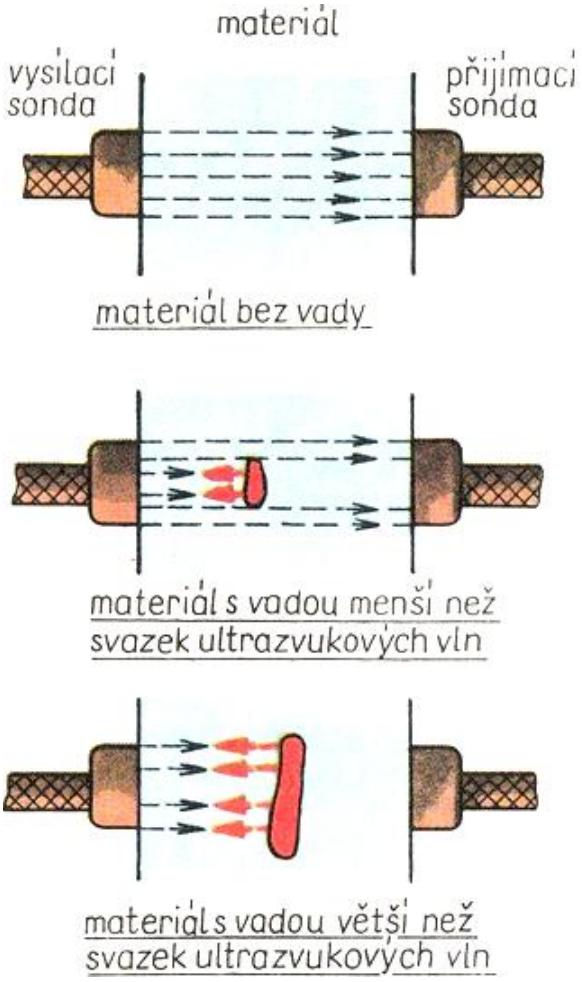
Nejrozšířenější zkouškou ultrazvuku je *odrazová metoda* (obr. 8.1), jejíž princip spočívá ve vyslání krátkodobého impulsu do základního materiálu, v němž se impuls odrazí od protilehlé stěny, nebo případné vady a na téže straně, kde bylo vysíláno, se opět přijímá. Působením řídícího impulsu se rozkmitá oscilační obvod generátoru (vysokofrekvenční oscilátor s frekvencí 0,5 až 5 MHz). Kmity tohoto oscilátoru se přenesou na křemíkový krystal, který je součástí vysílače a jehož prostřednictvím se do zkoušeného materiálu vyšle svazek ultrazvukových vln. Část budícího impulsu je zavedena přes zesilovač do oscilografu, kde se na stínítku zobrazí výkmit – základní (počáteční) echo. Svazek ultrazvukových paprsků prostupuje materiálem až k protilehlé stěně, v okamžiku, kdy ultrazvukové paprsky narazí na protilehlou stěnu, následuje odraz a svazek paprsků se vrací zpět do přijímače, kde rozpohybuje jeho krystal. Vzniklé elektrické vlny se opět vrací přes zesilovač do oscilátoru, kde se na stínítku objeví výkmit – koncové echo. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým echem je přímo úměrná tloušťce zkoušeného dílu.

Vyskytuje – li se v materiálu vada (trhlina, pór, bublina, dutina, vměstek), tak se na stínítku oscilátoru objeví poruchové echo, které je způsobeno právě nárazem a dřívějším odrazem určité části ultrazvukových vln o vadu.



Obr. 8.1: Princip odrazové metody ultrazvukové zkoušky /21/

Druhou metodou je *metoda průchodová* (obr. 8.2), jejíž podstatou je měření ultrazvukové energie, která prochází zkoušeným materiálem. Měření probíhá pomocí dvou sond, které jsou souose umístěny na protilehlých stranách zkoušeného objektu. Jedna sonda vysílá ultrazvukové vlny a druhá sonda přijímá část vln prošlých materiálem. Je-li v materiálu přítomná vada, na její ploše se vlny odrážejí, čímž za vadou vzniká tzv. ultrazvukový stín, díky kterému dochází k poklesu akustického tlaku procházejících vln a do přijímací sondy pak přichází menší hodnota energie. Výskyt vad se pak určuje porovnáním hodnot energie prošlé neporušeným dílem a dílem s vadou.



Obr. 8.2: Princip průchodové metody ultrazvukové zkoušky /22/

9. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Úkolem experimentální části mé diplomové práce bylo zjištění životnosti elektrod při realizaci bodových svarů žárově pozinkovaných ocelových plechů, používaných především v automobilovém průmyslu. K posouzení životnosti byly realizovány srovnávací testy, které se lišily způsobem chlazení. Dalším obsahem této části diplomové práce bude popis svařovacího pracoviště a charakteristika materiálu, který byl používán při testech. Převážná část je věnována popisu jednotlivých experimentů a jejich vyhodnocení.

Experimenty probíhaly v laboratoři, která je vybavena svařovacími lisy a dalšími zařízeními pro sledování a nastavení parametrů svařování. Testy byly provedeny na invertorovém svařovacím lise TECNA 6124 (obr. 9.1), který umožňuje přesné nastavení svařovacího času (po milisekundách), rychlé dosažení nastaveného proudu a konstantní řízení po celou dobu cyklu. Řídící jednotkou tohoto lisu je TE 700, která nabízí možnost uložení 63 svařovacích programů a díky alfanumerickému LCD displeji (obr. 9.1) je velice snadno programovatelná.

Obr. 9.1: Svařovací lis TECNA 6124 s LCD displejem /34/

Pro monitorování svařovacího procesu bylo použito zařízení MIYACHI PECO MG3 – Digital process sentry (obr. 9.2), které umožňuje sledování všech důležitých parametrů svařování (svařovací proud, svařovací čas, napětí, sílu, teplotu) a dále poskytuje mnoho uživatelských potřeb pro kvalitní sledování svařovacího procesu.

Obr. 9.2: Zařízení MIYACHI PECO MG3 pro monitorování svařovacího procesu.

Při chlazení elektrod pomocí kapalného oxidu uhličitého bylo pro nastavení a dávkování CO_2 použito zařízení SIEMENS „CO_2 – Control“ (obr. 9.3). Pro ukládání naměřených a snímaných dat byl k dispozici přístroj ABB IP65 (obr. 9.4), který mimo jiné sloužil i pro sledování časového průběhu teplot prostřednictvím termočlánků, které byly upevněny na boku pracovní části elektrodových čepiček.

Obr. 9.3: Zařízení SIEMENS pro kontrolu kapalného oxidu uhličitého.

Obr. 9.4: Zařízení ABB IP 65 pro zaznamenávání dat z procesu svařování a sledování průběhů teplot.

Celkový pohled na svařovací pracoviště se všemi zmíněnými zařízeními je na obr. 9.5, dále je na fotografii k zahlednutí tlaková láhev s chladícím médiem a také si lze povšimnout gumových hadic, které jsou připevněny k elektrodám pro realizaci experimentu chlazení vodou (otevřený systém chlazení).

Obr. 9.5: Svařovací pracoviště

10. METODIKA A HODNOCENÍ ZKOUŠEK ŽIVOTNOSTI

Tato kapitola pojednává o metodickém postupu hodnocení životnosti elektrod při bodovém odporovém svařování žárově pozinkovaných ocelových plechů používaných především v automobilovém průmyslu. Zkoušky životnosti probíhaly v souladu s normou ČSN EN ISO 8166 (definice životnosti elektrod byla popsána v kapitole 5.2). Svařování probíhalo při svařovacím programu IK – program konstantního svařovacího proudu. Na základě výsledků zkoušek lze stanovit následující vlivy na životnost elektrod:

- účinek materiálu elektrod (tvar, rozměry) při svařování daného materiálu,
- vliv svařovaného materiálu při konstantním tvaru a rozměrů elektrod,
- vliv svařovacích podmínek (kombinace materiálu a tvaru elektrod pro různé druhy materiálů),
- vliv typu svařovacího stroje,
- vliv chlazení elektrod.

Elektroda dosáhne své životnosti, když provedené svary mají průměr svaru podle zjištění při odlupovací zkoušce menší než 3,5√t (kde t je tloušťka plechu v mm) u tří svarů na zkušebním vzorku pěti po sobě následujících svarů. Odlupovací zkouška musí být provedena podle ISO 10447. Pro získání údajů o velikosti rozptylu se všechny zkoušky životnosti opakují třikrát [30].

10.1 Charakteristika základního materiálu

Materiál pro provedení testů byl žárově pozinkovaný plech HX – 220 – BD + Z 100 MCO. Přesné specifikace tohoto materiálu udává norma ČSN EN 10346 – Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky – Technické dodací podmínky. Význam jednotlivých písmen (HX, BD) je uveden v tabulce 10.1, kde je také (zeleně označeno) chemického složení materiálu, používaného při experimentech. Písmeno „Z" značí zinkový povlak, jehož hodnoty (tloušťka, hmotnost) a další charakteristiky (způsob provedení, jakost povlaku) jsou rovněž uvedeny v normě ČSN EN 10346.

Tab. 10.1 Chemické složení (rozbor tavby) ocelí s vyšší mezí kluzu podle ČSN EN 10346 [24]

Označení			**Chemické složení hmotnostní %**							
Druh oceli		**Symboly pro druhy dodávaných povlaků**	**C max.**	**Si max.**	**Mn max.**	**P max.**	**S max.**	**$Al_{celk.}$**	**Nb max.**	**Ti max.**
Značka [a]	**Číselné označení**									
HX160YD	1.0910	+Z, +ZF, +ZA +AZ, +AS	0,01	0,15	0,70	0,06	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX180YD	1.0921		0,01	0,20	0,70	0,06	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX180BD	1.0914		0,1	0,50	0,70	0,06	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX220YD	1.0923		0,01	0,20	0,90	0,08	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX220BD	1.0919		0,1	0,50	0,70	0,08	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX260YD	1.0926		0,01	0,25	1,30	0,10	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX260BD	1.0924		0,1	0,50	0,80	0,10	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX260LAD	1.0929		0,11	0,50	0,60	0,030	0,025	≥ 0,015	0,09	0,12
HX300YD	1.0927		0,015	0,30	1,60	0,10	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX300BD	1.0930		0,11	0,50	0,80	0,12	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX300LAD	1.0932		0,11	0,50	1,00	0,030	0,025	≤ 0,1	0,09	0,12
HX340BD	1.0945		0,11	0,50	0,80	0,12	0,025	≤ 0,1	0,09	0,15
HX340LAD	1.0933		0,11	0,50	1,00	0,030	0,025	≥ 0,015	0,09	0,12
HX380LAD	1.0934		0,11	0,50	1,40	0,030	0,025	≥ 0,015	0,09	0,15
HX420LAD	1.0935		0,11	0,50	1,40	0,030	0,025	≥ 0,015	0,09	0,15
HX460LAD	1.0990		0,15	0,50	1,70	0,030	0,025	≥ 0,015	0,09	0,15
HX500LAD	1.0991		0,15	0,50	1,70	0,030	0,025	≥ 0,015	0,09	0,15

a) **H** ploché výrobky k tváření za studena s vyšší mezí kluzu
X způsob válcování není předepsán (válcování za tepla nebo za studena)
nnn minimální mez kluzu $R_{p0,2}$ v MPa
D určeno k žárovému povlakování ponorem; symboly B, Y; B -ocel, která vykazuje smluvní meze kluzu po ohřevu´na 170°C/20min

10.2 Svařovací parametry při zkoušení vzorků

Na začátku této kapitoly, bylo uvedeno, že zkouška životnosti elektrod probíhala při svařovacím programu IK – program konstantního svařovacího proudu. Při provozu s konstantním proudem může být hodnota proudu, s nímž má být svařování provedeno, nastavena přímo řídící jednotkou svařování. Během svařování měří jednotka v každé půlperiodě efektivní hodnotu (RMS) svařovacího proudu a udržuje nastavený proud na bázi matematického korekčního algoritmu konstantní. Tento pracovní režim umožňuje udržovat žádaný svařovací proud konstantní, rovněž i při kolísání faktorů jako je síťové napětí nebo stav svařovacích elektrod a stav povrchu plechu. Tento program byl zvolen i přesto, že do jisté míry kompenzuje rostoucí opotřebení elektrod. Na stroji byly řídicím systémem nastaveny následující parametry:

- efektivní svařovací proud: 6,8 kA (200 A pod hranicí výstřiků)
- svařovací síla: nastavený tlak 4 bary – tj. cca 2000 N
- čas přestavení ramen: 35 ms
- svařovací čas: 160 ms
- čas náběhu proudu: 5 ms
- stisk po svařování: 3 periody síťového kmitočtu
- počet impulzu: 1
- svařovací prodleva: 66,5 period síťového kmitočtu

Při shora uvedených parametrech činila kadence přibližně 30 svarů za minutu (typické pro robotové bodové svařování). U počátečních zkoušek bylo svařováno s manuálním ovládáním, neboť bylo nutno získat určité návyky při svařování jednotlivých svarů na zkušebním plechu, ale i v těchto případech byla kadence prakticky shodná. Průměr pracovní plochy elektrody se stanovuje na základě tloušťky plechu a vypočítá se podle vztahu (10.1)[30]. Tento vztah udává norma ČSN EN ISO 8166. Tvar konce elektrody musí být normalizovaný komolý kužel (s vrcholovým úhlem 120°).

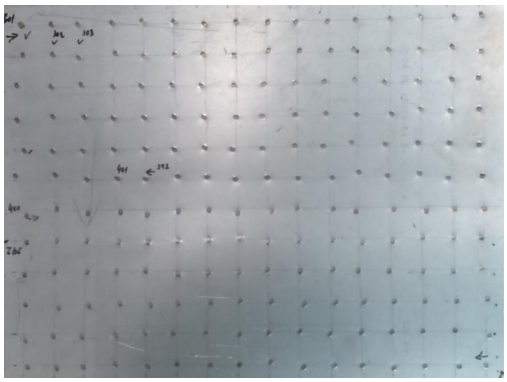
$$d = 5\sqrt{t} \tag{10.1}$$

kde je:
d… průměr pracovní plochy elektrody [mm]
t… tloušťka plechu [mm]

Parametry svařovacího procesu (včetně průměru pracovní plochy elektrody) byly zvoleny pro pozinkované ocelové plechy tloušťky 0,4 až 3 mm podle normy ČSN EN ISO 14373 – Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných uhlíkových ocelí. Tabulka pro směrné hodnoty pozinkovaných ocelových plechů byla uvedena v teoretické části této diplomové práce (kapitola 4.1 svařovací parametry).

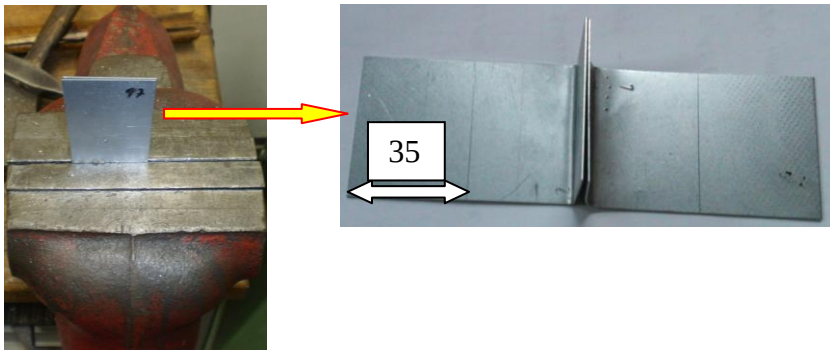
10.3 Postup zkoušky

Při realizaci jednotlivých experimentů se postupovalo v souladu s normou. Na plech bylo realizováno 192 bodových svarů (12 řad po 16 svarech – obr. 10.6), přičemž umístění jednotlivých svarů muselo být nejméně 10 mm od kraje plechu s roztečí 30 mm mezi jednotlivými bodovými svary. Před svařováním byly na plech vyznačeny polohy jednotlivých svarů tužkou. V našem případě u experimentu jedna a dva bylo pro zpřísnění zkoušek realizováno 92 bodových svarů. U experimentu tři a čtyři bylo na plech realizováno 192 bodových svarů. Podle ustanovení normy se první řada svarů začíná v jednom rohu panelu a svary se provádějí v požadovaném intervalu napříč plechu. Po dokončení první řady se plech obrátí a v obráceném sledu se dokončí druhá řada. Tento postup se opakuje, dokud plech nedosáhne teploty 60°. Potom se plech otočí vodorovně o 180° a postup se opakuje. Svařování se ukončí po zhotovení 192 svarů na plechu. Na každých 192 svarů se provádí osm zkušebních svarů, které musí být provedeny na samostatném plechu. Těchto osm svarů bylo realizováno na zkušebních vzorcích, které byly dále podrobeny zkoumání v souladu s normami pro zkoušku střihem a pro odlupovací zkoušku. Postup těchto zkoušek, včetně rozměrů zkušebních vzorků byly podrobně popsány v teoretické části této diplomové práce. Plech pro vykonání těchto zkoušek musí být nejméně 470 mm dlouhý a 350 mm široký. Pro naše experimenty byly zvoleny rozměry 500x370x0,7.



Obr. 10.6: Realizace 192 svarů na žárově pozinkovaném plechu.

Zkušební vzorky byly pro lepší dohledatelnost a přehlednost označeny číslicemi pomocí razníků. Podle pořadí experimentů se na vzorky dále vyrazil pomocí důlčíku určitý počet teček (např. experiment 2 – dvě tečky), toto opatření sloužilo k zamezení riziku pomíchání vzorků mezi jednotlivými experimenty. Pro odlupovací zkoušku bylo zapotřebí svařené plechy upravit. Úprava spočívala v ohnutí zkušebních vzorků (obr. 10.7) přesně definovanými rozměry, které udává norma ČSN EN 14270. Vzorek byl tedy nejprve označen ryskou 35 mm od kraje a po té se upnul do svěráku, kde byl upraven tak, aby jej bylo možné upnout do trhacího zařízení.

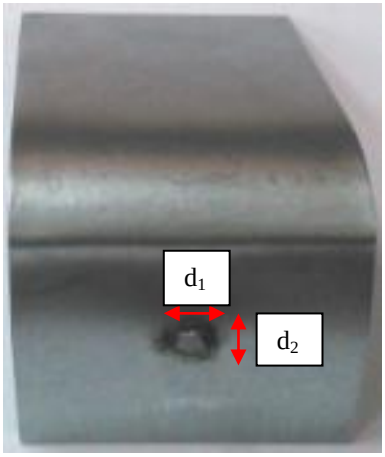


Obr. 10.7: Úprava vzorku pro odlupovací zkoušku

Pro vyhodnocení zkouškou tahem, byly zkušební vzorky označeny ryskou v požadované vzdálenosti od okrajů jednotlivých plechů, jak udává norma ČSN EN 14273. Viditelná ryska na koncích obou plechů sloužila pro správné a přesné upnutí vzorků do trhacího stroje. U obou případů (zkouška odlupovací, zkouška střihem) byl vzorek upnut a postupně zatěžován, až do oddělení plechů. Během tohoto procesu byl v programu Labnet zaznamenáván průběh maximální síly F_{MAX} v závislosti na dráze. Klíčová byla právě hodnota maximální zatěžující síly F_{MAX}. Trhací zařízení spolu s PC pro vyhodnocení je na obr. 10.8.

Obr. 10.8: Trhací zařízení s PC pro vyhodnocení

Po oddělení zkušebních vzorků, bylo zapotřebí pro určení velikosti svaru změřit rozměry svaru d_1 a d_2 (obr. 10.9). Svary byly měřeny na dvou místech kolmých na sebe. Pro změření těchto rozměrů byl k dispozici digitální přístroj Mitutoyo. Postup měření probíhal tak, že se oddělená část zkušebního vzorku vložila mezi čelisti. Spodní čelist byla pevná a sešroubována s upevňovací deskou digitálního zařízení, horní čelist byla pohyblivá a umožňovala přesné najetí ke svaru. Nejprve se změřil rozměr d_2, po té se vzorek otočil o 90° a doměřil se rozměr d_1. Při měření bylo nutné dbát na přesné založení požadované části svaru (d_1,d_2) kterou jsme chtěli změřit. Po přesném založení se sešlápnul vypínač, prostřednictvím kterého se změřená hodnota svaru automaticky zapsala do tabulky. Celý postup měření je na obr. 10.10. Čelisti upevněné na digitálním přístroji byly před měřením kalibrovány pomocí měrky. Celkový pohled na měřící pracoviště je na obr. 10.13.



Obr. 10.9: Oddělená část vzorku s označením rozměrů, které byly měřeny.

Legenda

1… digitální přístroj
2… vzorek mezi čelistmi
3… měření rozměru d_2
4… detail měření
⇨ pohyb horní čelisti

Obr. 10.10: Postup měření svaru

Obr. 10.11: Měřící pracoviště

11. POPIS REALIZACE EXPERIMENTŮ

Jednotlivé experimenty byly realizovány se svařovacími parametry, které byly uvedeny v kapitole 10. U prvního a druhého experimentu bylo použito centrální chlazení, které je součástí svařovacího pracoviště. Elektrody u třetího experimentu byly chlazeny pomocí tekutého oxidu uhličitého v množství 0,25 g na 1 svar. U čtvrtého experimentu probíhalo chlazení elektrod pomocí vody z rozvodu pitné vody prostřednictvím pryžových hadic, které byly na jednom konci připevněny k elektrodám, a druhý konec vedl do odpadu. Množství vody bylo 6 litrů za minutu.

Limit pro určení životnosti elektrod byl stanoven na základě normy ČSN EN ISO 8166 jako 3,5√t (kde t je tloušťka plechu v milimetrech). V našem případě pro tloušťku plechu 0,7 mm byla limitní hodnota 2,928, tj. zaokrouhleno na 3 mm.

Prostřednictvím programu Labnet byly pro jednotlivé série zkušebních vzorků vygenerovány protokoly o zkoušce životnosti, které znázorňují změřené hodnoty (dráhu a maximální zatěžující sílu) a průběhy grafů jednotlivých sad. Vybrané grafy, popisující zmíněnou sérii daného experimentu budou vloženy přímo pod kapitolu, v níž je experiment popsán. Zbylá část grafů bude vložena do diplomové práce formou přílohy. Protokol vždy obsahuje *název* (zkouška životnosti elektrod a číslo experimentu), dále *vstupní parametry* (normu provedené zkoušky podle ČSN EN ISO, materiál plechu, materiál elektrod, metodu svařování, podmínky měření a rychlost zatěžování). Další části protokolu jsou *výstupní parametry* (zde jsou dvě tabulky, první tabulka uvádí označení vzorku, hodnoty maximálních

zatěžujících sil v sérii a číslo provedených zkoušek, druhá tabulka je statistika, která zobrazuje průměrnou hodnotu zatěžující síly změřených vzorků, směrodatnou odchylku a počet provedených zkoušek v sérii). Pod těmito údaji jsou vyobrazeny průběhy zatěžující síly jednotlivých zkušebních vzorků.

Při realizaci jednotlivých experimentů sloužila vždy první sada deseti vzorků (pro odlupovací zkoušku a zkoušku střihem) pro tzv. záběh elektrod. Přesto však byly tyto rozměry svarů změřeny a budou uvedeny v tabulkách jednotlivých experimentů.

11.1 Zkoušky životnosti elektrodových čepiček při centrálním chlazení

Při tomto způsobu chlazení byly realizovány první dva experimenty. U prvního experimentu byl interval vzhledem k účelu zkoušky v první fázi zkrácen (zpřísnění podmínek zkoušky) na 92 svarů a po zhotovení zkušebních vzorků (pro zaběhnutí elektrod) následovala realizace opět 92 bodových svarů, na které navazovala další sada pěti vzorků pro odlupovací zkoušku (93-97) a tři vzorky pro zkoušku střihem (98-100). Dále se provedlo 192 svarů podle postupu, který stanovuje norma ČSN EN ISO 8166 a po zhotovení těchto bodových svarů následovala sada pěti vzorků (293-297; odlupovací zkouška) a zkušební vzorky pro zkoušku střihem (298-300). Po dokončení těchto vzorků následoval opět zkrácený interval (92. svarů), na který navazovala sada čtyř zkušebních vzorků pro odlupovací zkoušku (393-396) a k ní tři vzorky pro hodnocení zkouškou tahem (398-400). Poslední série zkušebních vzorků (593-597; odlupovací zkouška) a (598-600 zkouška střihem) proběhla opět po zhotovení 192 svarů. Naměřené hodnoty zkušebních vzorků jsou uvedeny v tabulce 11.1 pro odlupovací zkoušku a 11.2 pro zkouška střihem. V tabulkách jsou obsaženy rozměry d_2 a d_1 a jejich střední hodnota svaru d_s. Vedle těchto rozměrů je v tabulce i Fm – maximální zatěžující síla daného vzorku. Zeleně označená políčka v tabulkách znázorňují okomentované změny rozměrů svarů d_1 a d_2. Z tabulky 11.1 je patrné, že prvních pět vzorků byly hodnoty svarů vysoko nad limitem povelené životností elektrod. V sérii zkušebních vzorků označených 393 – 396 byla u vzorku 396 naměřená hodnota d_2 2,39 (viz tabulka 11.1, označeno zeleně). Fotografie vzorku 396 je na obr 11.1.

Při vyhodnocování zkoušky střihem byly naměřené hodnoty svarů (d_2) od první sady (98-100) do konce třetí sady (398-400) okolo 4 mm. Rozměr d_1 měl první pokles svaru na 3 mm v druhé sérii (vzorek 299). V poslední sérii vzorků experimentu jedna (zkouška střihem) byly naměřeny rozměry d_1 2,129 a 2,658 (vzorek 598 a 600).

Obr. 11.1: svar vzorku č. 396

Tab. 11. 1: Naměřené hodnoty experiment 1, odlupovací zkouška

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1 ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
93	4,375	4,855	4,615	725,0
94	3,734	4,699	4,2165	744,3
95	4,678	4,81	4,744	758,1
96	4,374	4,91	4,642	736,6
97	4,033	4,91	4,4715	649,9
293	3,97	4,37	4,17	667
294	3,518	4,256	3,887	655,9
295	3,928	4,555	4,2415	637,2
296	4,302	4,568	4,435	775,3
297	4,13	4,379	4,2545	788,5
393	5,162	4,517	4,8395	711,7
394	4,309	4,409	4,359	688,5
395	3,112	4,667	3,8895	662,6
396	2,39	4,546	3,468	651,5
593	4,418	3,914	4,166	712,3
594	3,84	3,706	3,773	735,5
595	4,288	4,046	4,167	748,2
596	3,764	3,693	3,7285	690,2
597	4,277	3,252	3,7645	726,1

Tabulka 11. 2 Naměřené hodnoty experiment 1, zkouška střihem

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1 ZKOUŠKA STŘIHEM				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
1	5,161	4,809	4,4475	4046,5
2	4,304	5,159	4,531	4121,6
3	4,08	4,815	4,733	4020,0
4	4,461	5,005	4,829	4111,7
5	4,526	5,132	4,733	4180,2
6	4,423	5,123	4,781	4170,2
7	4,355	4,934	4,612	3911,7
98	4,913	5,081	4,997	4237,9
99	4,813	4,934	4,8735	4276,6
100	4,519	4,675	4,597	4175,0
298	4,002	4,847	4,4245	4103,7
299	4,058	3,894	3,976	3987,7
300	4,272	3,913	4,0925	3987,7
398	4,177	3,148	3,6625	3821,4
399	4,724	4,212	4,468	3979,4
400	4,769	3,996	4,3825	3909,8
598	3,443	2,129	2,786	3539,1
599	3,503	3,848	3,6755	4048,5
600	3,959	2,658	3,3085	4100,4

Na obrázku 11.2 je graf, který znázorňuje průběhy a dosažené hodnoty zatěžujících sil první série. Nejvyšší maximální síla byla 758,1 N (vzorek č. 95). Na obrázku 11.3 je graf s výsledky zkoušek třetí sady (393-396), který ukazuje, že vzorek 396 (d_2 = 2,39) dosáhl nejmenší hodnoty maximální síly. Vzorek 393, měl zpočátku standardní průběh růstu, ale okolo 350 N nastal malý pokles, který skončil cca na hodnotě 300 N, a po té se hodnota maximální síly dostala na nejvyšší z celé série. Průměrná hodnota maximální zatěžující síly ze všech zkušebních vzorků v sérii byla 678,6 N.

Protokol znázorňující výsledky naměřených sil pro vzorky první sady zkoušky střihem (98-100) je na obr. 11.4, kde vidíme téměř stejné hodnoty maximální síly u všech tří vzorků, přičemž nejmenší síla urazila nejkratší dráhu. Na obr. 11.5 jsou výsledné hodnoty a průběhy grafů posledních zkušebních vzorků z experimentu jedna (598 – 600). Na tomto grafu lze vypozorovat rozdíl v zatěžující síle mezi vzorkem 598 a 600 o 561 N.

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

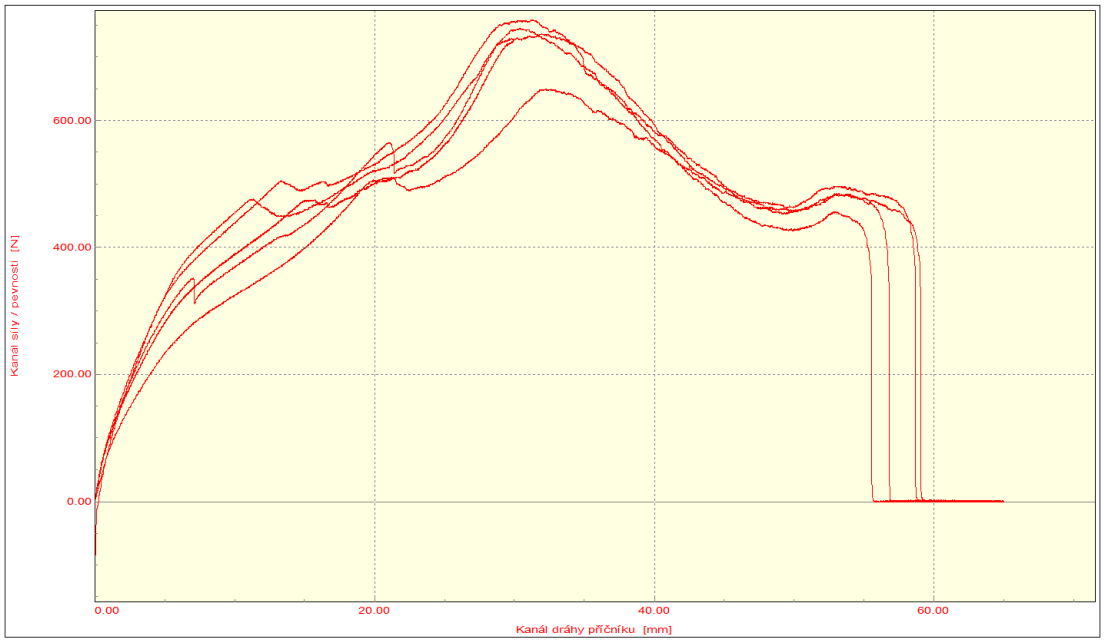
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	93	725.0
2	94	744.3
3	95	758.1
4	96	736.6
5	97	649.9

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	722.8
Směrodatná odchylka	42.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.2: Protokol zkušebních vzorků (93-97), odlupovací zkouška (experiment 1).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
8	393	711.7
9	394	688.5
10	395	662.6
11	396	651.5

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	678.6
Směrodatná odchylka	27.0

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.3: Protokol zkušebních vzorků (393-397), odlupovací zkouška (experiment 1).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

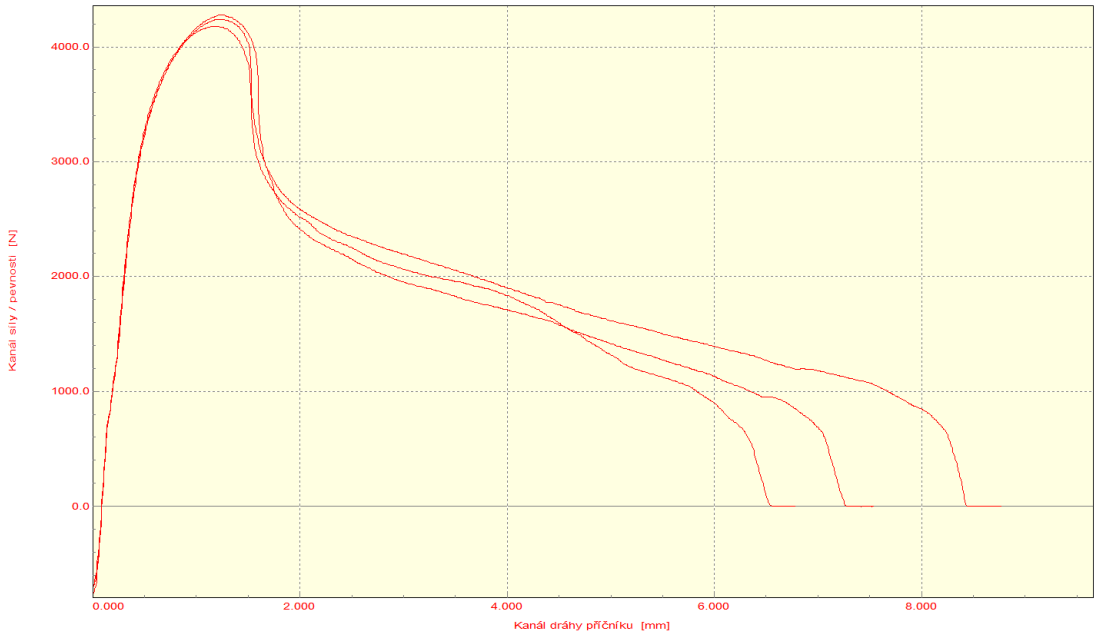
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
20	98	4237.9
21	99	4276.6
22	100	4175.0

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4229.8
Směrodatná odchylka	51.3



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.4: Protokol zkušebních vzorků (98-100), zkouška střihem (experiment 1).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
29	598	3539.1
30	599	4048.5
31	600	4100.4

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3896.0
Směrodatná odchylka	310.2

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

11.5: Protokol zkušebních vzorků (598-600), zkouška střihem (experiment 1).

Druhý experiment probíhal tak, že mezi jednotlivými sériemi zkušebních vzorků pro odlupovací zkoušku a zkoušku střihem, se zhotovilo vždy 92 svarů. Pro zaběhnutí elektrod bylo realizováno pět vzorků pro odlupovací zkoušku (1-5) a pět pro hodnocení zkouškou střihem (6-10). Značení zkušebních vzorků bylo ve stejném duchu jako u experimentu jedna, tzn., že vzorky určené pro odlupovací zkoušku byly označeny (93-97, 193-197; 293-297 393-397; 493-497; 593-597) a vzorky pro hodnocení zkouškou střihem byly označeny (98-100; 298-300; 498-500; 598-600). Při pohledu do tabulky 11.3 lze na základě naměřených hodnot svarů o sériích pro odlupovací zkoušku říci, že ke změně rozměru svaru (pokles cca o 2 mm) došlo až při šesté sadě zkušebních vzorků (označeno zeleně). Změna byla patrná pouze u rozměru d_2, hodnoty d_1 byly relativně stejné napříč všemi sériemi okolo 4 až 5 mm, s výjimkou jediného svaru vzorku 2, který měl rozměr svaru 3mm. (označeno zeleně). Při poslední sadě vzorků pro odlupovací zkoušku měl rozměr svaru opět cca 4 mm, jako tomu bylo do série 6.

U zkoušky střihem bylo z naměřených hodnot svarů vypozorováno (tab. 11.4), že první pokles rozměru svaru (d_1, d_2) na 3 mm bylo u vzorků č. 299 a 300 (4. série; označeno zeleně). Od tohoto okamžiku už rozměr svaru d_1 nedosáhl (s výjimkou vzorku 499; 6 sada) hodnoty 4 mm. U vzorku č. 598 poslední série jsme zaznamenali dokonce rozměr bodového svaru 2 mm (označeno zeleně).

Na obrázku 11.6 je protokol s výsledky odlupovacích zkoušek pro první sérii vzorků, ze kterého je možné usoudit, že svar na vzorku 2 je nekvalitní, jelikož jeho maximální hodnota zatěžující síly dosáhla pouze hodnoty 177 N. Graf s výsledky odlupovacích zkoušek zmiňované šesté série je na obr. 11.7, kde je vidět netradiční průběh s mnoha poklesy v počátku zatěžování (vzorek 494 a 497).

Průběhy grafů spolu s výslednými hodnotami zatěžujících sil pro zkoušku střihem čtvrté sady jsou na obrázku 11.8. Všechny tři vzorky této série dosáhly hodnoty maximální, zatěžující síly přes 4100 N. Jednotlivé průběhy všech tří vzorků jsou si velice podobné, liší se pouze délkou dosažené dráhy. Vzorek číslo 300 dosáhl nejvyšší maximální zatěžující síly (4243,9 N). Na obrázku 11.9 jsou znázorněny průběhy grafů poslední série druhého experimentu.

Tab. 11.3: Naměřené hodnoty experiment 2, odlupovací zkouška

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2 ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
1	4,423	4,282	4,3525	747,7
2	4,28	3,696	3,988	177,1
3	4,161	4,171	4,166	716,8
4	4,994	4,529	4,7615	691,4
5	4,574	4,115	4,3445	803,0
93	5,074	4,846	4,96	748,3
94	5,002	4,689	4,8455	764,9
95	4,891	4,623	4,757	624,0
96	5,077	4,82	4,9485	658,2
97	5,106	4,719	4,9125	740,6
193	4,612	4,702	4,657	778,1
194	4,314	4,738	4,526	805,7
195	5,018	4,75	4,884	832,3
196	5,102	4,587	4,8445	772,6
197	5,121	4,818	4,9695	799,1
293	4,555	4,49	4,5225	789,2
294	4,586	4,546	4,566	792,5
295	4,68	4,456	4,568	745,5
296	4,695	4,743	4,719	718,5
297	4,51	4,627	4,5685	836,1
393	4,646	4,646	4,646	777,0
394	4,381	4,411	4,396	700,2
395	4,62	4,467	4,5435	735,0
396	4,322	4,754	4,538	763,2
397	4,493	4,646	4,5695	818,5
493	3,784	4,718	4,251	741,1
494	3,545	4,152	3,8485	662,1
495	3,291	4,321	3,806	678,1
496	3,266	4,207	3,7365	664,3
497	2,821	4,349	3,585	647,8
593	4,005	4,859	4,432	726,8
594	4,192	4,894	4,543	737,8
595	4,052	4,772	4,412	782,6
596	4,006	4,922	4,464	627,3
597	4,309	5,002	4,6555	693,6

Tab. 11.4: Naměřené hodnoty experiment 2, zkouška střihem

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2 ZKOUŠKA STŘIHEM				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
6	3,752	4,562	4,157	3947,8
7	4,61	4,659	4,6345	4022,8
8	4,963	5,564	5,2635	4153,8
9	4,876	4,965	4,9205	4105,2
10	5,015	4,959	4,987	4031,2
98	4,724	5,104	4,914	4858,7
99	4,189	5,119	4,654	4169,8
100	4,475	4,199	4,337	4127,3
198	4,143	4,838	4,4905	4244,4
199	4,471	4,878	4,6745	4154,4
200	4,29	4,925	4,6075	4138,3
298	4,228	4,751	4,4895	4213,5
299	3,867	3,934	3,9005	4195,2
300	3,9	3,734	3,817	4243,9
398	4,114	3,269	3,6915	4139,5
399	4,114	3,653	4,1155	4080,3
400	4,523	3,837	4,18	4153,3
498	4,523	3,837	4,3725	4099,7
499	4,706	4,039	4,361	4019,6
500	4,821	3,901	4,1495	4111,3
598	3,174	2,301	2,7375	4279,2
599	3,474	3,816	3,645	4252,1
600	3,528	3,019	3,2735	4256,6

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

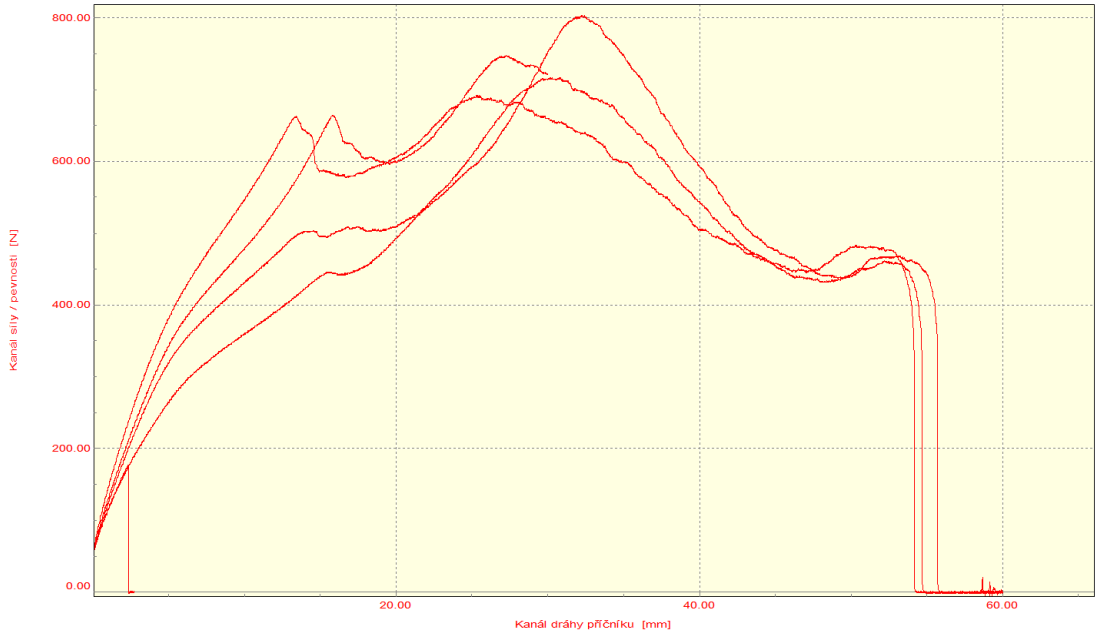
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	1	747.7
2	2	177.1
3	3	716.8
4	4	691.4
5	5	803.0

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	627.2
Směrodatná odchylka	255.0



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.6: Protokol zkušebních vzorků (1-5), odlupovací zkouška (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

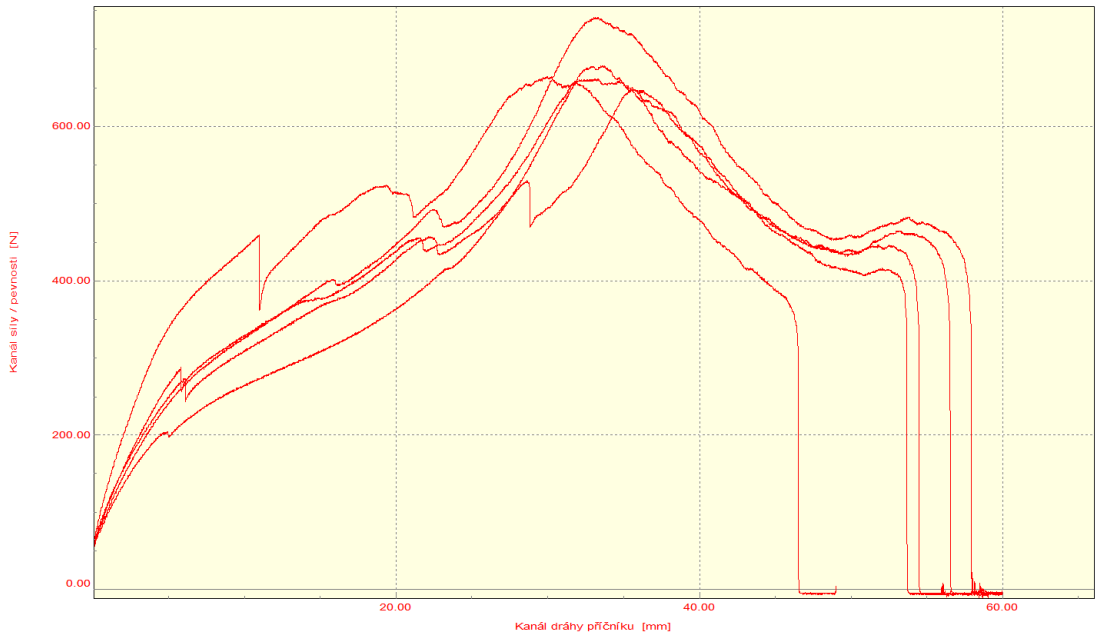
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 100 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
26	493	741.1
27	494	662.1
28	495	678.7
29	496	664.3
30	497	647.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	678.8
Směrodatná odchylka	36.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.7: Protokol zkušebních vzorků (493-497), odlupovací zkouška (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

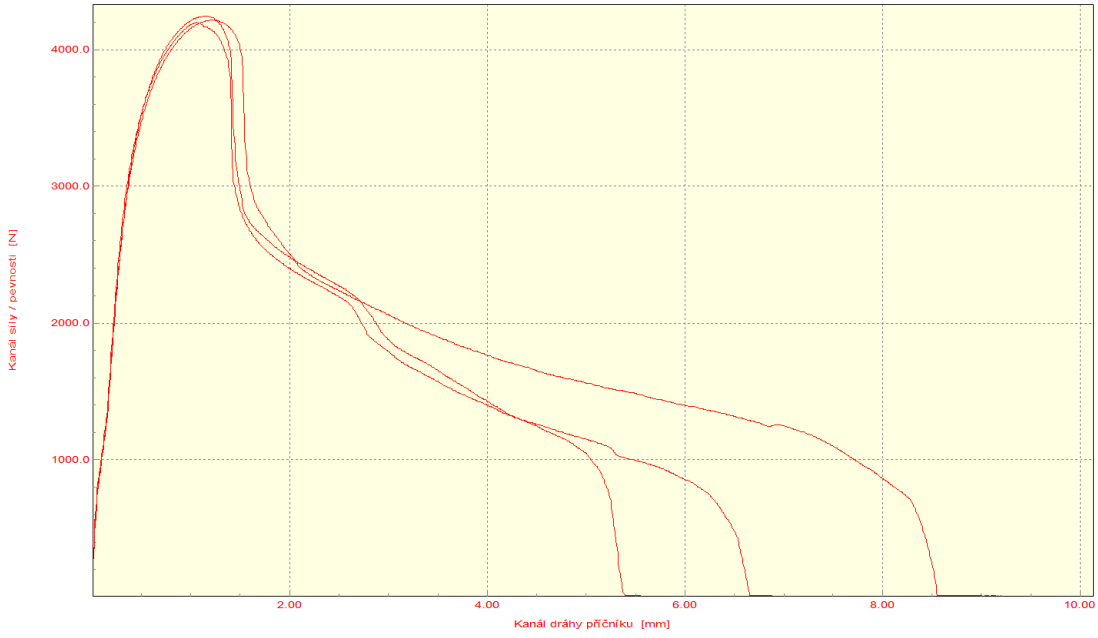
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
10	300	4243.9
11	299	4195.2
12	298	4213.5

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4217.5
Směrodatná odchylka	24.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11. 8: Protokol zkušebních vzorků (298-300), zkouška střihem (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

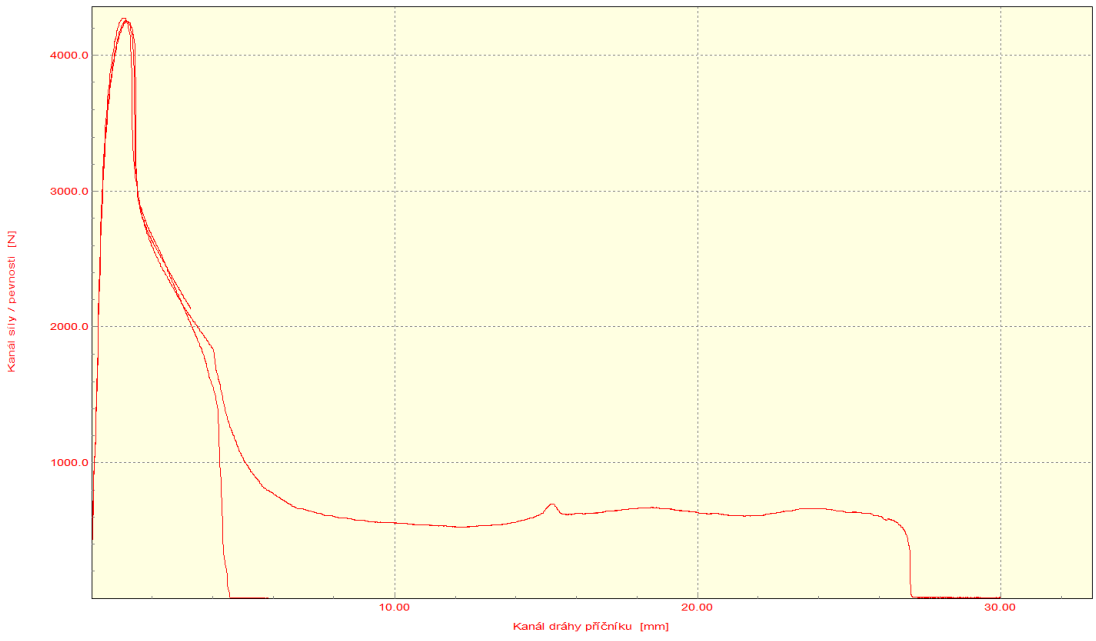
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	600	4256.6
2	599	4252.1
3	598	4279.2

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4262.6
Směrodatná odchylka	14.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.9: Protokol zkušebních vzorků (598-600), zkouška střihem (experiment 2).

11.2 Zkoušky životnosti elektrodových čepiček - chlazení pomocí kapalného CO_2

Při realizaci experimentu tři, bylo mezi jednotlivými zkušebními vzorky zhotoveno vždy 192 svarů, tak jak je stanoveno normou. Opět zde byla zhotovena série zkušebních vzorků pro zaběhnutí elektrod, ve které jsme zaznamenali, že vzorky 1, 2, 3 (odlupovací zkouška) měly podobné hodnoty svaru (d_1, d_2) okolo 2 mm. První pokles svaru na 3 mm byl u páté série (vzorek 793, 794) zbylé tři vzorky této série měly rozměry svaru okolo 4 mm. U zbytku zkušebních sérií (6, 7, 8, 9) se naměřené hodnoty svaru nedostaly na 4 mm, (s výjimkou vzorků číslo 1195, 1196, 1197). Rozměr d_1 u zmíněných sad (6, 7, 8, 9) se pohyboval okolo 4 mm. Zmíněné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 11.5 a označeny zeleně.

Hodnocení zkoušky střihem u experimentu tři lze shrnout tak, že naměřené hodnoty svarů kolísaly okolo 3 až 4 mm. Hodnoty jsou uvedené v tabulce 11.6.

Svařování u experimentu tři, bylo ukončeno po zhotovení 1600 bodových svarů, z důvodu nesymetričnosti svarové čočky. Ukázka nevyhovujícího svaru z experimentu tři je na obr. 11.10.

Na obrázku 11.11 je graf s výsledky a průběhy počáteční série odlupovací zkoušky (vzorky 1-7), z něhož je patrné, že první tři vzorky, které měly nejnižší hodnoty d_1 a d_2 (okolo 2 mm) z celé sady dosáhly nejmenší maximální zatěžující síly a jejich dráha je v porovnání se zbylými vzorky o významnou část kratší. Nejvyšší hodnota maximální zatěžující síly byla 892,4 N (vzorek 6; označeno zeleně) a tato hodnota byla vysoko nad průměrnou hodnotou maximální zatěžující síly (619,3 N) z celé série. Výsledky série vzorků (793-797), kde byl zaznamenán první pokles rozměru d_2 na 3 mm je na obrázku 11.12.

Obr. 11.10 ukázka svaru vzorku z experimentu 3

Tab. 11.5: Naměřené hodnoty experiment 3, odlupovací zkouška

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3 ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
1	2,1	2,03	2,065	454,3
2	2,322	2,259	2,2905	378,6
3	2,054	2,357	2,2055	507,6
4	4,161	4,829	4,495	708,4
5	3,703	4,67	4,1865	694,1
6	4,677	4,755	4,716	892,4
7	3,766	4,361	4,0635	700,2
193	5,006	5,123	5,0645	853,2
194	5,111	4,805	4,958	717,3
195	5,285	4,888	5,0865	782,5
196	4,598	4,814	4,706	847,1
197	4,937	4,797	4,867	733,8
393	5,417	5,036	5,2265	953,7
394	4,546	4,973	4,7595	665,3
395	4,461	4,878	4,6695	692,3
396	5,19	5,023	5,1065	684,1
397	5,069	5,638	5,3535	690,8
593	4,433	4,992	4,7125	667,6
594	4,189	4,578	4,3835	655,4
595	4,001	4,677	4,339	665,3
596	4,884	4,59	4,737	697,9
597	4,488	4,721	4,6045	814,5
793	3,806	4,704	4,255	704,6
794	3,988	4,558	4,273	697,9
795	4,137	4,407	4,272	974,7
796	4,508	4,479	4,4935	578,6
797	4,091	4,696	4,3935	584,7
993	3,708	4,821	4,2645	605,7
994	3,94	4,634	4,287	618,4
995	3,789	4,689	4,239	643,3
996	3,807	4,648	4,2275	752,1
997	3,515	4,56	4,0375	563,7
1193	3,409	4,463	3,936	648,2
1194	3,528	4,23	3,879	629,4
1195	4,089	4,453	4,271	772,0
1196	4,513	4,753	4,633	581,4
1197	4,394	4,016	4,205	672,0
*)pokračování				

Tab. 11.5: Naměřené hodnoty experiment 3, odlupovací zkouška *) pokračování

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3 ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
1393	3,583	4,357	3,97	666,5
1394	3,509	4,608	4,0585	640,5
1395	3,505	4,322	3,9135	573,1
1396	3,55	4,334	3,942	604,0
1397	3,314	4,311	3,8125	551,0
1593	3,443	4,263	3,853	699,0
1594	3,815	4,13	3,9725	610,7
1595	3,019	4,225	3,622	752,1
1596	3,633	4,419	4,026	616,2
1597	3,877	4,206	4,0415	583,6

Tab. 11.6: Naměřené hodnoty experiment 3, zkouška střihem

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3 ZKOUŠKA STŘIHEM				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
9	4,659	4,81	4,7345	3843,7
10	4,106	5,049	4,5775	3997,3
198	4,147	5,187	4,667	4223,2
199	5,014	5,146	5,08	4251,4
200	4,458	5,185	4,8215	4293,4
398	4,535	5,13	4,8325	4203,3
399	3,979	4,613	4,296	4001,3
400	4,245	5,129	4,687	4192,3
598	4,414	4,966	4,69	4226,5
599	4,218	4,994	4,106	4145,3
600	4,306	4,533	4,4195	4090,1
798	4,386	4,798	4,592	4155,8
799	4,152	4,216	4,184	3980,2
800	4,105	4,559	4,332	4159,7
998	4,302	3,909	4,1055	4040,4
999	4,104	4,079	4,0915	4089,0
1000	4,514	4,069	4,2915	3943,2
1198	3,815	3,946	3,8805	4043,7
1199	3,982	4,241	4,1115	3942,1
1200	4,684	4,678	4,681	4011,7
*)pokračování				

Tab. 11.6: Naměřené hodnoty experiment 3, zkouška střihem *)pokračování

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3 ZKOUŠKA STŘIHEM				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
1398	4,069	3,623	3,846	3868,6
1399	4,784	4,211	4,4975	4015,0
1400	3,81	3,47	3,64	3654,8
1598	4,205	4,146	4,1755	3953,7
1599	4,384	3,939	4,1615	3848,2
1600	4,091	4,069	4,08	3964,2

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

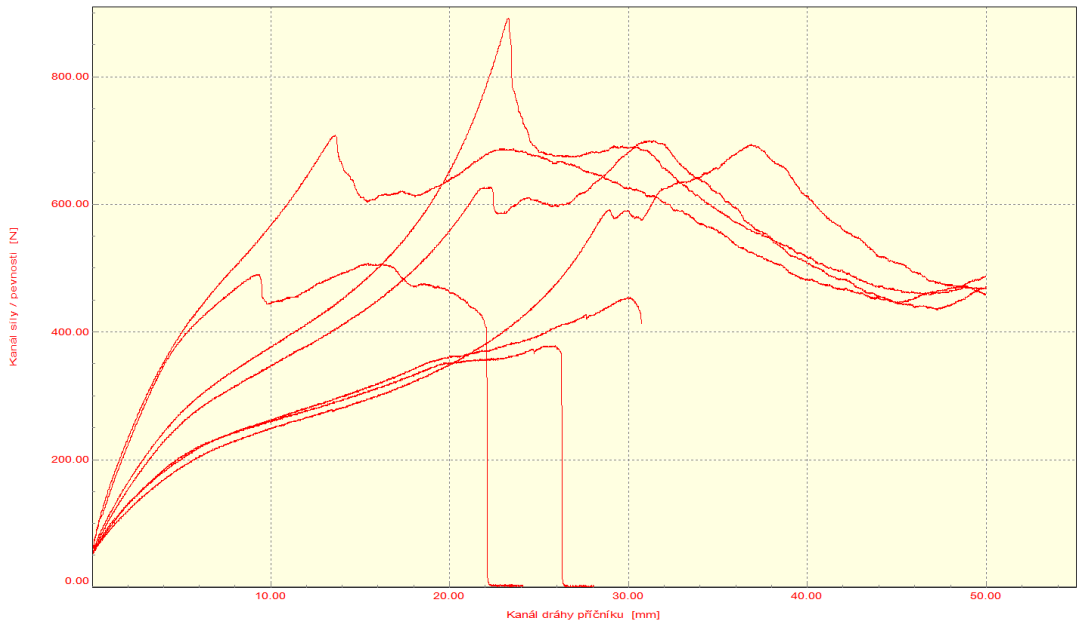
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dleČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	1	454.3
2	2	378.6
3	3	507.4
4	4	708.4
5	5	694.1
6	6	892.4
7	7	700.2

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	7
Průměrná hodnota	619.3
Směrodatná odchylka	179.0



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.11 Protokol zkušebních vzorků (1-7), odlupovací zkouška (experimnet 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

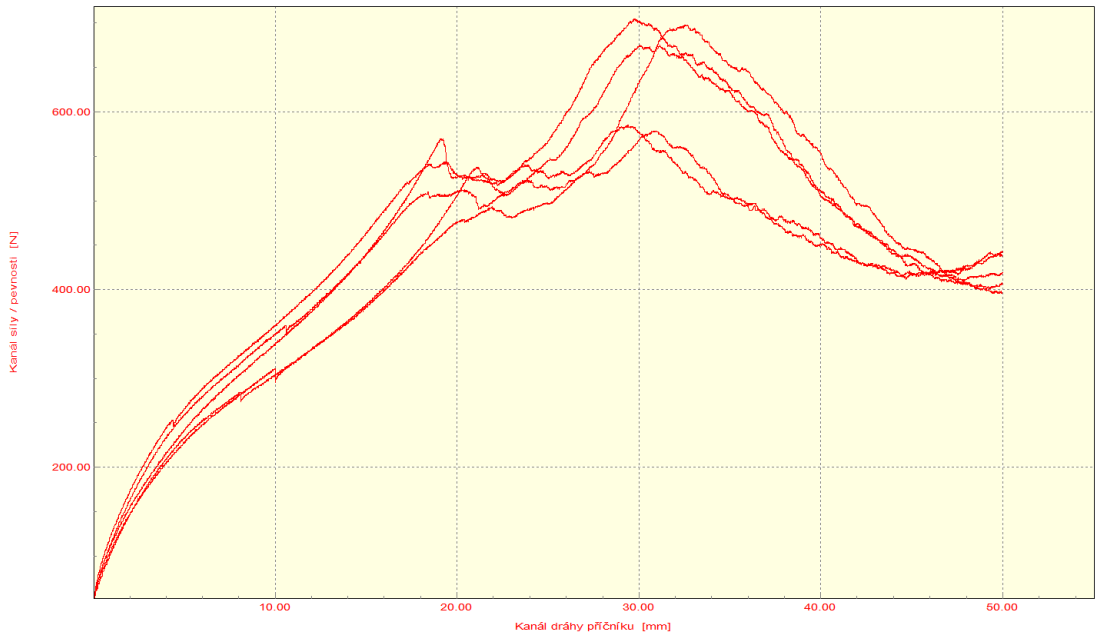
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
23	793	704.6
24	794	697.9
25	795	674.7
26	796	578.6
27	797	584.7

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	648.1
Směrodatná odchylka	61.7



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.12 Protokol zkušebních vzorků (793-797), odlupovací zkouška (experiment 3)

11.3 Zkoušky životnosti elektrodových čepiček při chlazení pomocí vody

Postup při experimentu čtyři byl stejný jako u experimentu tři, s tím rozdílem, že chladicí médium byla voda na místo kapalného oxidu uhličitého. Mezi jednotlivými zkušebními vzorky pro odlupovací zkoušku a zkoušku střihem bylo realizováno vždy 192 bodových svarů. První skupina vzorků (1-7) byla zhotovena pro odlupovací zkoušku. Po ní následovala realizace tří svarů pro zkoušku střihem, které byly označeny 193-195 a z tohoto důvodu byla druhá pětice zkušebních vzorků pro odlupovací zkoušku označena 196-200. Po této sérii následovalo opět zhotovení 192 svarů, na které byla navázaná další sada pro odlupovací zkoušku (značená 393-397) a sada pro zkoušku střihem (398-400). Další značení zkušebních vzorků už bylo jako u předešlých experimentů. Zbylá série pro odlupovací zkoušku byla označena (593-597) a poslední skupina pro zkoušku střihem byla označena (598-600). V první sadě byla naměřena hodnota svaru (d_1) dvou po sobě jdoucích vzorků (3, 4) okolo 2 mm, vzorek číslo 3 měl dokonce rozměr d_2 1,047. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 11.7 (označeny zeleně). Ve třetí skupině vzorků pro odlupovací zkoušku opět klesla hodnota svaru na 2 mm (vzorek 397; označeno zeleně). Na obrázku 11.13 je fotografie vzorku 2, (F_{MAX} = 100,7) N, kde je vidět, že mezi plechy nebyl vytvořen téměř žádny bodový svar. Dalo by se říci, že plechy zkušebních vzorků, k sobě byly v podstatě jen „přilepeny“. Graf, který ukazuje průběh právě tohoto vzorku je na obr. 11.14., a je z něj patrné, že k oddělení plechů došlo ihned po začátku zatěžování. Obecně v této sérii nebylo dosaženo vysokých hodnot maximálních zatěžujících sil. Průměrná hodnota maximální zatěžující síly byla v této sérii 444,3 N. Nejmenší hodnota rozměru d_1 (2,333) u zkoušky střihem v experimentu čtyři byla naměřena u vzorku 9, (viz. Tab. 11.8; označeno zeleně).

Obr. 11.13: Vzorek 2 pro odlupovací zkoušku (experiment 4).

Tab. 11.7: Naměřené hodnoty experiment 4, odlupovací zkouška

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4 ODLUPOVACÍ ZKOUŠKA				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
1	3,399	3,05	3,2245	507,9
2	4,302	4,273	4,2875	100,7
3	1,047	2,283	1,665	450,4
4	2,333	2,315	2,324	440,5
5	3,361	3,574	3,4675	519,5
6	3,313	4,031	3,672	571,9
7	3,265	3,35	3,3075	519,5
196	4,141	4,722	4,4315	694,0
197	3,552	4,81	4,181	658,7
198	4,262	4,804	4,533	647,6
199	4,243	4,993	4,618	594,0
200	4,695	4,941	4,818	711,1
393	4,251	3,886	4,0685	617,2
394	3,914	4,492	4,203	620,5
395	3,985	3,937	3,961	613,9
396	3,801	4,514	4,1575	662,0
397	3,898	2,093	2,9955	583,5
593	3,363	3,845	3,604	614,5
594	4,27	4,678	4,474	578,6
595	4,105	4,022	4,0635	610,0
596	3,958	4,274	4,116	619,4
597	3,17	3,498	3,334	575,2

Tab. 11.8: Naměřené hodnoty experiment 4, zkouška střihem

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4 ZKOUŠKA STŘIHEM				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**šířka (d_1)**	**d_s**	**Fm**
8	4,204	3,934	4,069	3921,1
9	3,208	2,333	2,770	3648,7
10	3,457	3,745	3,601	3731,6
193	4,751	4,777	4,764	4178,5
194	4,661	4,514	4,587	4083,5
195	4,387	4,5	4,443	4070,2

*) pokračování

Tab. 11.8: Naměřené hodnoty experiment 4, zkouška střihem *)pokračování

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4 ZKOUŠKA STŘIHEM				
Číslo vzorku	**Naměřené hodnoty svaru [mm]**		**Střední hodnota svaru [mm]**	**Maximální zatěžující síla [N]**
	(d_2)	**(d_1)**	**d_s**	**Fm**
398	4,65	4,779	4,714	3854,2
399	4,017	3,47	3,743	3917,8
400	3,608	3,034	3,321	3944,8
598	5,463	3,327	4,395	3586,3
599	3,133	3,726	3,204	3486,3
600	3,585	3,933	3,17	3591,8

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

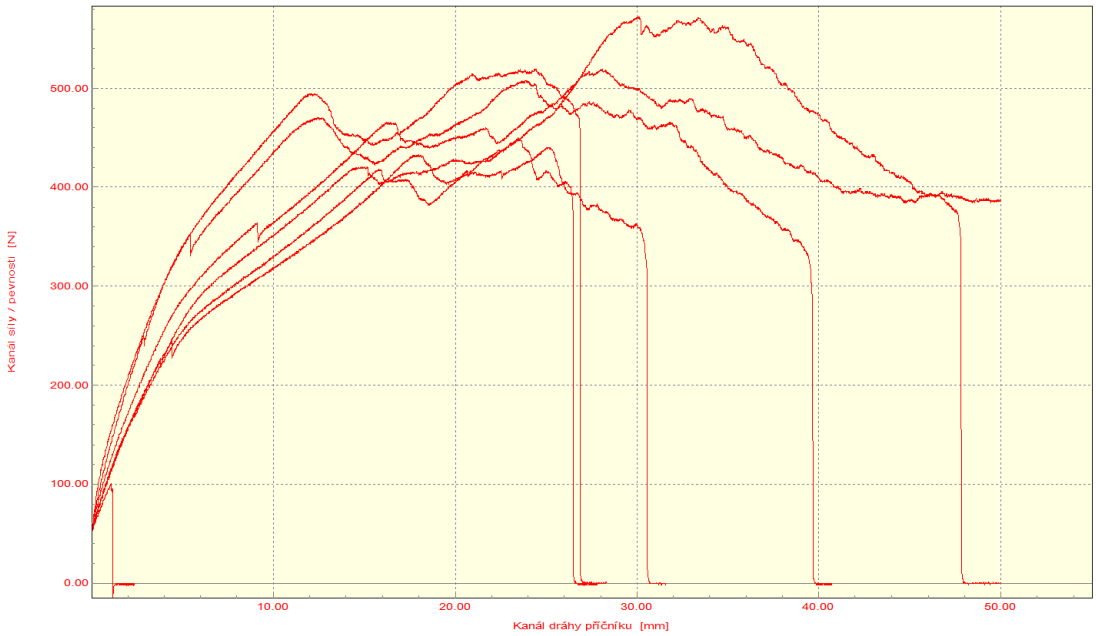
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	7	519.5
2	6	571.9
3	5	519.5
4	4	440.5
5	3	450.4
6	2	100.7
7	1	507.9

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	7
Průměrná hodnota	444.3
Směrodatná odchylka	158.0



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Obr. 11.14 Protokol zkušebních vzorků (1-7), odlupovací zkouška (experiment 4).

11.4 Porovnání a zhodnocení výsledků jednotlivých experimentů

Realizované experimenty byly provedeny za účelem hodnocení životnosti elektrodových čepiček při odporovém bodovém svařování. Při realizaci experimentů (1, 2, 3, 4), byl pro svařování použit stejný svařovací program IK – konstantní nastavení svařovacího proudu. V každém provedeném testu byl zhotoven vždy určitý předepsaný počet zkušebních vzorků (sérií), které byly dále podrobeny měření a zkoumání v souladu s normami. Pro hodnocení kvality bodových svarů byla použita zkouška střihem podle ČSN EN ISO 14273 a odlupovací zkouška podle ČSN EN ISO 14270. Pro porovnání jednotlivých experimentů byly změřené hodnoty zkušebních vzorků daných sérií roztříděny podle provedených zkoušek (zkouška střihem, odlupovací zkouška) do tabulek, kde byly uvedeny rozměry svaru d_1 a d_2 (měřeno kolmo na sebe), a pro přehlednost a snadnější porovnání byla do těchto tabulek uvedena i střední hodnota svaru d_s a maximální zatěžující síla F_m, odpovídající danému vzorku v sérii, jejíž hodnota byla získána při oddělování vzorků na trhacím zařízení. Pro každou sadu zkušebních vzorků byl prostřednictvím programu Labnet vygenerován protokol o zkoušce životnosti elektrod. Tyto protokoly jsou součástí přílohy diplomové práce.

Při realizaci experimentu jedna a dva bylo pro každý experiment zhotoveno 600 bodových svarů při centrálním chlazení. Hodnoty maximálních zatěžujících sil pro odlupovací zkoušku se pohybovaly napříč oběma experimenty okolo 600-750 N. Nejvyšší hodnota byla dosažena u vzorku 195 experimentu dva (832 N).

Při hodnocení vzorků zkouškou střihem u experimentu dva bylo zjištěno, že s výjimkou jednoho vzorku (první sada) byly všechny dosažené hodnoty maximálních zatěžujících sil přes 4000 N.

Experiment tři byl vykonán při chlazení pomocí kapalného oxidu uhličitého a zhotovilo se při něm 1600 bodových svarů. Při experimentu tři (odlupovací zkouška), byla nejnižší hodnota maximální zatěžující síly 378 N a naopak nejvyšší dosažená hodnota byla 974 N. Během celého procesu svařování, u experimentu tři bylo možno pozorovat odpadávání bílé tuhé látky tzv. suchého ledu z elektrodových čepiček. Na základě toho lze usoudit, že dávka kapalného oxidu uhličitého (0,25 g na jeden svar) byla příliš velká a stačilo by zřejmě menší množství.

Při posledním experimentu (4) se uskutečnilo 600 bodových svarů a chladicím médiem byla voda. V tomto testu byla dosažena nejnižší hodnota maximální zatěžující síly ze

všech čtyř experimentů (100,7 N) při odlupovací zkoušce. Naměřený rozměr d_2 (1,047) u tohoto testu byl rovněž nejmenší ze všech provedených měření napříč všemi experimenty.

Podle normy ČSN EN ISO 8166, která umožňuje určovat životnost elektrod, můžeme konstatovat, že ani u jednoho ze zmíněných experimentů, nebyla životnost elektrody dosažena. Nicméně experimenty byly ukončeny především z důvodu, že svary posledních sérií nevyhovovaly vzhledovým podmínkám – neměly dostatečně vyvinutou svarovou čočku (byly nesymetrické). Ukázka nesymetrických svarů je na obrázku 11.15.

Obr. 11.15: Ukázka nevyhovujících (nesymetrických) svarů

Při pohledu do tabulek naměřených hodnot, lze konstatovat, že kapalný oxid uhličitý se prokázal jako nejúčinnější médium. V porovnání s ostatními experimenty (centrální chlazení a chlazení vodou) dosahoval buďto stejných, nebo v některých případech i lepších naměřených rozměrů svarů a větších hodnot maximálních zatěžujících sil. Porovnávání bylo provedeno mezi danými sériemi jednotlivých experimentů, nejvíce však byla pozornost zaměřena na poslední série (593-597 a 598-600), kde bylo svařování pro experiment jedna, dva a čtyři ukončeno z důvodu nesymetrické tvorby bodového svaru, kdežto u experimentu tři bylo po této sérii provedeno ještě 5 sad pro odlupovací zkoušku a 5 sad pro zkoušku střihem. Při experimentu tři měla série (593-597 a 598-600) rozměry svarů okolo 4 mm (bez poklesu na 3 mm, jako tomu bylo např. u experimentu jedna a čtyři) a svar byl ve všech ohledech vyhovující. Nedostatečně vyvinutá svarová čočka, se projevila u experimentu tři až při posledních dvou sériích, proto bylo svařování ukončeno po zhotovení 1600 bodových svarů.

12. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv účinnosti jednotlivých chladicích médií na zvýšení životnosti elektrod při odporovém bodovém svařování. Na základě toho bylo zapotřebí provést studii teoretických zákonitostí odporového bodového svařování a seznámit se dále se svařovacími parametry, s materiálem elektrod a s hodnocením životnosti elektrod podle normy, která ji umožňuje posoudit. Tato studie je popsána v teoretické části.

Úkolem experimentální části byla realizace srovnávacích testů pro zjištění zvýšení životnosti elektrodových čepiček při odporovém bodovém svařování žárově pozinkovaných plechů, používaných především v automobilovém průmyslu. Postup pro hodnocení životnosti bodových elektrod jednotlivých experimentů byl proveden podle normy ČSN EN ISO 8166. Pro svařování a zhotovení všech čtyř experimentů, které se lišily způsobem chlazení, byl zvolen svařovací program IK – program konstantního svařovacího proudu. První a druhý experiment probíhal při centrálním chlazení, které je součástí svařovacího pracoviště. Vliv kapalného oxidu uhličitého na zvýšení životnosti elektrod byl ověřován v experimentu tři. Poslední experiment probíhal při chlazení za pomocí vody. V prvním, druhém a čtvrtém srovnávacím testu bylo provedeno vždy 600 bodových svarů. U experimentu tři, bylo provedeno 1600 svarů. V každém experimentu byly realizovány série zkušebních vzorků, které byly dále podrobeny zkoumání. Pro zjištění kvality bodového svaru těchto vzorků byly použity zkoušky střihem podle ČSN EN ISO 14273 a odlupovací zkoušky podle ČSN EN ISO 14270. Pro porovnání výsledku mezi jednotlivými experimenty, byly vytvořeny tabulky, kde byly zaznamenávány hodnoty naměřených svarů a hodnoty maximálních zatěžujících sil daných zkušebních vzorků. Pro každou sérii byl prostřednictvím programu Labnet vygenerován protokol o zkoušce životnosti.

Kritérium, které udává norma pro hodnocení životnosti elektrod, nebylo překročeno ani u jedné série provedených experimentů.

Na základě jednotlivých testů bylo zjištěno několik skutečností, např. při chlazení pomocí kapalného oxidu uhličitého bylo zpozorováno vypadávání bílé tuhé látky, tzv. suchého ledu (ochlazení CO_2 na -78,9°C) z elektrodových čepiček během procesu svařování. Z této skutečnosti je možné usoudit, že by pro chlazení stačilo menší množství, než které bylo dodáváno při realizaci experimentu. Jako další poznatek z provedených experimentů lze uvést fakt, že při experimentu jedna a dva (centrální chlazení) bylo dosaženo v průměru větších

maximálních zatěžujících sil při odlupovací zkoušce, než u experimentu čtyři, kde probíhalo chlazení elektrod pomocí vody.

V budoucnu při realizaci podobných experimentů doporučuji zaměřit se na správnou volbu svařovacích parametrů a důkladnou přípravu pro stanovení optimální dávky kapalného oxidu uhličitého s vhodnou kadencí svařovacího lisu.

Diplomová práce obsahuje souhrnné pojednání o problematice odporového bodového svařování žárově pozinkovaných plechů s ohledem na hodnocení životnosti elektrodových čepiček.

13. LITERATURA

[1] Kuncipál, J. a kol.: Teorie svařování, SNTL v Praze 1986

[2] Nová I., Nováková I., Bradáč J.: Technologie I. – Slévání a svařování, TU v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-052-3.

[3] M. Hluchý; J.Kolouch; R. Paňák: *Strojírenská technologie 2,* polotovary a jejich technologičnost, Scienta, spol. s.r.o; pedagogické nakladatelství Praha 2001

[4] Kolektiv autorů: Technologie svařování a zařízení – učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, ZEROS v Ostravě 2001. ISBN 80-85771-81-0.

[5] ČSN EN 14610 Svařování a příbuzné procesy – Definice metod svařování kovů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005; Třídící znak 05 0007

[6] CHVOJKA, O.: Analýza procesních veličin u odporového bodového svařování. [Bakalářská práce]. Liberec: TU, 2005. 89 s. příl. TU Liberec – fakulta strojní.

[7] ČSN EN ISO 14329 Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004; Třídící znak 05 1135

[8] PLÍVA, L.: Odporové svařování. SNTL Praha, 1975

[9] VÚZ, Kolektív autorov.: Zváracie metódy a zariadenia. II. diel učebných textov pre kurzy zváračských technológov. Ostrava. ZEROSS, 2000

[10] KREJBICH, M. Monitorování vybraných parametrů svařovacího procesu a kvalita odporových bodových svarů. Liberec 2009. Diplomová práce TU v Libereci

[11] ČSN 05 0003 – Odporové zváranie, Základné pojmy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1991; Třídící znak 05003

[12] KOLAŘÍK, L.: Svařování elektrickým odporem, ČVUT – Fakulta strojní – Ústav strojírenské technologie 2010; Dostupné z:http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/ /odporove_svarovani_ndt.pdf

[13] LEPŠANSKÁ, H.: Přehled metod svařování; Univerzita Palackého a Fyzikální ústav Akademie věd České republiky; Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/dowland/vujtek/granty/Laponska_prehled_metod_svarovani.pdf

[14] NEUMAN, H.: Teorie sváření a pájení, TU Liberec – fakulta strojní, katedra strojírenské technologie 2014; Dostupné z: http://ksp.tul.cz

[15] ČSN EN ISO 14273 Rozměry vzorku a postup pro zkoušení střihem odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003;
Třídící znak 05 1112

[16] ČSN EN ISO 15609-5 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Stanovení postupu svařování - Část 5: Odporové svařování; Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012; Třídící znak 05 0312

[17] ČSN EN ISO 14270 Rozměry vzorku a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003; Třídící znak 05 1110

[18] JANOTA, M.: Procesy a riadenie odporového zvarania. Bratislava, VÚZ 1985. 317 s

[19] BARTOŠEK, P.: Využití bodového svařování ve strojírenském průmyslu, Mendelova univerzita v Brně, Institut celoživotního vzdělávání, Oddělení Expertného Inženýrství. Brno 2013. Bakalářská práce

[20] ČSN EN ISO 10447 Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007; Třídící znak 05 1129

[21] KOLAŘÍK, L.: Destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů, České vysoké učení technické v Praze, Dostupné z:http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/
/zkousky_svaru_ndt.pdf

[22] FORMAN, M.: Využití ultrazvukové defektoskopie v materiálovém inženýrství, Univerita Pardubice 2012. Bakalářská práce.

[23] ČSN EN ISO 14373 – Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovancýh uhlíkových ocelí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007; Třídící znak 05 2640

[24] ČSN EN 10346 – Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky – Technické dodací podmínky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009; Třídící znak 42 0110

[25] ČSN EN ISO 5182 – Odporové svařování – Materiály pro elektrody a pomocné vybavení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009; Třídící znak 05 2678

[26] TANG, H.; HOU W.: Forging force in resistance spot welding. Engineering manufacture, 2002, vol. 216, part B, p. 957 – 968.

[27] http://www.schinkamann.cz ; 2015

[28] Katalog HUYS industries;

[29] VW 011 05 - 1 Odporové bodové svařování - Konstrukce, výpočty, zajištění procesu Nepovrstvené a povrstvené plechy

[30] ČSN EN ISO 8166 Odporové svařování – Způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004;
Třídící znak 05 2620

[31] KUTĚJ Petr, HANZL Jiří: Česká asociace technických plynů -ČATP-PS- 4; dostupné z: www.catp.cz/publikace2.php?download=catp_01-02-cz.pdf

[32] BUŠTA Karel, WAGNER Zdeněk: Oxid uhličitý a možnosti jeho využití I; fyzikální a chemické vlastnosti a jejich využití v praxi; Dostupné z: http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/8492-oxid-uhlicity-a-moznosti-jeho-vyuziti-i

[33] BĚHÁLEK Luboš: Proces získání kapalného CO_2; Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/lidi/behalek/Termoplastyvpraxi.pdf

[34] Katalog svářecí technika Schinkmann: Invertorové odporové svařovací lisy 90-240 kVA

[35] SITTE, G. Elekktrodenstandezit biem Widerstandspunktschweißen./ Technicko – vědecké zprávy/ Halle/Saale, ZIS 1979, č.95/4. 44 s.

14. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Protokol zkušebních vzorků (293-297)	odlupovací zkouška	(experiment 1)
Příloha č. 2	Protokol zkušebních vzorků (593-597)	odlupovací zkouška	(experiment 1)
Příloha č. 3	Protokol zkušebních vzorků (298-300)	zkouška střihem	(experiment 1)
Příloha č. 4	Protokol zkušebních vzorků (398-400)	zkouška střihem	(experiment 1)
Příloha č. 5	Protokol zkušebních vzorků (93-97)	odlupovací zkouška	(experiment 2)
Příloha č. 6	Protokol zkušebních vzorků (193-197)	odlupovací zkouška	(experiment 2)
Příloha č. 7	Protokol zkušebních vzorků (293-297)	odlupovací zkouška	(experiment 2)
Příloha č. 8	Protokol zkušebních vzorků (393-397)	odlupovací zkouška	(experiment 2)
Příloha č. 9	Protokol zkušebních vzorků (593-597)	odlupovací zkouška	(experiment 2)
Příloha č. 10	Protokol zkušebních vzorků (6-10)	zkouška střihem	(experiment 2)
Příloha č. 11	Protokol zkušebních vzorků (98-100)	zkouška střihem	(experiment 2)
Příloha č. 12	Protokol zkušebních vzorků (198-200)	zkouška střihem	(experiment 2)
Příloha č. 13	Protokol zkušebních vzorků (398-400)	zkouška střihem	(experiment 2)
Příloha č. 14	Protokol zkušebních vzorků (498-500)	zkouška střihem	(experiment 2)
Příloha č. 15	Protokol zkušebních vzorků (193-197)	odlupovací zkouška	(experiment 3)
Příloha č. 16	Protokol zkušebních vzorků (393-397)	odlupovací zkouška	(experiment 3)
Příloha č. 17	Protokol zkušebních vzorků (593-597)	odlupovací zkouška	(experiment 3)
Příloha č. 18	Protokol zkušebních vzorků (993-997)	odlupovací zkouška	(experiment 3)
Příloha č. 19	Protokol zkušebních vzorků (1193-1197)	odlupovací zkouška	(experiment 3)
Příloha č. 20	Protokol zkušebních vzorků (1393-1397)	odlupovací zkouška	(experiment 3)
Příloha č. 21	Protokol zkušebních vzorků (1593-1597)	odlupovací zkouška	(experiment 3)
Příloha č. 22	Protokol zkušebních vzorků (9-10)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 23	Protokol zkušebních vzorků (198-200)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 24	Protokol zkušebních vzorků (398-400)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 25	Protokol zkušebních vzorků (598-600)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 26	Protokol zkušebních vzorků (798-800)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 27	Protokol zkušebních vzorků (998-1000)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 28	Protokol zkušebních vzorků (1198-1200)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 29	Protokol zkušebních vzorků (1398-1400)	zkouška střihem	(experiment 3)
Příloha č. 30	Protokol zkušebních vzorků (1598-1600)	zkouška střihem	(experiment 3)

Příloha č. 31 Protokol zkušebních vzorků (196-200) odlupovací zkouška (experiment 4)
Příloha č. 32 Protokol zkušebních vzorků (393-397) odlupovací zkouška (experiment 4)
Příloha č. 33 Protokol zkušebních vzorků (593-597) odlupovací zkouška (experiment 4)
Příloha č. 34 Protokol zkušebních vzorků (8-10) zkouška střihem (experiment 4)
Příloha č. 35 Protokol zkušebních vzorků (193-195) zkouška střihem (experiment 4)
Příloha č. 36 Protokol zkušebních vzorků (398-400) zkouška střihem (experiment 4)
Příloha č. 37 Protokol zkušebních vzorků (598-600) zkouška střihem (experiment 4)

Protokol zkušebních vzorků (293-297) odlupovací zkouška (experiment 1).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

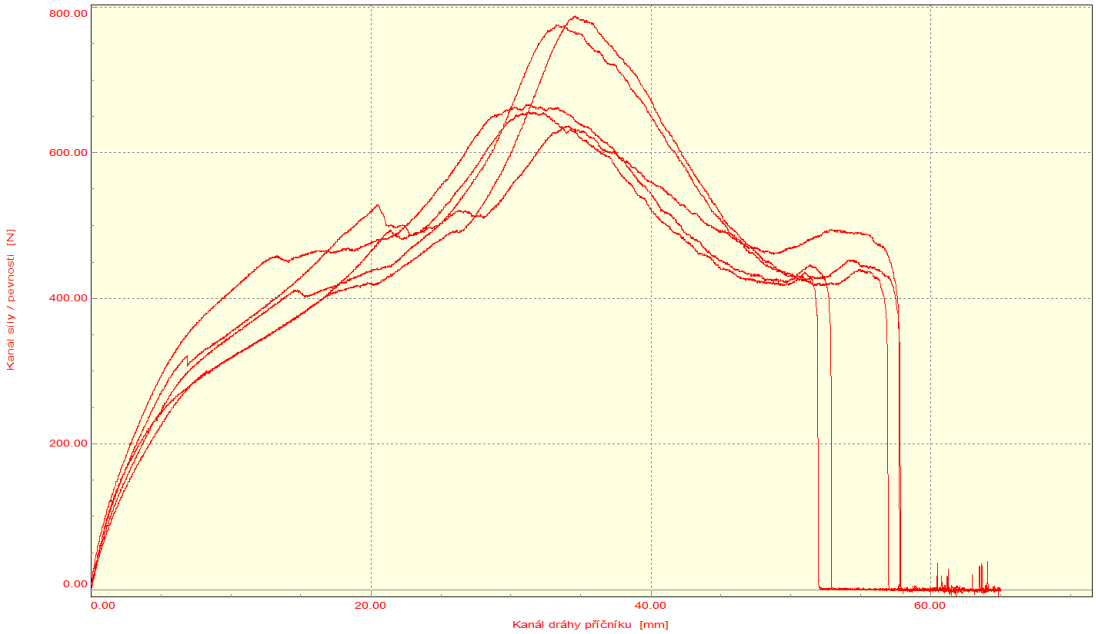
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
6	293	667.00
7	294	655.90
12	295	637.20
13	296	775.30
14	297	788.50

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	704.78
Směrodatná odchylka	71.35



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (593-597) odlupovací zkouška (experiment 1).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

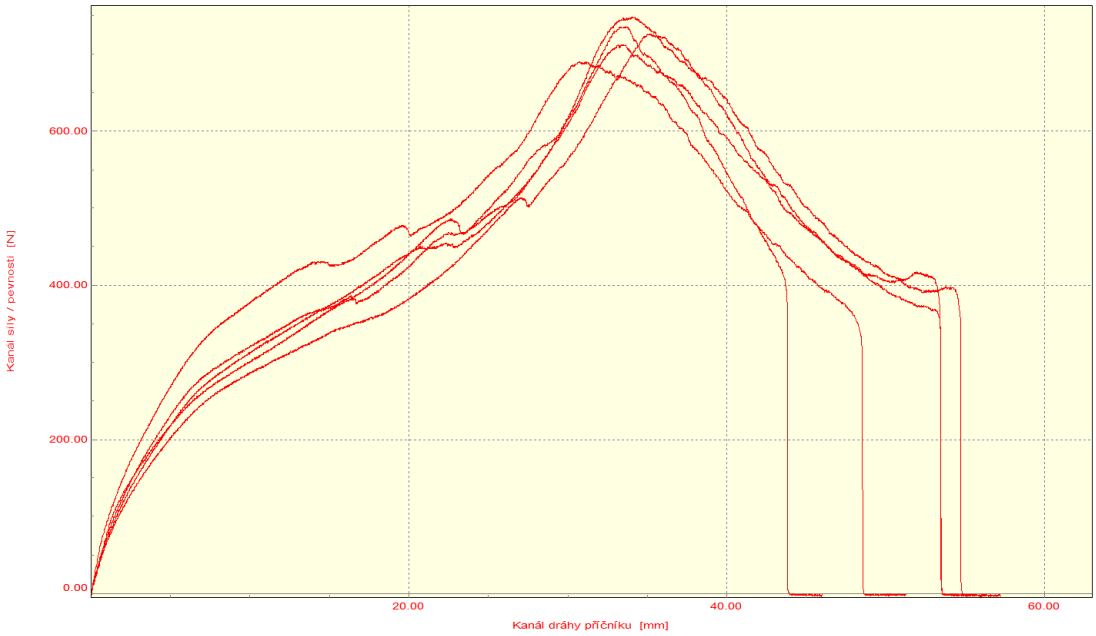
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
15	593	712.3
16	594	735.5
17	595	748.2
18	596	690.2
19	597	726.1

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	722.5
Směrodatná odchylka	22.3



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (298-300) zkouška střihem (experiment 1).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

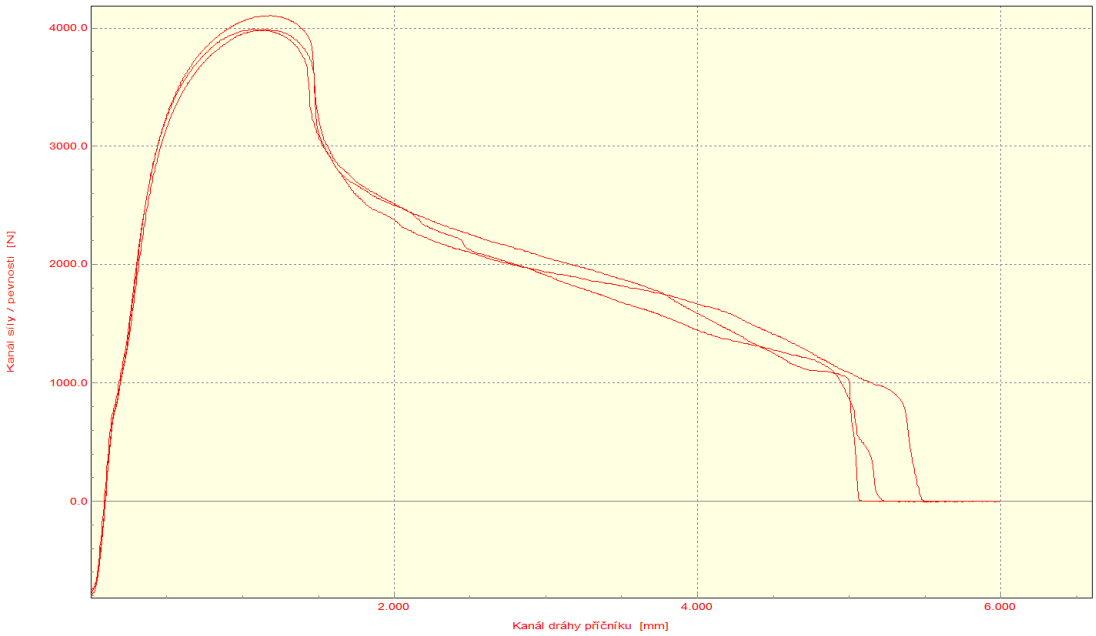
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
23	298	4103.7
24	299	3987.7
25	300	3987.7

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4026.4
Směrodatná odchylka	67.0



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (398-400) zkouška střihem (experiment 1).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_1

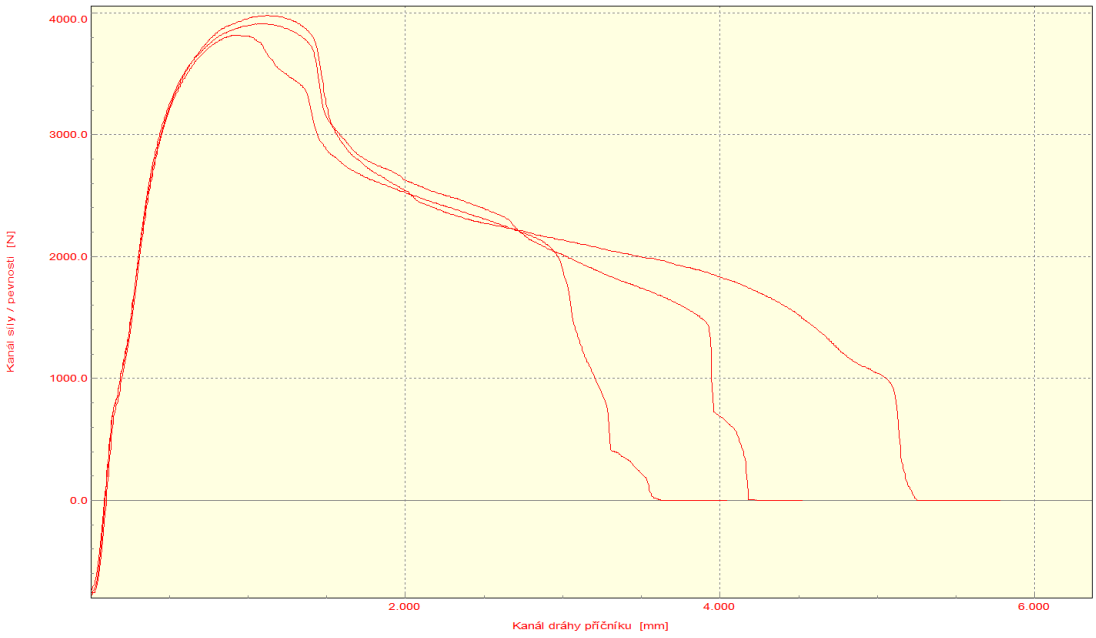
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
26	398	3821.4
27	399	3979.4
28	400	3909.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3903.5
Směrodatná odchylka	79.2



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (93-97) odlupovací zkouška (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

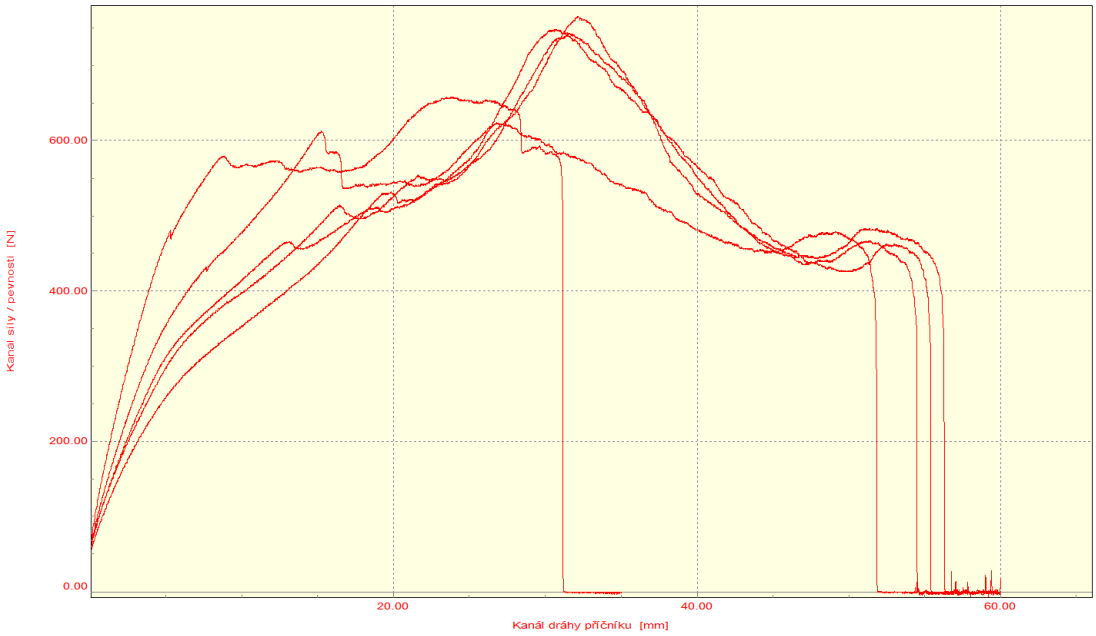
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
6	93	748.3
7	94	764.9
8	95	624.0
9	96	658.2
10	97	740.6

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	707.2
Směrodatná odchylka	62.2



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (193-197) odlupovací zkouška (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

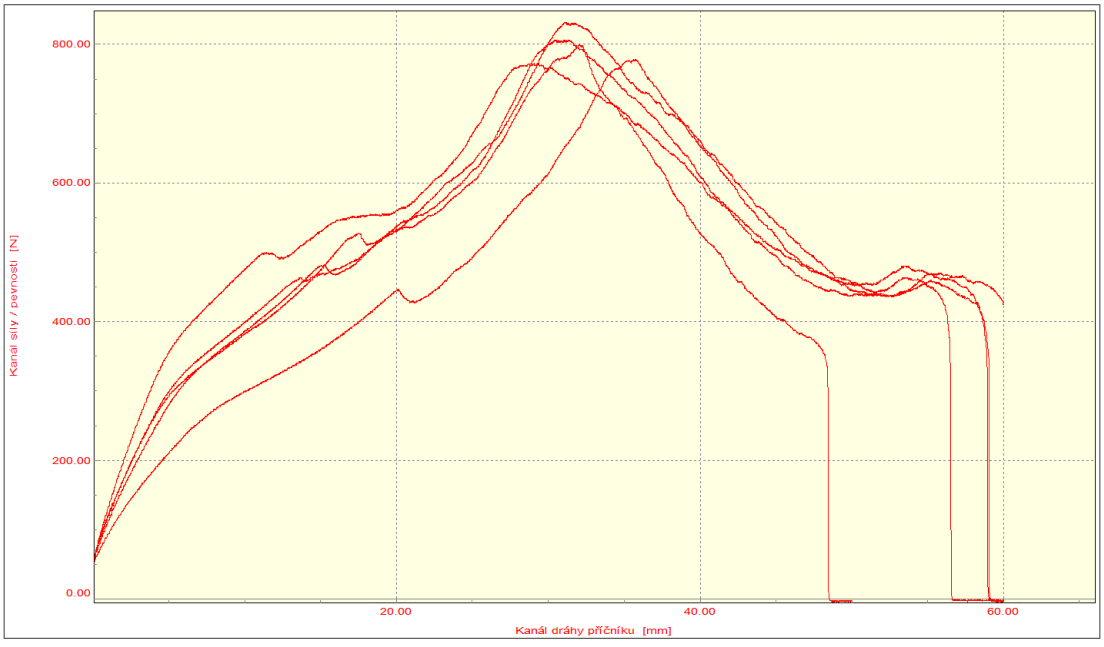
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
11	193	778.1
12	194	805.7
13	195	832.3
14	196	772.6
15	197	799.1

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	797.6
Směrodatná odchylka	23.9



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (293-297) odlupovací zkouška (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

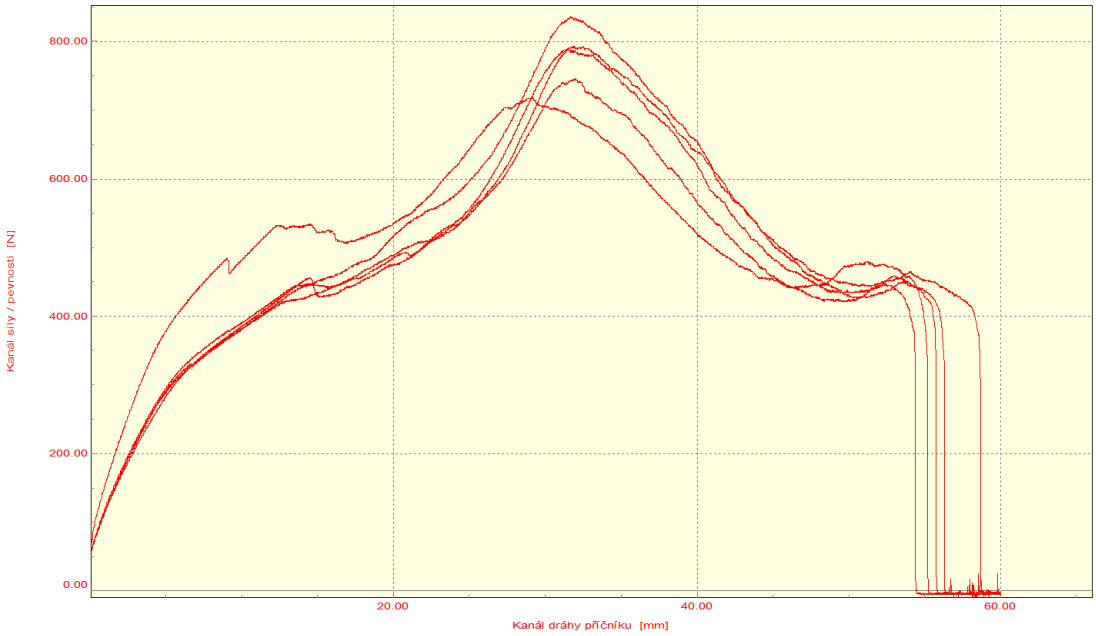
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
16	293	789.2
17	294	792.5
18	295	745.5
19	296	718.5
20	297	836.1

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	776.4
Směrodatná odchylka	45.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (393-397) odlupovací zkouška (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

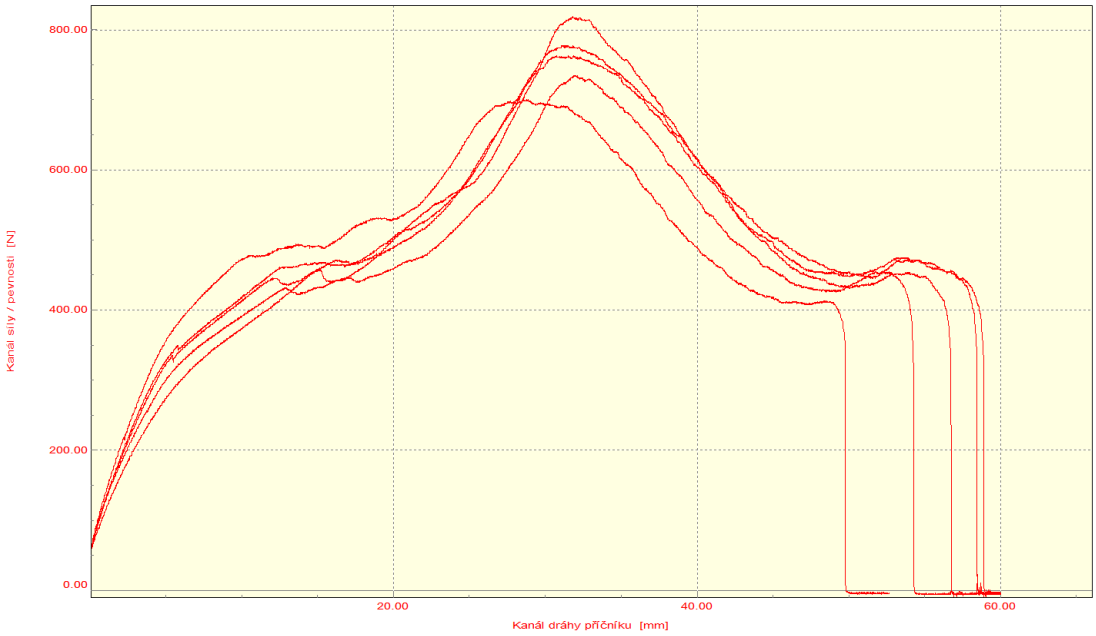
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
21	393	777.0
22	394	700.2
23	395	735.0
24	396	763.2
25	397	818.5

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	758.8
Směrodatná odchylka	44.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (593-597) odlupovací zkouška (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

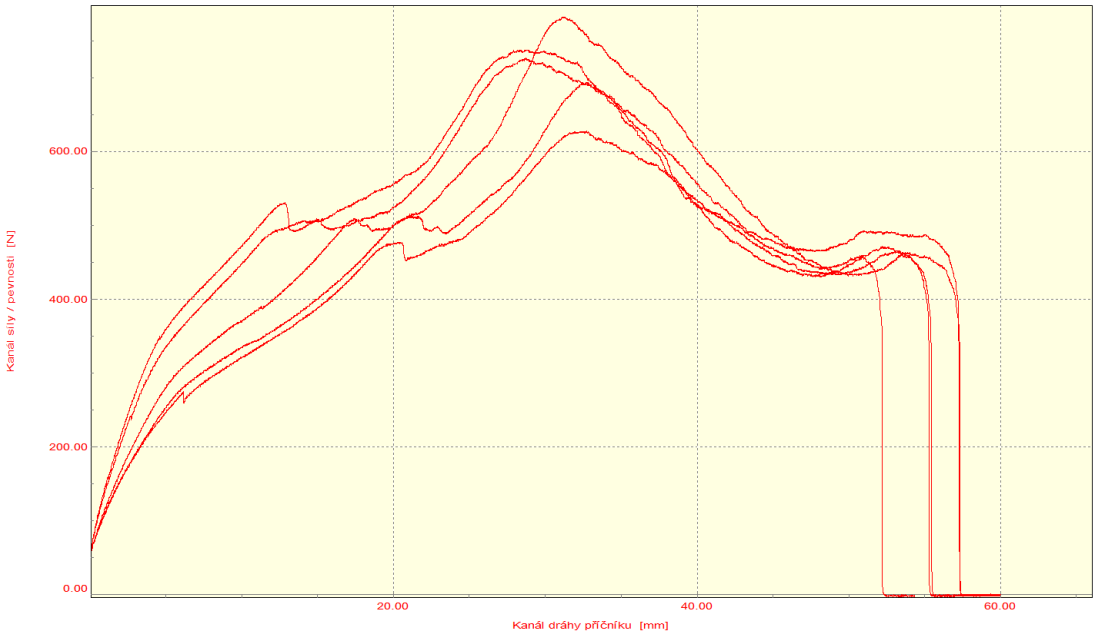
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	593	726.8
2	594	737.8
3	595	782.6
4	596	627.3
5	597	693.6

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	713.6
Směrodatná odchylka	57.8



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (6-10) zkouška střihem (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

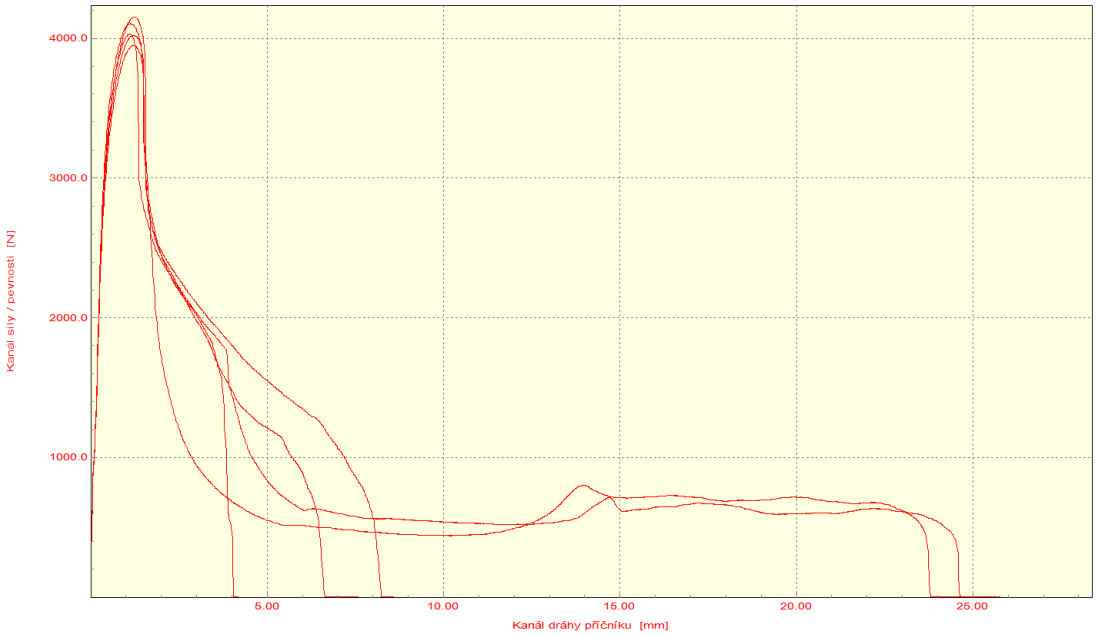
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
19	10	4031.7
20	9	4105.2
21	8	4153.8
22	7	4022.3
23	6	3947.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	4052.2
Směrodatná odchylka	79.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (98-100) zkouška střihem (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

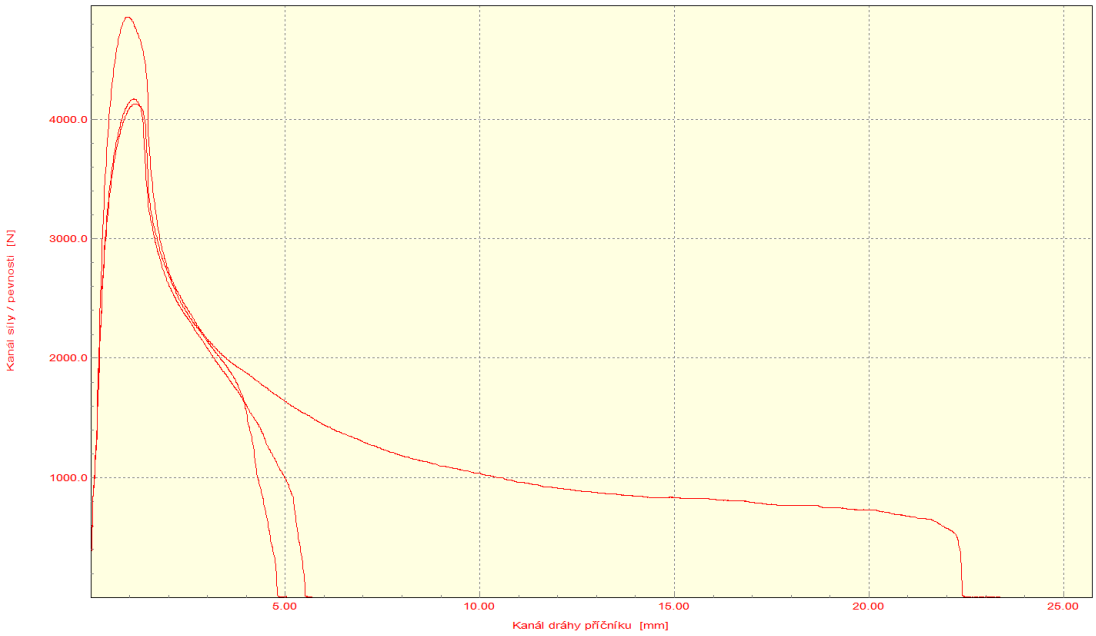
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
16	100	4127.3
17	99	4169.8
18	98	4858.7

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4385.3
Směrodatná odchylka	410.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (198-200) zkouška střihem (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
13	200	4138.3
14	199	4154.4
15	198	4244.4

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4179.0
Směrodatná odchylka	57.2

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (398-400) zkouška střihem (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

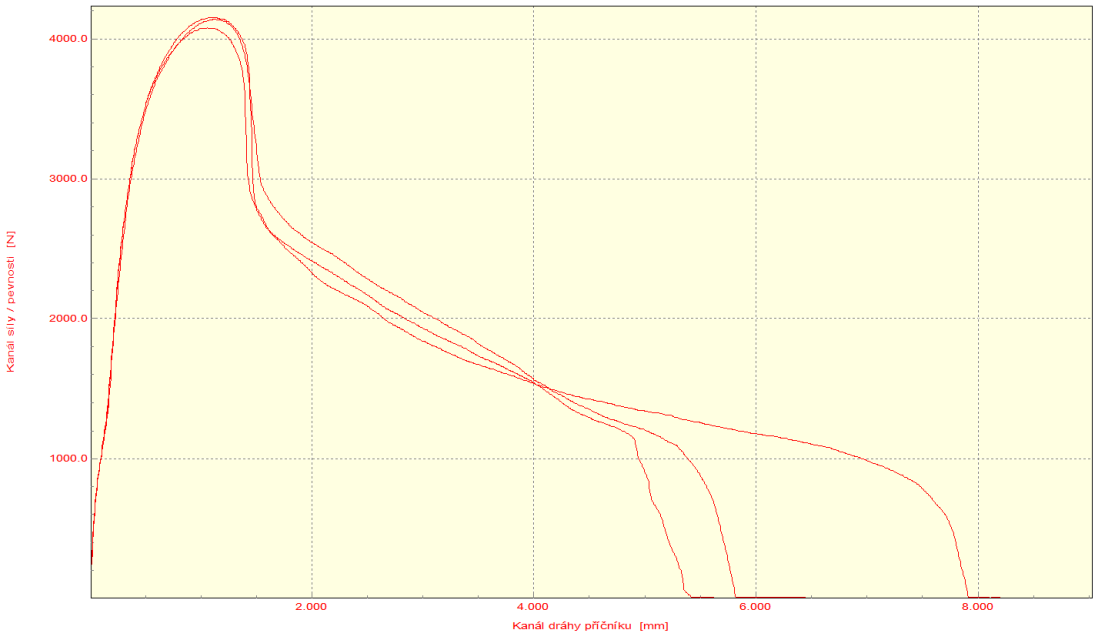
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl.0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
7	400	4153.3
8	399	4080.3
9	398	4139.5

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4124.4
Směrodatná odchylka	38.8



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (498-500) zkouška střihem (experiment 2).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_2

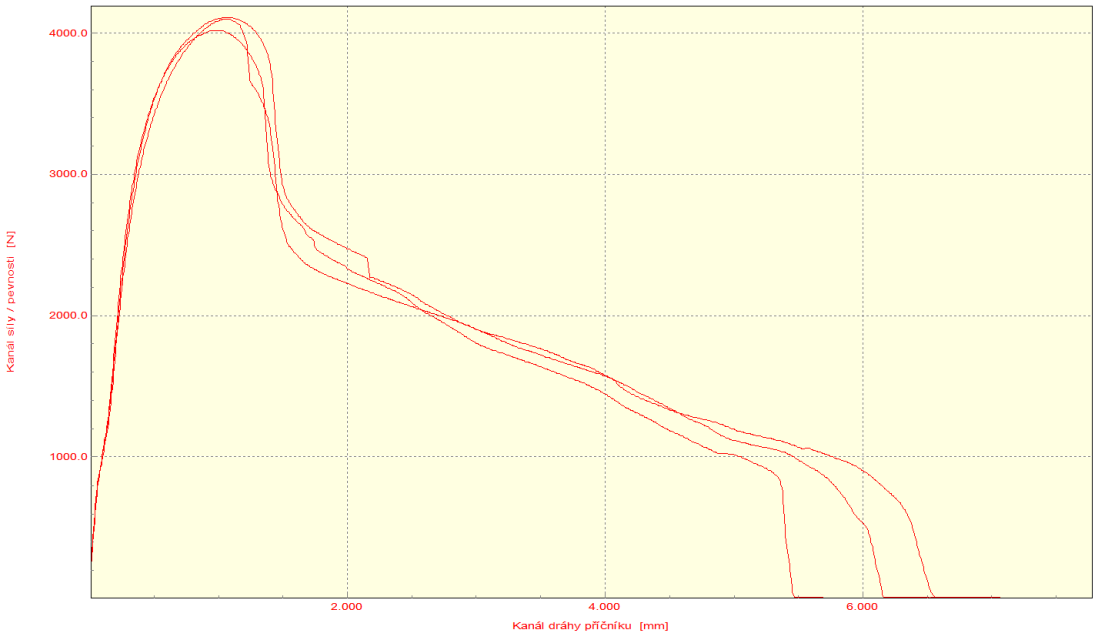
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
4	499	4019.6
5	500	4111.3
6	498	4099.7

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4076.9
Směrodatná odchylka	49.9



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (193-197) odlupovací zkouška (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

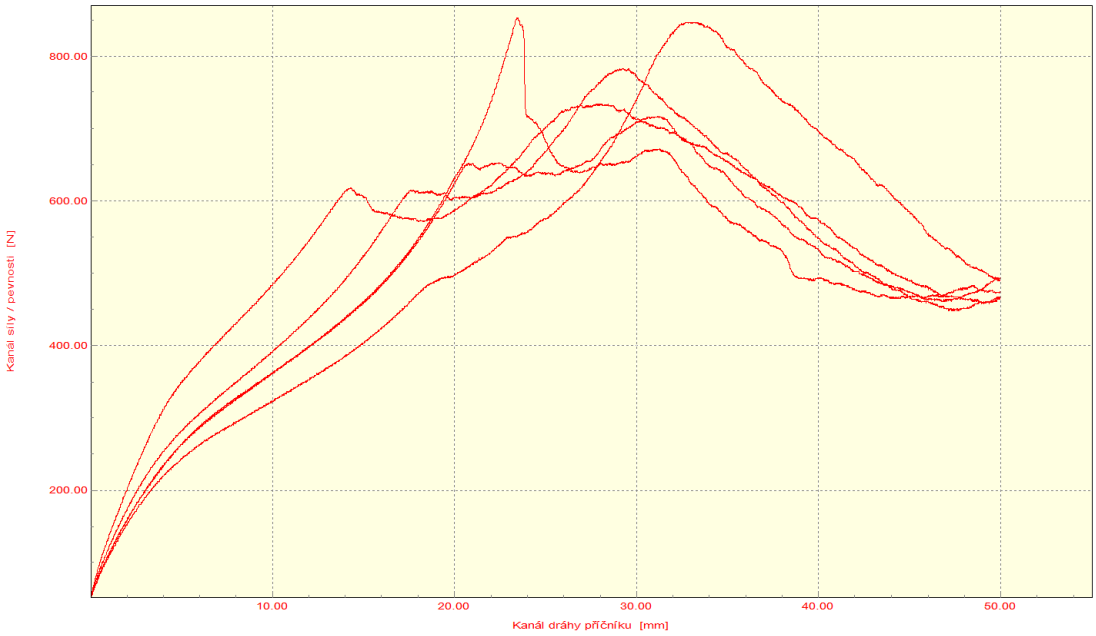
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
8	193	853.2
9	194	717.3
10	195	782.5
11	196	847.1
12	197	733.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	786.8
Směrodatná odchylka	62.7



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (393-397) odlupovací zkouška (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

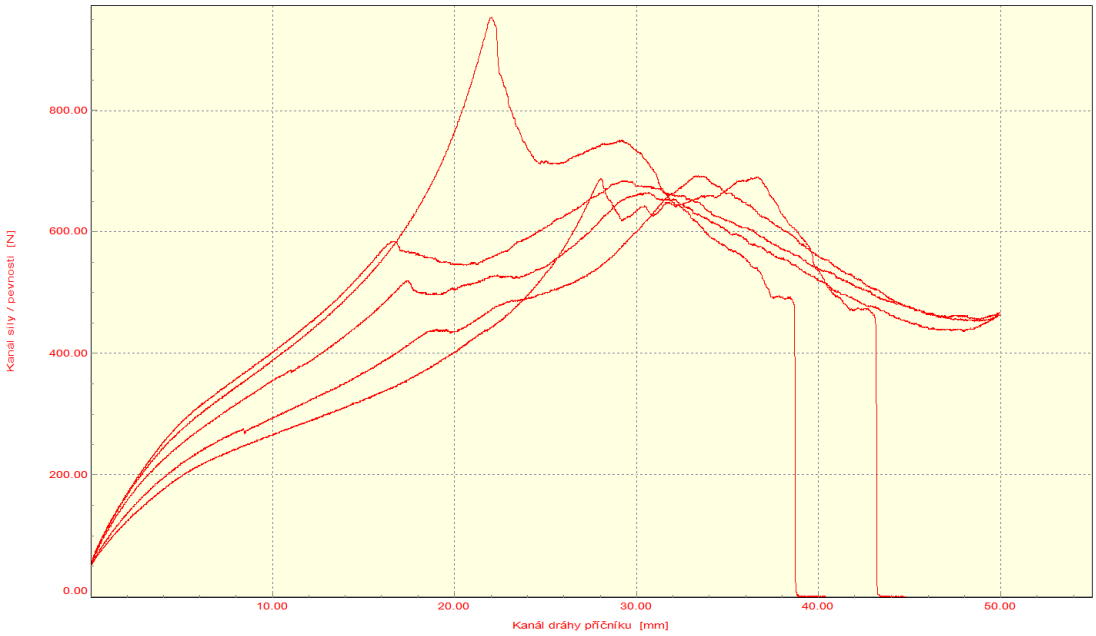
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
13	393	953.7
14	394	665.3
15	395	692.4
16	396	684.1
17	397	690.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	737.3
Směrodatná odchylka	121.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (593-597) odlupovací zkouška (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

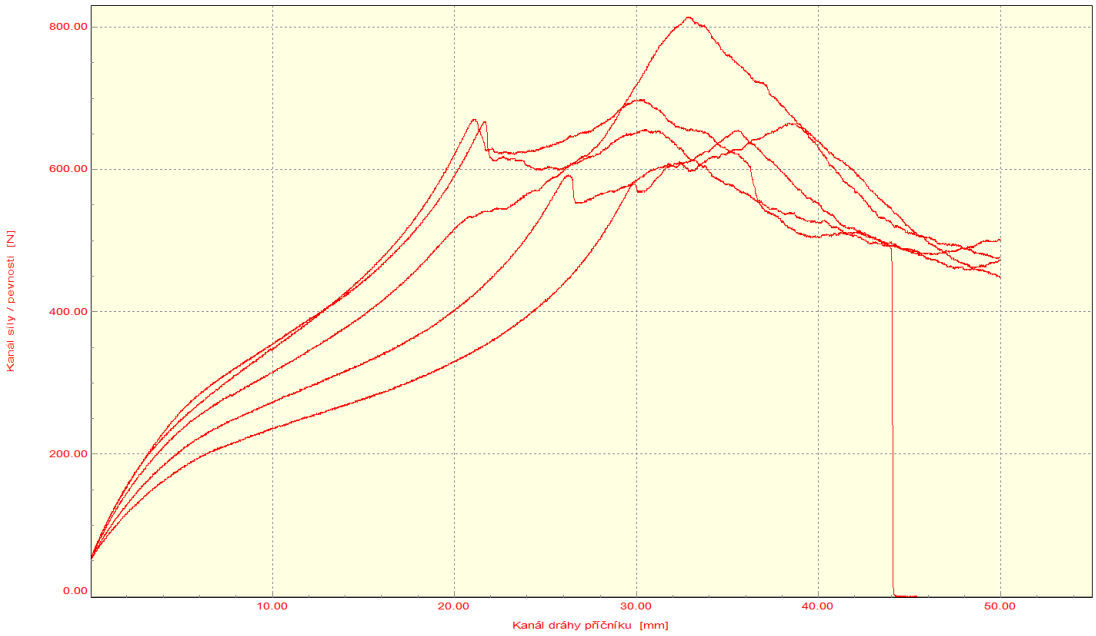
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
18	593	667.6
19	594	655.4
20	595	665.3
21	596	697.9
22	597	814.5

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	700.1
Směrodatná odchylka	65.9



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (993-997) odlupovací zkouška (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

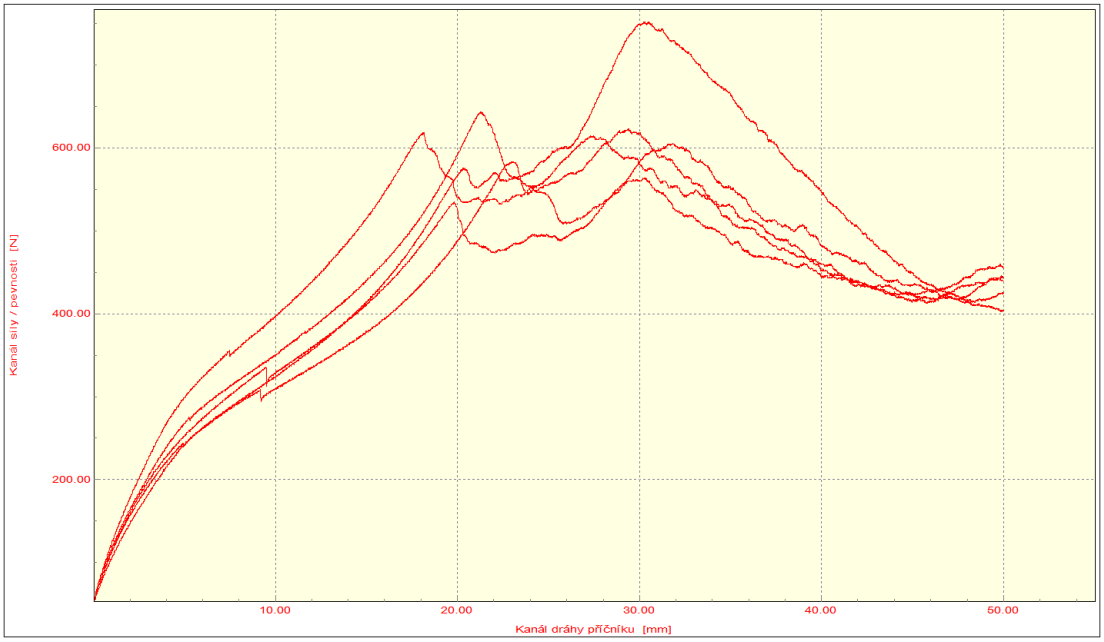
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
28	993	605.7
29	994	618.4
30	995	643.3
31	996	752.1
32	997	563.7

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	636.6
Směrodatná odchylka	70.7



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (1193-1197) odlupovací zkouška (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

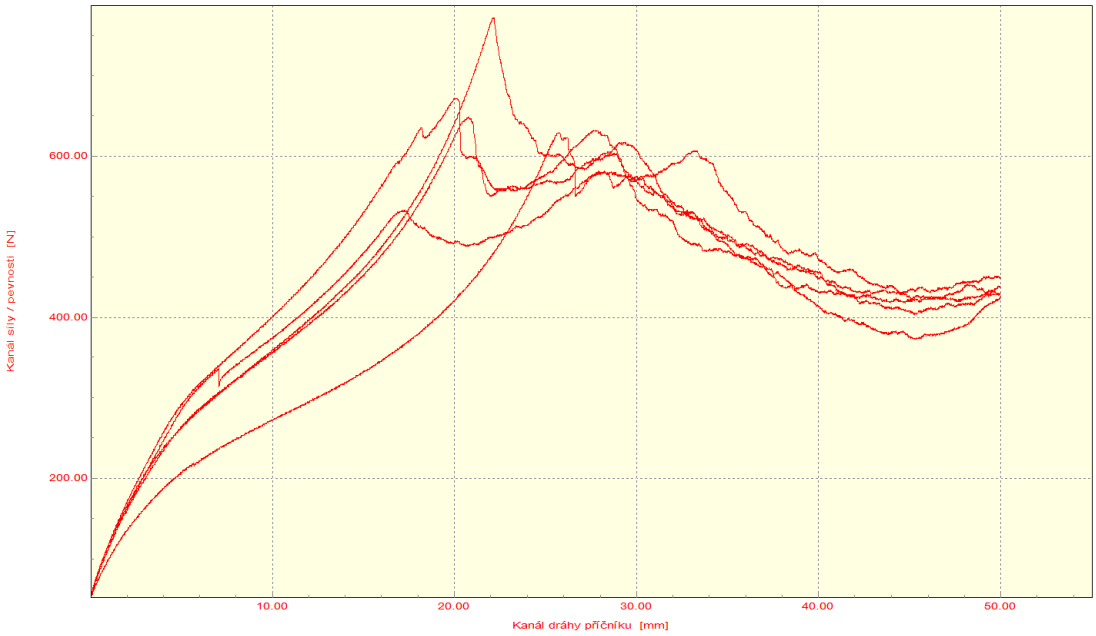
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dleČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
34	1193	648.2
35	1194	629.4
36	1195	772.0
37	1196	581.4
38	1197	672.0

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	660.6
Směrodatná odchylka	70.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (1393-1397) odlupovací zkouška (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

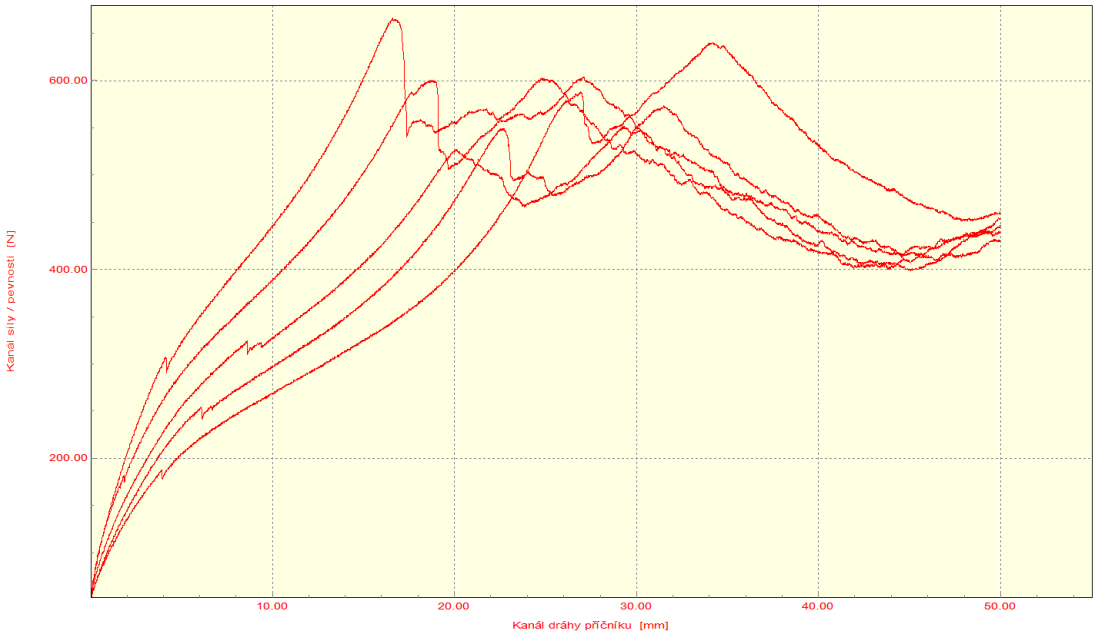
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
39	1393	666.5
40	1394	640.5
41	1395	573.1
42	1396	604.0
43	1397	551.0

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	607.0
Směrodatná odchylka	47.3



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (1593-1597) odlupovací zkouška (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

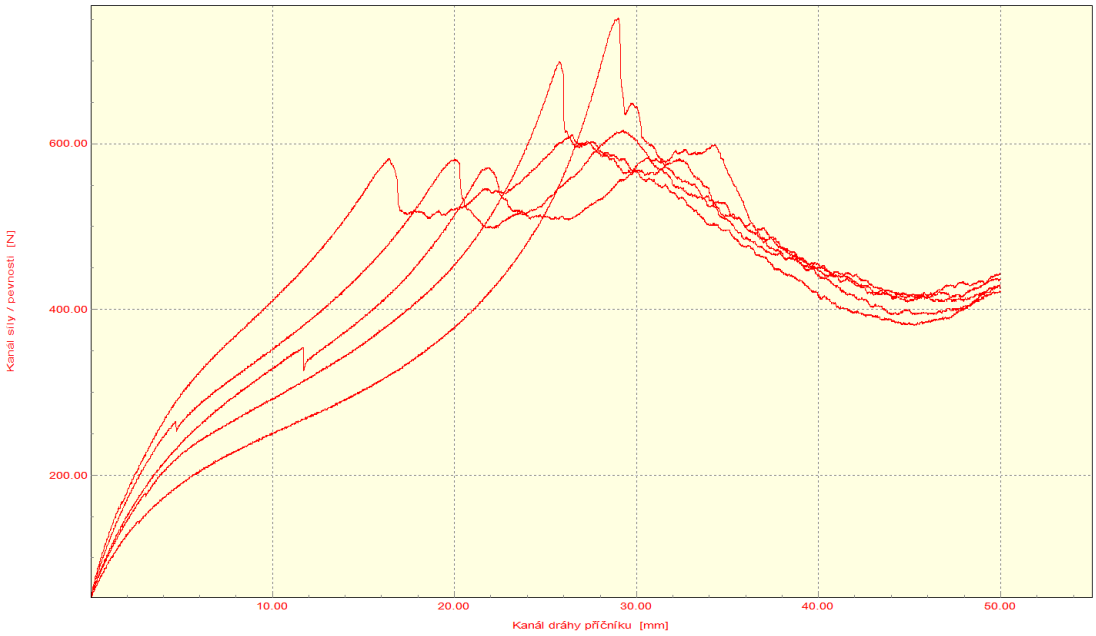
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
44	1593	699.0
45	1594	610.7
46	1595	752.1
47	1596	616.2
48	1597	583.6

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	652.3
Směrodatná odchylka	70.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (9-10) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

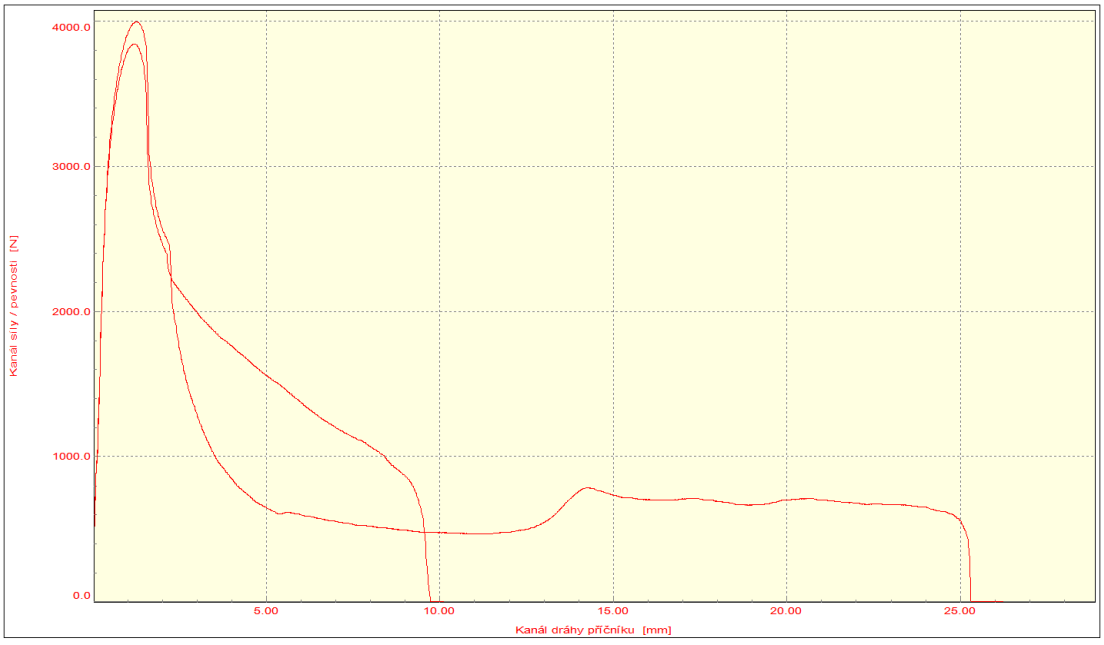
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	9	3843.7
2	10	3997.3

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	2
Průměrná hodnota	3920.5
Směrodatná odchylka	108.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (198-200) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

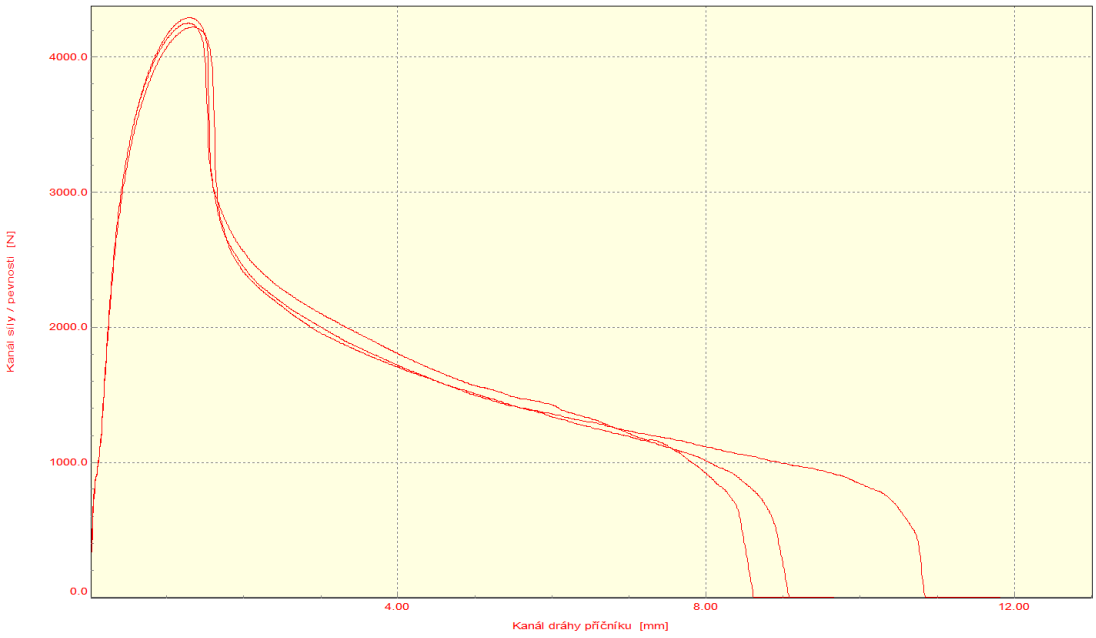
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
3	198	4223.2
4	199	4251.4
5	200	4293.4

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4256.0
Směrodatná odchylka	35.3



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (398-400) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

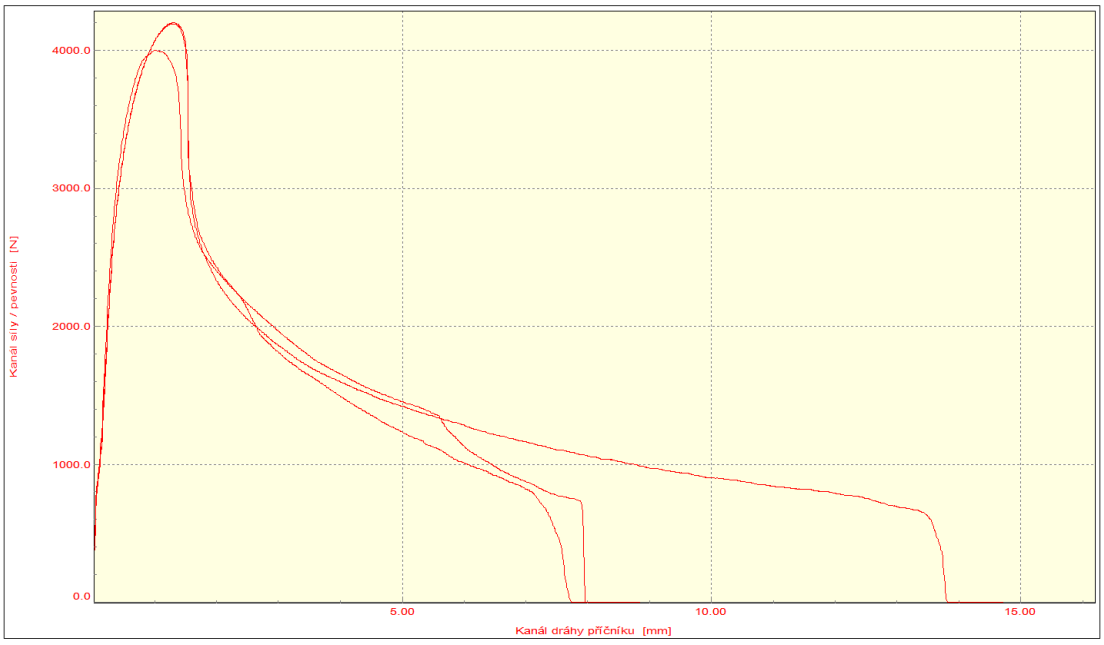
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
6	398	4203.3
7	399	4001.2
8	400	4192.3

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4132.3
Směrodatná odchylka	113.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (598-600) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

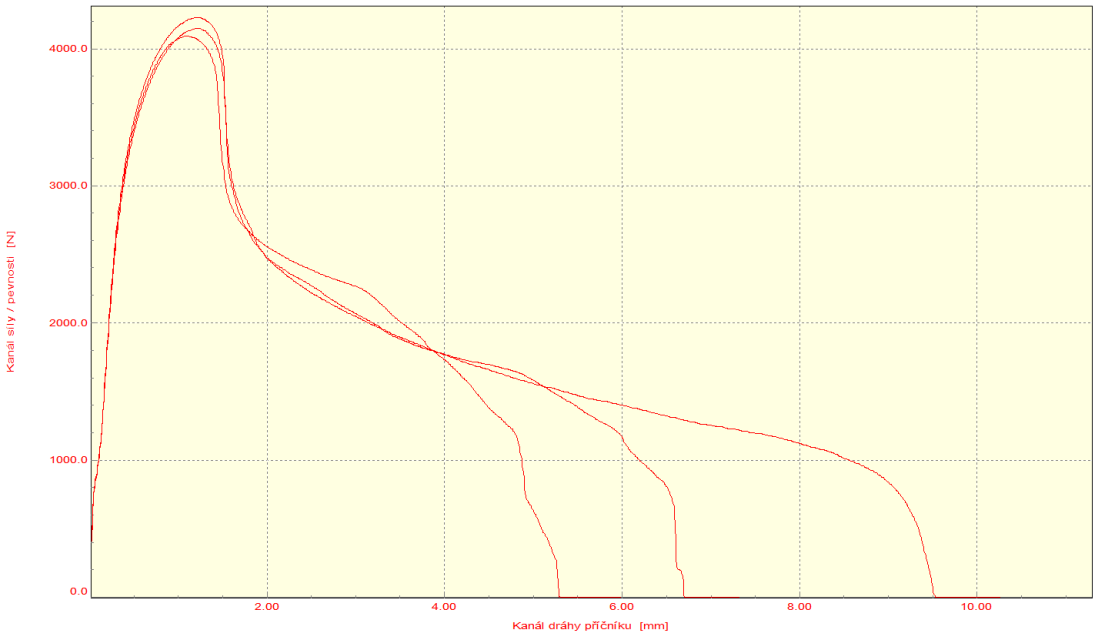
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
9	598	4226.5
10	599	4145.3
11	600	4090.1

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4154.0
Směrodatná odchylka	68.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (798-800) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

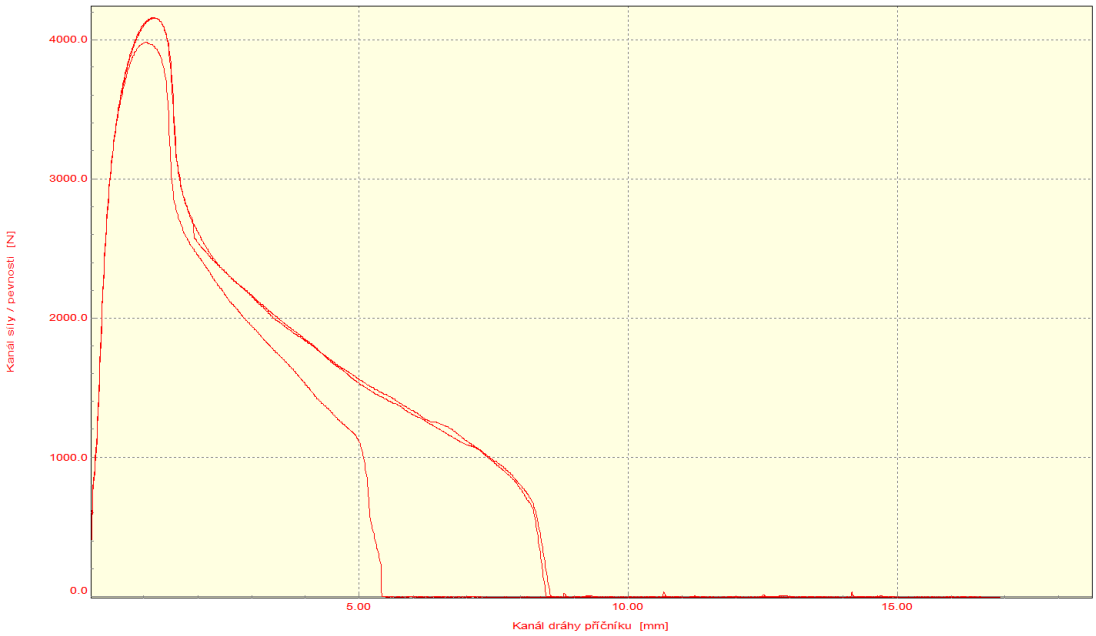
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
12	798	4155.8
13	799	3980.2
14	800	4159.7

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4098.6
Směrodatná odchylka	102.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (998-1000) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

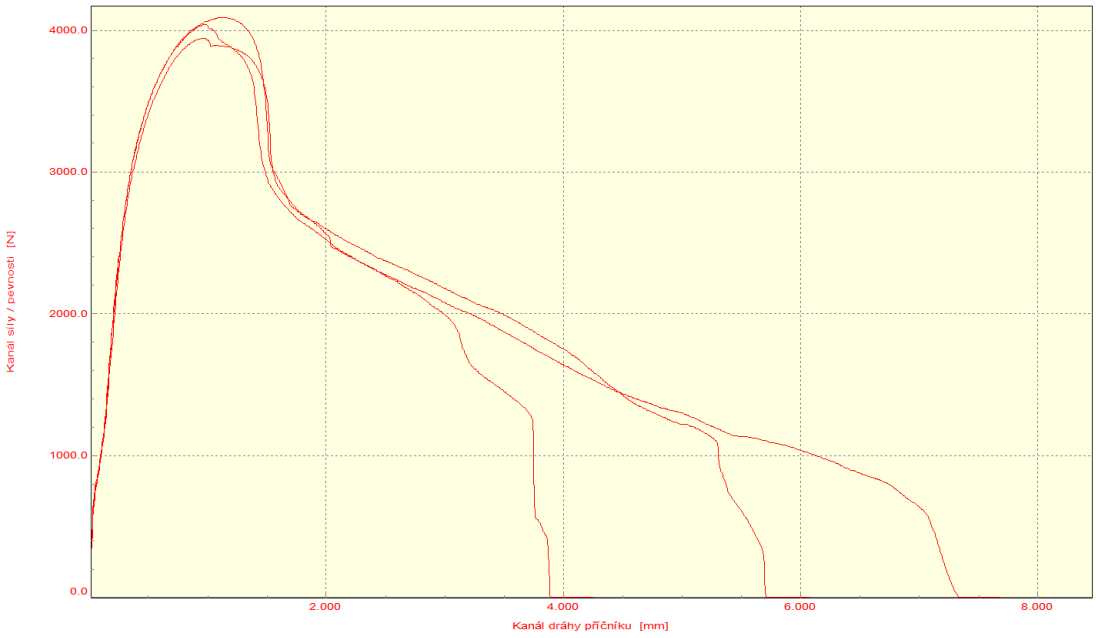
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
15	998	4040.4
16	999	4089.0
17	1000	3943.2

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4024.2
Směrodatná odchylka	74.2



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (1198-1200) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

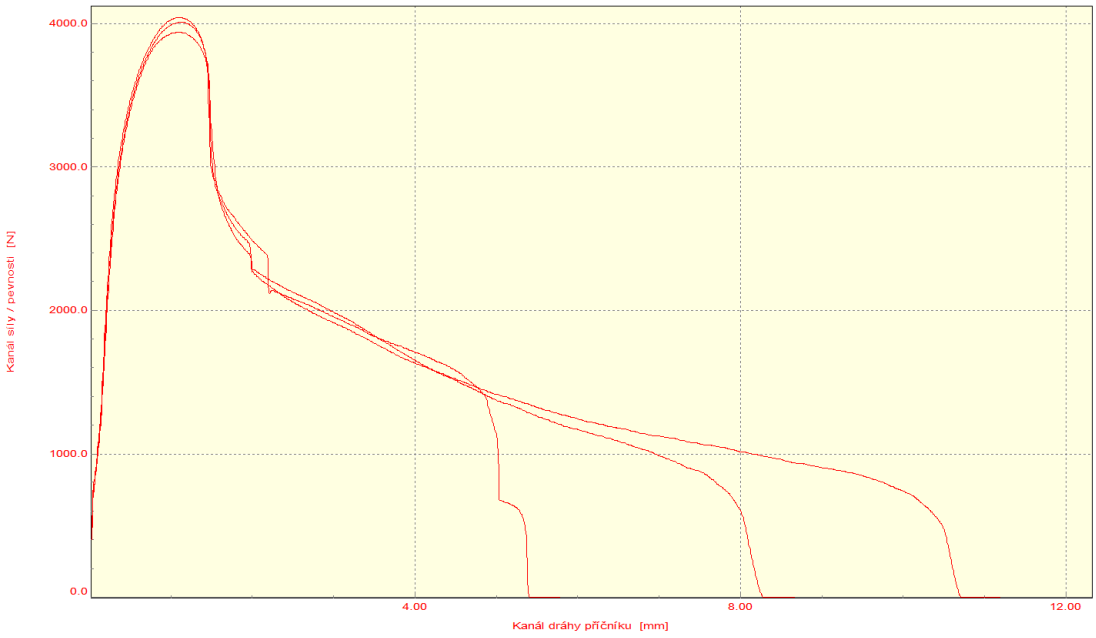
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
18	1198	4043.7
19	1199	3942.1
20	1200	4011.7

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3999.2
Směrodatná odchylka	51.9



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (1398-1400) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

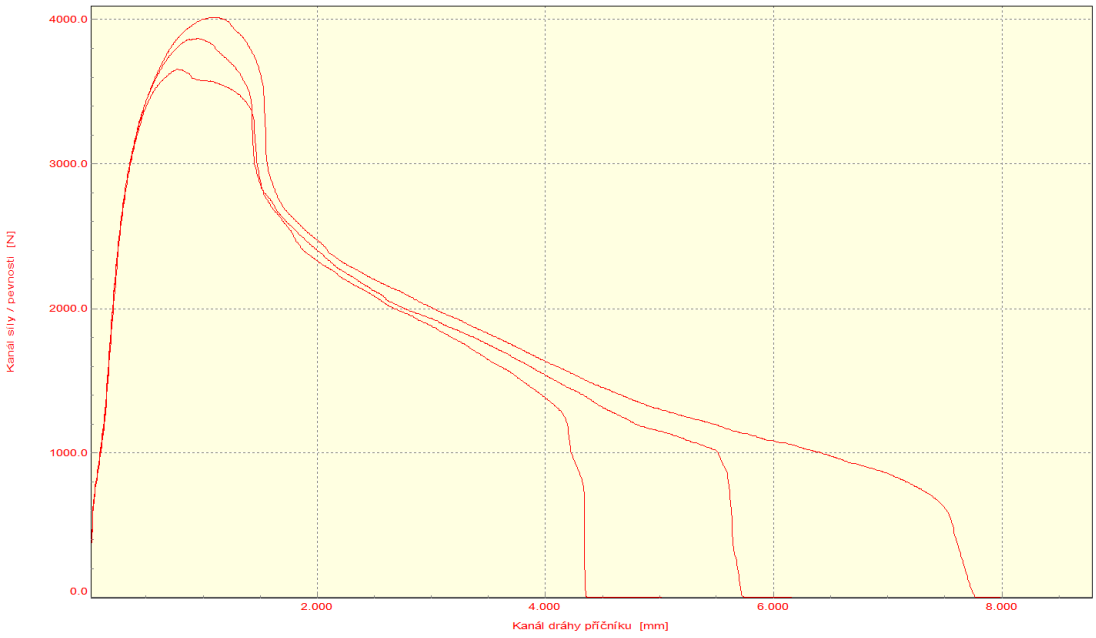
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
21	1398	3868.6
22	1399	4015.0
23	1400	3654.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3846.1
Směrodatná odchylka	181.1



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (1598-1600) zkouška střihem (experiment 3).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_3

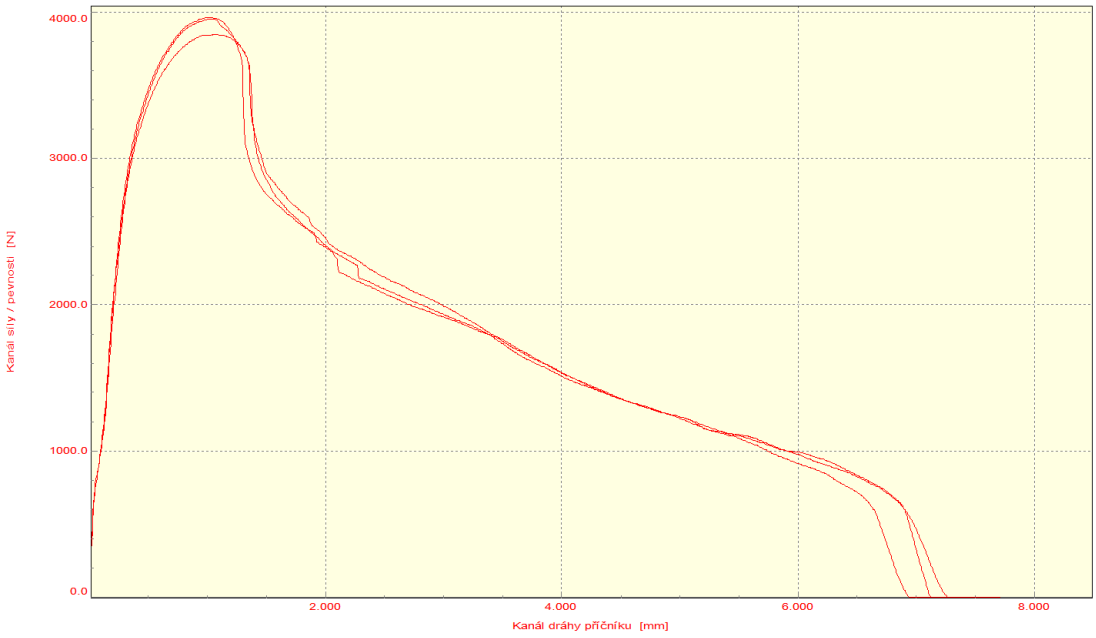
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
24	1598	3953.7
25	1599	3848.2
26	1600	3964.2

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3922.0
Směrodatná odchylka	64.2



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (196-200) odlupovací zkouška (experiment 4).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

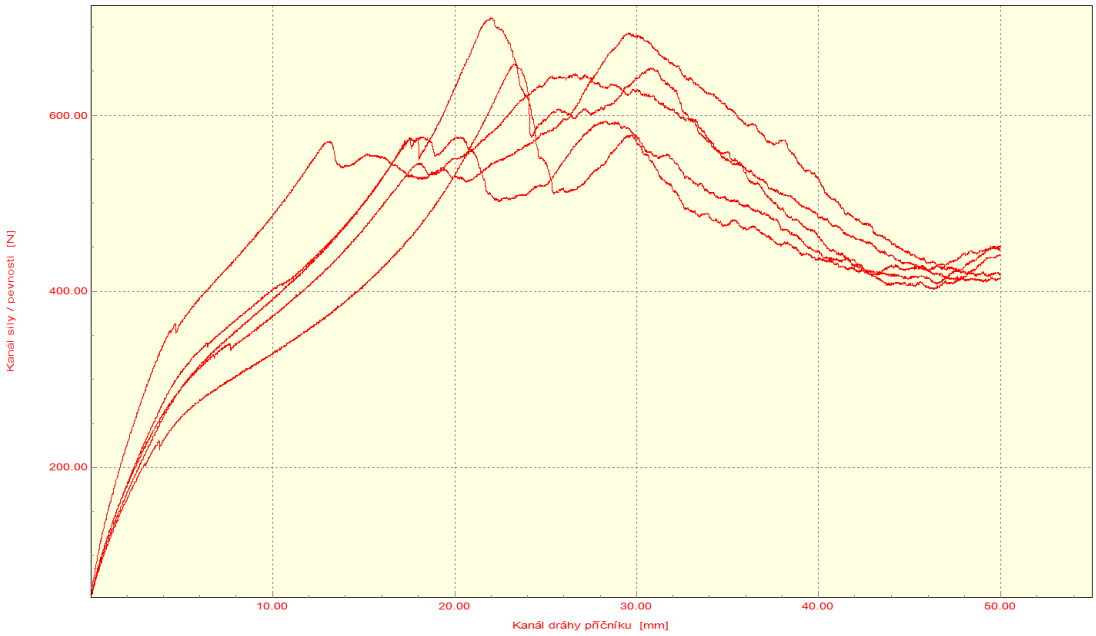
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
8	196	694.0
9	197	658.7
10	198	647.6
11	199	594.0
12	200	711.1

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	661.1
Směrodatná odchylka	45.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (393-397) odlupovací zkouška (experiment 4).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

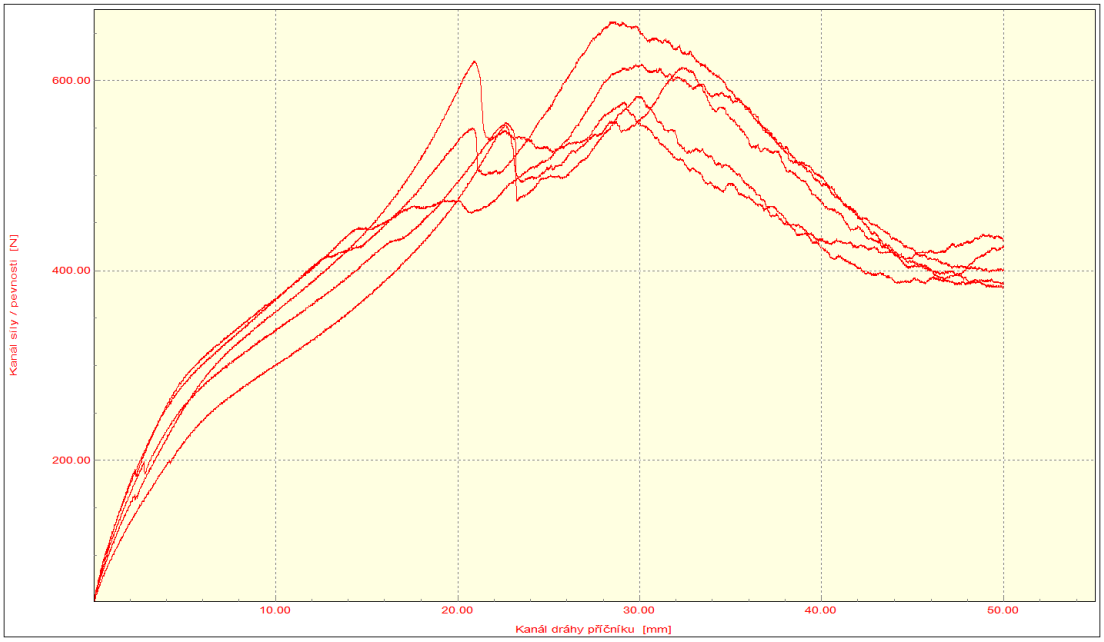
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
13	393	617.2
14	394	620.5
15	395	613.9
16	396	662.0
17	397	583.5

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	619.4
Směrodatná odchylka	28.0



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (593-597) odlupovací zkouška (experiment 4).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

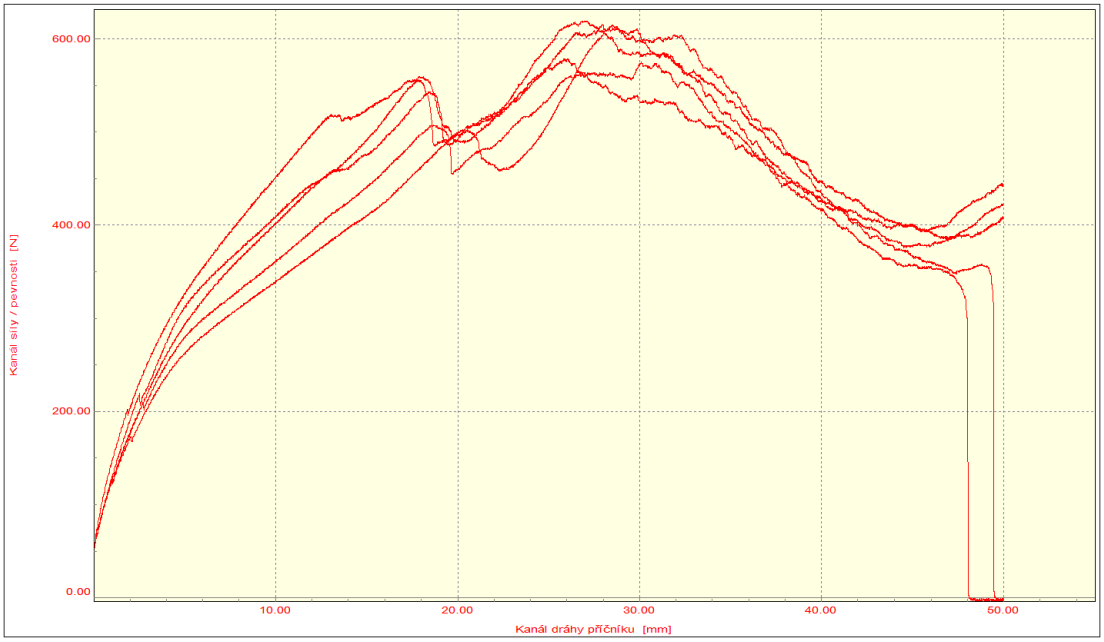
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 14270
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
18	593	614.5
19	594	578.6
20	595	610.0
21	596	619.4
22	597	575.2

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	599.5
Směrodatná odchylka	21.0



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (8-10) zkouška střihem (experiment 4).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

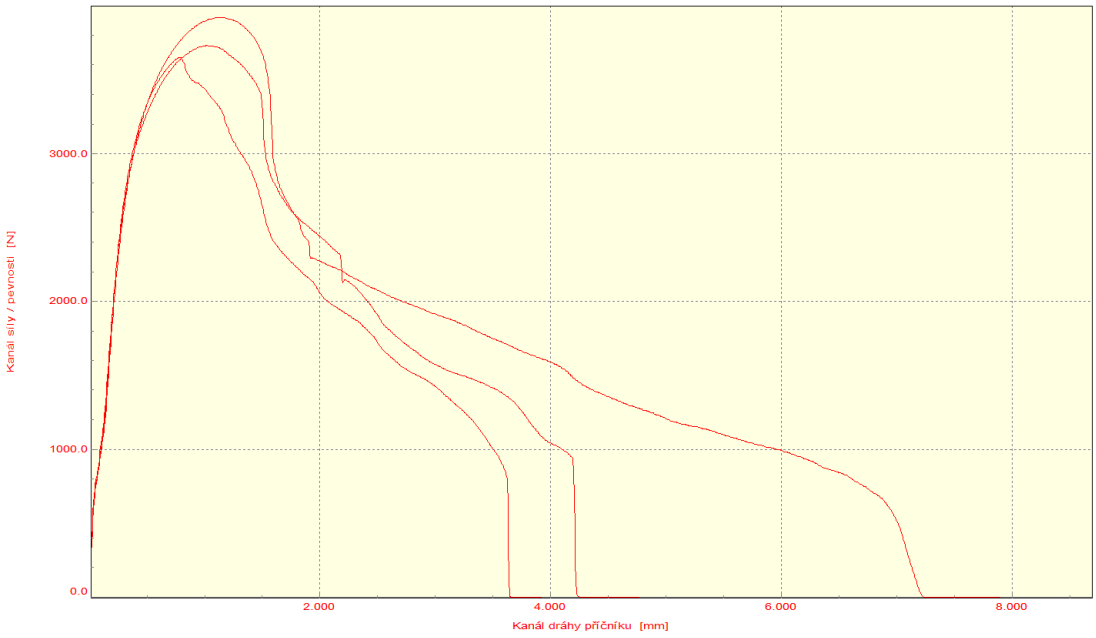
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
1	8	3921.1
2	9	3648.7
3	10	3731.6

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3767.1
Směrodatná odchylka	139.6



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (193-195) zkouška střihem (experiment 4).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

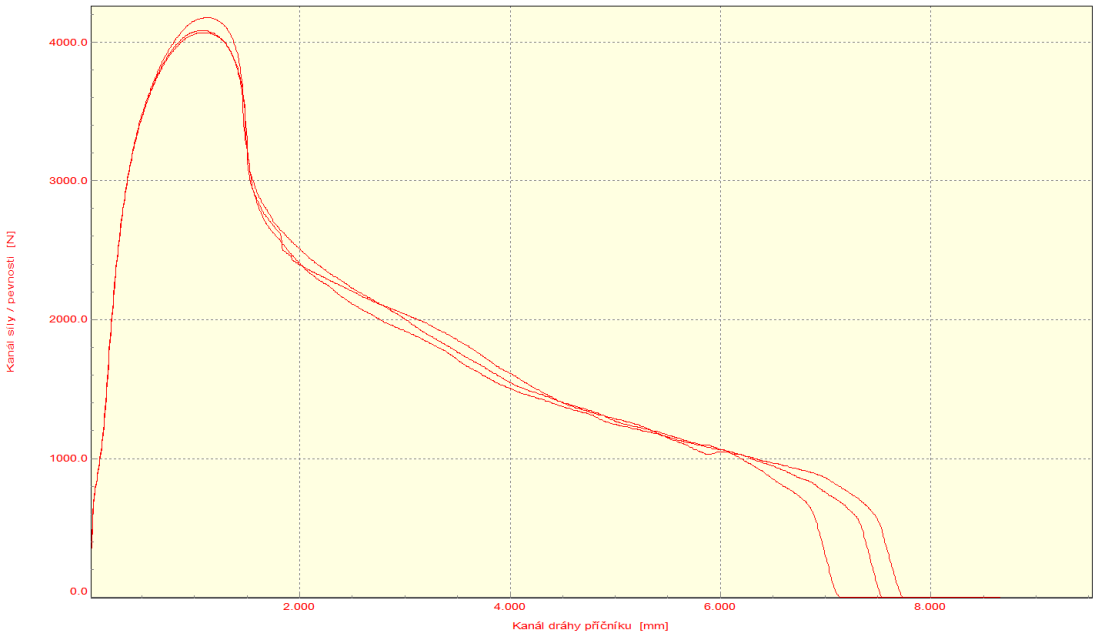
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
4	193	4178.5
5	194	4083.5
6	195	4070.2

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	4110.7
Směrodatná odchylka	59.1



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (398-400) zkouška střihem (experiment 4).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

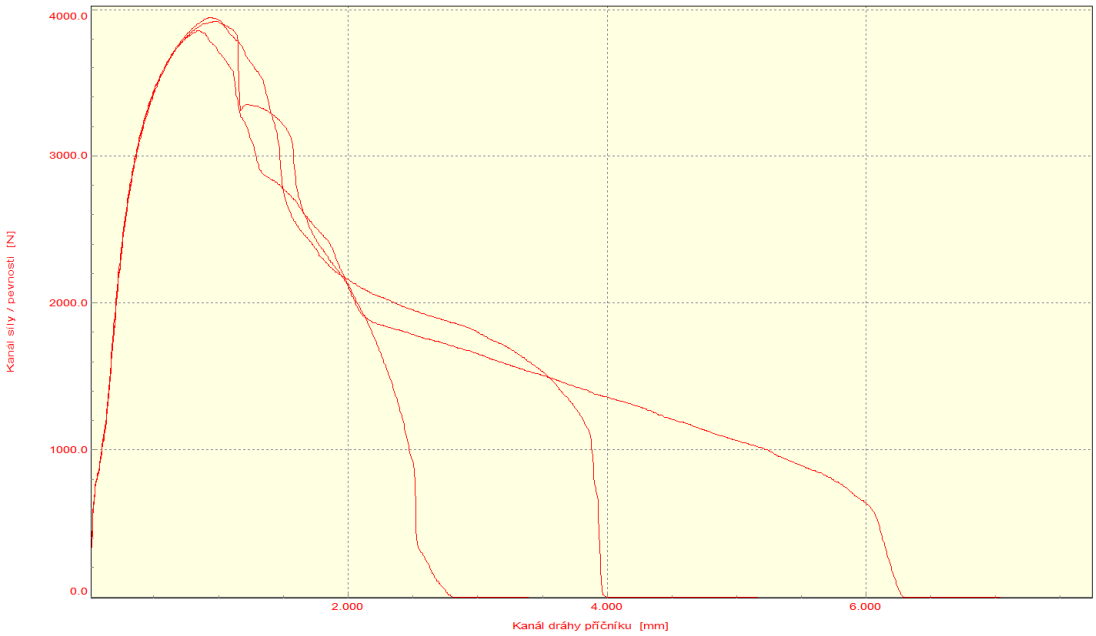
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO; tl 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
7	399	3917.8
8	398	3854.2
9	400	3944.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3905.6
Směrodatná odchylka	46.5



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie

Protokol zkušebních vzorků (598-600) zkouška střihem (experiment 4).

ZKOUŠKA ŽIVOTNOSTI ELEKTROD_4

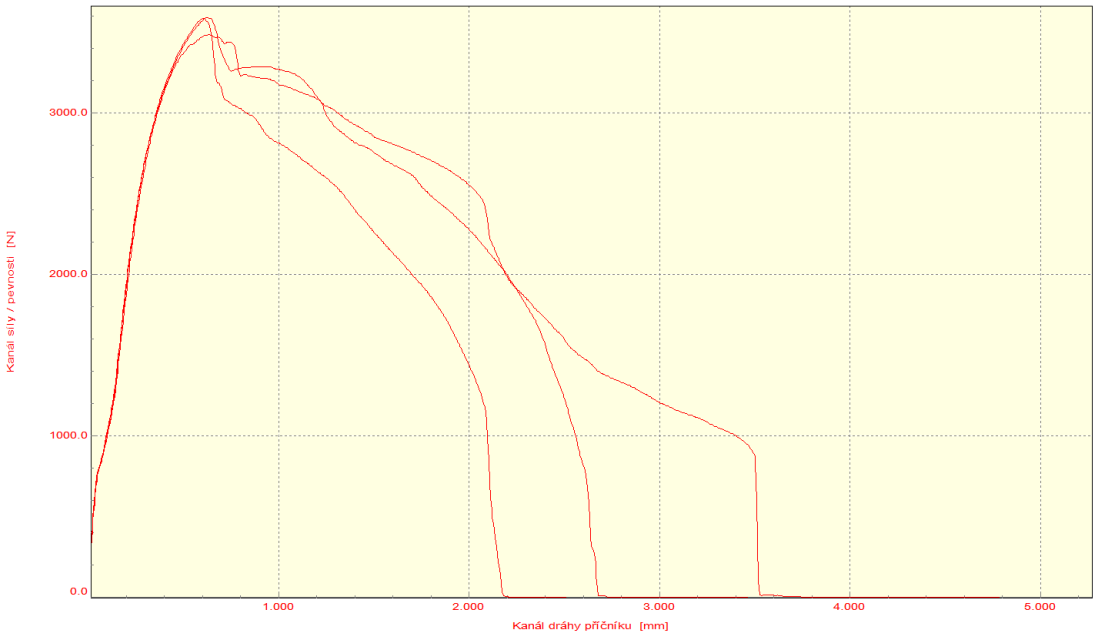
VSTUPNÍ PARAMETRY

Norma: : zkouška střihem dle ČSN EN ISO 14273
Materiál : plech HX - 220 - BD + Z 100 MCO, tl. 0,7
Materiál elektrod : Cu-Cr-Zr
Metoda svařování : odporové bodové
Podmínky měření : teplota RT, KAF 10 kN
Rychlost zatěžování: : proměnná 1 (15) mm/min.

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Číslo vzorku	Fm N
10	598	3586.3
11	599	3486.3
12	600	3591.8

Statistika	Fm N
Počet zkoušek	3
Průměrná hodnota	3554.8
Směrodatná odchylka	59.4



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERECI
Katedra strojírenské technologie