

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Změna technologie lisování kontaktů na technologii svařování
ultrazvukem

2017

Martin Krystek

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Změna technologie lisování kontaktů na technologii svařování
ultrazvukem

Replacement Crimping Technology by Ultrasonic Welding

Student:

Martin Krystek

Vedoucí bakalářské práce:


Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2017

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 15. 5. 2017



.....

Martin Krystek

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložena vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15. 5. 2017



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Krystek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Závořická 557, Postřelmov 789 69

Poděkování

Chci poděkovat vedoucímu práce Ing. Vladislavu Ochodkovi za odborné vedení, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích během vypracování bakalářské práce. Také chci poděkovat pánům Ing. Michalu Zedulovi a Ing. Janu Macháčkovi, Ph.D., za cenné informace a rady ohledně vypracování této práce.

Anotace

KRYSTEK, M. *Změna technologie lisování kontaktů na technologii svařování ultrazvukem*: Bakalářská práce. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2017, 52 s., vedoucí: Ing. Vladislav Ochodek.

Cílem této bakalářské práce bylo popsat technologii ultrazvukového svařování, její rozdělení a využití v praxi, potřebná zařízení a jejich charakteristiku, a srovnání s jinými technologiemi spojování materiálů. V experimentální části bylo řešeno svařování vzorků elektrických kontaktů a jejich testování. Na vzorcích byla provedena odtrhová zkouška a metalografický rozbor spojů. Na závěr bakalářské práce je provedeno vyhodnocení ekonomického přínosu nové metody spojování zkoušených kontaktů.

Annotation

KRYSTEK, M. *Replacement Crimping Technology by Ultrasonic Welding*. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Ostrava, 2017, 52p., Bachelor thesis, Supervisor: Ing. Vladislav Ochodek

The content of this thesis is describing technology of ultrasonic welding, its distribution and application in practice, required devices and their description, and comparison with other technologies of material bonding. In experimental part, it was dealing with the welding samples of electrical contacts and their testing. On samples was performed adhesive test and comparison samples from Metallographic test. Finally, this thesis showed as calculation economic profitability of a new method of bonding the tested contacts.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Krystek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Změna technologie lisování kontaktů na technologii svařování
ultrazvukem
Replacement Crimping Technology by Ultrasonic Welding
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popis a analýza současné metody lisování kontaktů.
2. Studie metody svařování ultrazvukem.
3. Návrh kontaktu a spoje s ultrazvukovým svarovým spojem.
4. Závěrečná diskuze a zhodnocení, testování, ekonomická efektivnost.

Seznam doporučené odborné literatury:

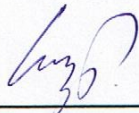
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
HRIVŇÁK, I. *Teoria zvaritelnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.
KOU, S. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1987.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**


Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Obsah

Seznam použitých značek, symbolů a zkratek.....	8
Úvod.....	9
1. Ultrazvukové svařování.....	10
1.1. Druhy systémů	11
2. Možnosti a procesy svařování	13
2.1. Ovlivnění svařování čistotou povrchu	15
2.2. Vlastnosti a geometrie sonotrody.....	16
3. Svařitelnost materiálů.....	17
4. Aplikace ultrazvukového svařování	21
4.1. Elektrické spoje.....	21
4.2. Fólie a plechy	22
4.3. Svařování v ochranné atmosféře	23
4.4. Konstrukční svařování	23
5. Doplnující vlastnosti ultrazvukového svařování	23
5.1. Bezpečnost práce.....	24
5.2. Srovnání s jinými metodami	25
6. Současný stav a následné operace	27
6.1. Charakteristika použitého materiálu a postup svařování	28
6.2. Zkoušky vzorků.....	33
7. Zhodnocení ekonomického přínosu	43
8. Diskuse dosažených výsledků	44
9. Závěr.....	46
10. Použitá literatura	47
Seznam použitých obrázků	48
Seznam příloh	49

Seznam použitých značek, symbolů a zkratek

Značka	Význam	Jednotka
f	Frekvence	[Hz, kHz]
P	Výkon	[W]
l	Délka	[m, mm, μm]
F	Síla	[N]
T	Čas	[s]
E	Energie	[J] [Ws]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
R _{p0,2}	Mez kluzu v tahu	[MPa]
G	Elektrická vodivost	[S, Ω^{-1}]
p	Tlak	[Pa, bar]
H	Tvrдость	[HV]

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou ultrazvukového svařování. Cílem je popsat princip samotné technologie a také důležité parametry mezi které patří například tvar a povrch sonotrody, amplituda vibrací a svařitelné materiály. Dalším cílem je popsat aplikace ultrazvukového svařování v různých odvětvích průmyslu. Z těchto odvětví je pro tuto práci nejzásadnější aplikace v elektrotechnickém průmyslu. Dalším cílem práce je charakterizovat omezující prvky svařitelnosti touto metodou, jako jsou: tloušťka svařovaného materiálu, žárupevnost materiálů tzn. chemické složení atd. Na závěr teoretické části bakalářská práce srovná ultrazvukovou metodu svařování s jinými metodami spojování včetně té, kterou má nahradit.

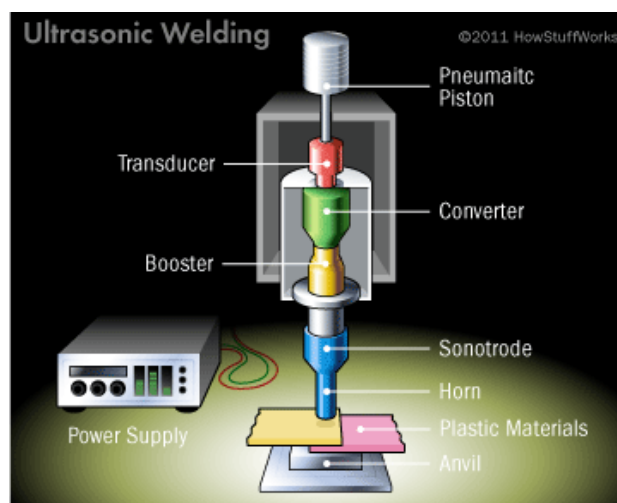
Cílem experimentální části této práce je popsat současný stav spoje a navrhnout optimální způsob nahrazení tohoto spoje. Bakalářská práce se bude zabývat svařovaným spojem měď – měď a spojem měď s vrstvou stříbra na měděném kontaktu. Dále bude popisovat použitý materiál a stroje využitě při svařování zkušebních vzorků pro experiment. Dalším cílem je připravit zkušební vzorky, navařit je a otestovat jejich mechanické vlastnosti. Vzorky se budou testovat na odtrh, makrostrukturu a mikrostrukturu. Dalším cílem je zjistit, zda bude toto nahrazení výhodné ekonomicky.

Tato práce vznikla ve spolupráci s firmou Siemens s.r.o. s pobočkou v Mohelnici. Firma je v České republice jednou z největších elektrotechnických firem s širokým zaměřením své výroby. Jejich výrobky jsou celosvětovou značkou kvality v oblasti elektrotechniky. Závod v Mohelnici se zabývá výrobou elektromotorů pro celou řadu aplikací a výrobou elektrických rozvodů pro velké budovy či pro výrobní haly. Tato práce by měla pomoci k zefektivnění výroby elektrických kontaktů pro přípojnicový systém BD02 a také k finanční úspoře této výroby.

1. Ultrazvukové svařování

Ultrazvukové svařování je proces, při kterém se tvoří bodové, maximálně švové, svary za pomoci vibrací a vysokého tlaku. Vibrační energie vytváří příčný pohyb mezi povrchy spojovaných materiálů, rozptyluje oxidy a nečistoty pro dosažení kontaktu „kov na kov“ a vytvoří svar.

Výhodou svařování pomocí ultrazvuku je jeho využití pro svařování plastů a tenkých tlouštěk materiálu. Používá se pro spojování kovových plechů, fólií, drátů či pásků na rovnou plochu a pro spojování jiných druhů sestav, které mohou být přidržovány držákem. Tento proces svařování se používá v automobilovém průmyslu, v elektrotechnickém průmyslu, v chlazení a klimatizacích, pro výrobu elektrických rozvodných sítí, ale i v ostatních, už ne v takové míře, výrobních odvětví. Je používáno pro výrobu akumulátorů a elektrických kontaktů, malých elektromotorů, hliníkových fólií a pro spojování hliníkových komponentů. Ultrazvukové svařování je používáno v automobilovém a leteckém průmyslu pro vytváření základních skeletů strojů. Proces je velice výhodný pro zapouzdření materiálů, jako jsou výbušniny, pyrotechnika a reakční chemické látky, které vyžadují hermeticky utěsněné nádoby, avšak nemohou být svařeny technologiemi s vysokými teplotami svařovacích procesů [1].



Obrázek 1 - Sestava ultrazvukové svářečky [3]

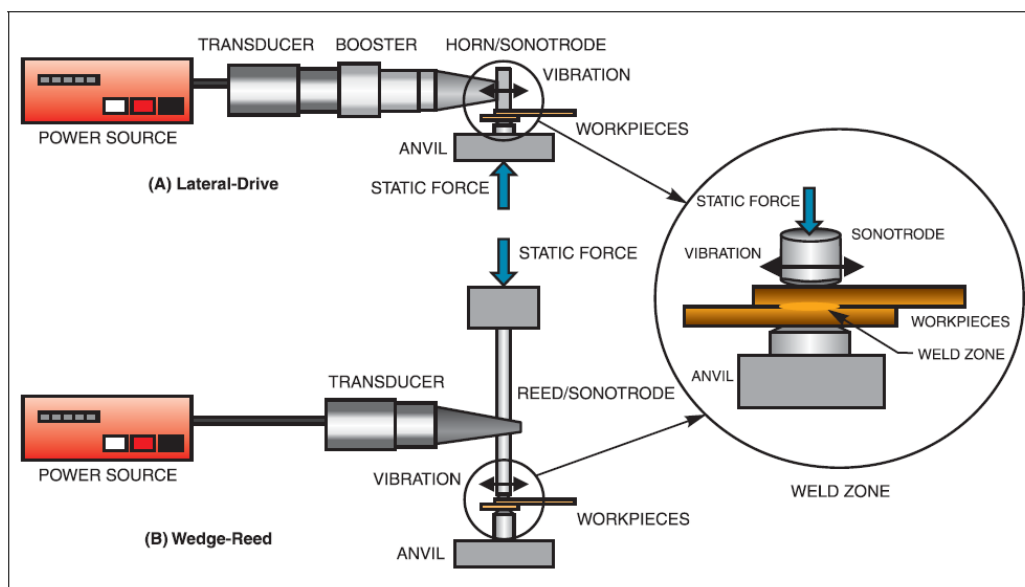
Pneumatic piston – pneumatický píst, Transducer – měnič, Converter – převodník, Booster – urychlovač, Horn – hrot, Power Supply – Zdroj el. energie, Anvil – kovadlina (držák)

Součásti ultrazvukového svařovacího systému jsou: zdroj el. energie, měnič, akustický spojovací systém, sonotrody, držák a upínací systém, viz. obrázek 1. Zdroj

energie poskytuje vysokofrekvenční napájení pro měnič. Vysokofrekvenční mechanické vibrace jsou generovány v měniči a transformovány přes akustický spojovací systém na obrobky do svaru pomocí tzn. sonotrod. Svařované díly jsou drženy po celou dobu svařování pomocí upínacího systému a držáku [2].

1.1. Druhy systémů

Existují dva druhy konstrukce ultrazvukového svařecího systému, a to s bočním pohonem a systém klín – jazýček. Tyto systémy mají tři totožné komponenty: zdroj energie, ultrazvukový měnič a hrot, viz. obrázek 2.



Obrázek 2 - Dva druhy konstrukce [1]

Lateral-Drive – boční pohon, Wedge-Reed – „klín-jazýček“

power source – zdroj energie, transducer – měnič, booster – urychlovač, horn – hrot, anvil – držák/kovadlina, static force – statická síla, workpieces – polotovary, reed – jazýček, weld zone – svar

Zdroj energie převádí pomocí převodníku frekvence ze sítě na ultrazvukové frekvence. Z převodníku běžně vystupuje frekvence od 15 do 40kHz (ale může být až 300 kHz, a to pro mikro-nsařování). V závislosti na zatížení a velikosti obrobků může být výstupní výkon zdroje 10wattů až do několika kilowattů.

Druhým společným zařízením je ultrazvukový měnič. Měnič převádí vysokofrekvenční elektrickou energii na ultrazvukové vibrace. Měniče jsou vyrobeny s disky z piezoelektrického materiálu ve formě keramiky, jako je zirkoničitan nebo titaničitan olova. Změna elektrické energie na mechanické vibrace je způsobena piezoelektrickým materiálem. Piezoelektrické materiály se po přivedení elektrické energie deformují a tím vzniká mechanický pohyb. Tento proces lze provádět i opačně a opakovaně. Měniče jsou vyráběny tak aby zabraňovaly vytváření rezonančních kmitů a aby vytvořily pístu podobné vibrace na konci cyklu. Vibrace se vyskytují na podélné ose měniče o vysoké frekvenci (např. 20 kHz), ale nízké amplitudě. Amplituda vibrací se pohybuje okolo 20 μm , tyto vibrace jsou pro lidské oko neviditelné a pro jejich měření je potřeba speciálních měřících přípravků [1]. Piezoelektrické měniče jsou tvořeny z piezoelektrického materiálu, z kovových částí, šroubu pro ustavení a stlačení obrobků a z uzavíratelné klece. I když jsou piezoelektrické měniče používány nejčastěji, zle použít i měniče na bázi Magnetostriktivního jevu [5]. Magnetostriktivní materiály, jako je nikl, mají tu vlastnost, že dokáží měnit své rozměry v magnetickém poli. Tyto materiály se používaly dříve, ale pro jejich malou účinnost byly nahrazeny piezoelektrickými materiály [2].

Třetím komponentem společným pro oba druhy systémů je hrot, který poskytuje akustické spojení mezi ultrazvukovými vibracemi a svarem. Hrot zesiluje vibrace a přenáší je do celého svařence. V systému s bočním pohonem je hrot často nazýván booster (urychlovač/ zvětšovač) protože jeho obvyklou funkcí je zvětšovat nebo zesilovat vibrace. V systému „klín jazýček“ je hrot nazýván klínem pro jeho tvar. Hrot je naladěn, aby vibroval na stejné frekvenci jako měnič a o polovinu méně vlnové délky.

Kromě těchto podobností se tyto systémy rozcházejí v přenosu vibrací mezi akustickým spojovacím systémem a polotovary. Konstrukce držáku se v obou případech také liší. Držák v systému s bočním pohonem je zcela tuhý, zatímco v systému „klín jazýček“ může být držák tuhý nebo může být nastaven na vibrace jako součást akustického spojovacího členu. Celkově lze říci, že oba systémy dosahují stejného výsledku: vytvoření vibrací v polotovarech ve směru rovnoběžném s povrchem a vytvoření svaru viz. obrázek 2 zakroužkovaná část [2].

Systém s bočním pohonem

V tomto systému booster pohání ještě jeden hrot, který má nastavené vibrace o polovinu vlnové délky menší a na který je pevně připevněna sonotroda. Sonotroda může být připevněna pomocí závitů nebo může být vmontována do hrotu. Sonotroda je přímo v kontaktu s obrobky a vysílá do nich vibrace. Držák je v tomto systému konstruován tak, aby odolával průhybům a aby vydržel statické upínací síly pro upevnění polotovarů při svařování. Statická síla je přenášena na obrobky pomocí pákového upínacího mechanismu. Směr kmitání sonotrody a tím i směr vibrací je rovnoběžný s povrchem [1].

Systém „Klín-jazýček“

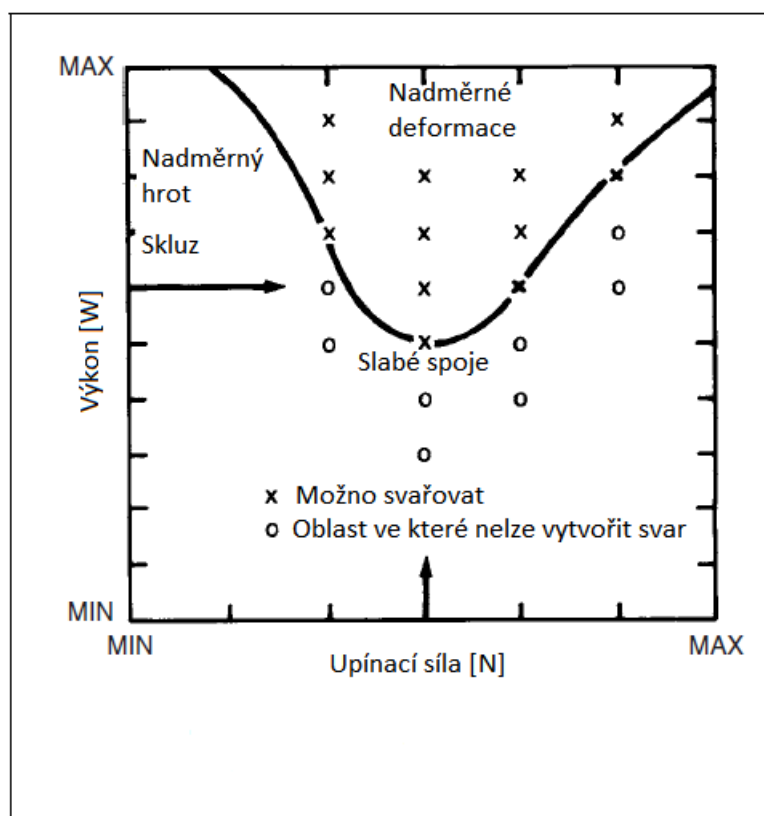
Klínový převodník je pevně spojen s jazýčkem. Ve většině případů je jazýček a klínový převodník svařen dohromady, aby se zajistilo pevné rozhraní. Jazýček, který může být považován za paprsek, je řízen vibracemi klínu v ohybu nebo v krutu. Na rozdíl od systému s bočním pohonem, měniče v tomto systému vibrují v podélném směru. Vibrace jazýčku jsou nastaveny na rezonance s klínovým převodníkem. Povaha těchto vibrací je příčná k ose paprsku stejně jako vibrace od řetězu. Výsledkem tohoto uspořádání je to, že sonotrody, které jsou připevněny na konci sestavy, vibrují rovnoběžně s povrchem obrobku. Držák může být pevný nebo může vibrovat jako součást akustického upínacího systému. Upínací síla je aplikována mezi horní konec paprsku a držáku. Síla je přímo přenášena osou paprsku do obrobků při svařování [1].

2. Možnosti a procesy svařování

Výběr procesů pro ultrazvukové svařování a nastavení základních proměnných svařovacího stroje závisí na těchto parametrech: amplituda vibrací, energie, upínací síla a čas svařování. Ostatní parametry, na které se bere zřetel, jsou: výběr vhodné aplikace, výběr svářecího stroje s vhodnými parametry pro danou aplikaci, tloušťka materiálu, výběr vhodného typu kontroly a řízení rezonance obrobku, výběr úpravy povrchu obrobku a pokud je třeba tak výběr vhodné svařovací atmosféry.

Pouze několik proměnných může být nastaveno nezávisle na daném typu svářecího stroje pro danou aplikaci. Jeden systém může nastavovat výkon, upínací sílu a čas, zatím co jiný systém amplitudu, výkon a energii. Proměnné pro speciální aplikace jsou obvykle stanoveny experimentálně s využitím zkušeností z podobných operací. Jakmile jsou zvoleny parametry a nastavení svářecího stroje, nejsou už úpravy dále potřeba, pokud nedošlo ke změnám hrotu sonotrody nebo geometrii obrobku.

Svařovací parametry mohou na sebe vzájemně působit. Například, vybereme-li optimální upínací sílu, potom k ní můžeme vybrat nejmenší potřebnou sílu pro výrobu daného svaru. Tato podmínka může být stanovena vynesemím prahové křivky, viz. obrázek 3, která definuje závislost pro vytvoření nejlepšího spoje mezi hrotem sonotrody a obrobkem.



Obrázek 3 - Graf pro zjištění možného minimálního výkonu na zvolené upínací síle [1]

Svařování se obvykle provádí pomocí minimální hodnoty upínací síly pro daný výkon a o něco větší hodnoty, než je minimální hodnota výkonu. Potřebná celková energie E pro vytvoření svaru je závislá na výkonu P a svařovacím čase T viz. vzorec (1).

$$E = P * T \quad (1)$$

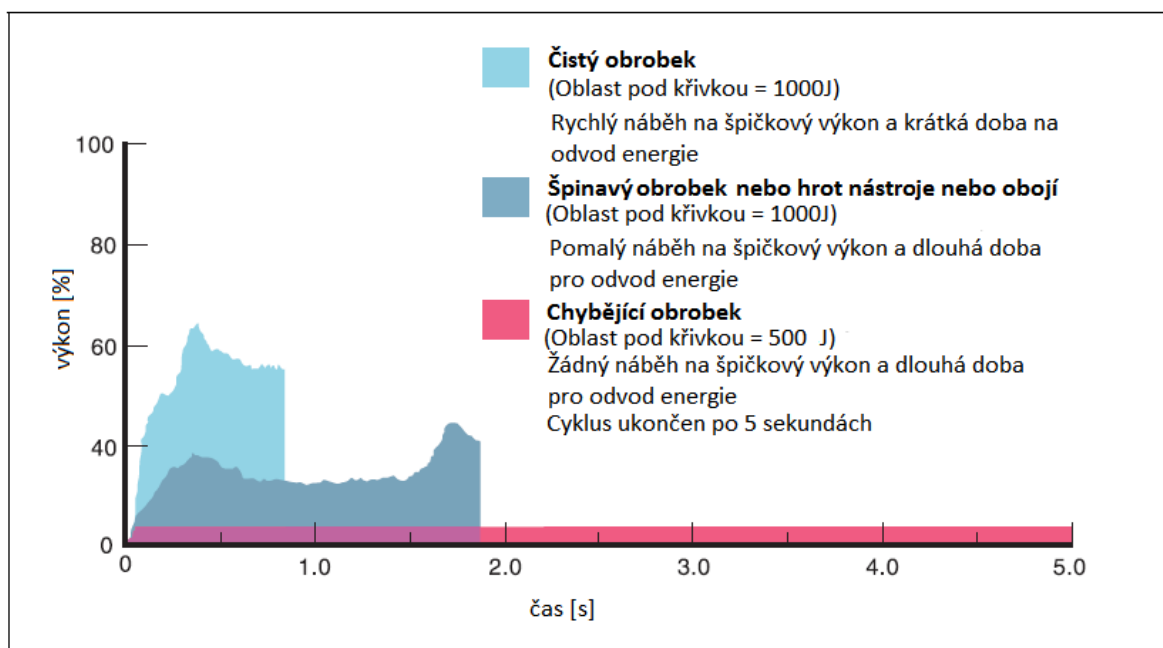
Z čehož vyplývá, že pokud klesne výkon svářečky, prodlouží se čas svařování a naopak. Prahová křivka je vhodným parametrem, pro správné nastavení svařovacího stroje pro všechny typy ultrazvukových svarových spojů. Tabulka 1 ukazuje různé typy výkonových kapacit svařovacích strojů.

Tabulka 1 – Rozsah upínacích sil na základě výkonu stroje [1]

Instalovaný výkon stroje [W]	Rozsah upínacích sil [N]
20	00,4 – 1,7
50–100	2,2 – 67
300	22–800
600	310–1780
1200	265–2650
4000	1100–14250
8000	3500–17800

2.1. Ovlivnění svařování čistotou povrchu

Rozdíly v povrchovém složení (oxidy, nečistoty) mohou mít za následek mnoho aspektů. Nejvíce však ovlivňují potřebnou energii pro vytvoření svaru, například při svařování fólií, olejový film zpozdí účinné spojení až do bodu, kdy se fólie spálí. Obrázek č. 4 ukazuje výkonové křivky dvou odlišných svařovaných povrchů a třetí svar, jemuž chybí část obrobku. I když se špičky křivek liší, jejich energie (plocha pod křivkami) je stejná, což má za následek zvukový svar.



Obrázek 4 - Rozdíly v čistotě povrchu [1]

2.2. Vlastnosti a geometrie sonotrody

Sonotroda bývá vyrobena z vysoko-kvalitní žárupevné nástrojové oceli. Lícování mezi špičkou a hrotem musí být co největší, aby byl přenos vibračních sil co největší. Špatné lícování může způsobit zahřátí soustavy svářečky a případně i její zničení. Zkracuje se taky servisní interval sonotrody. Sonotroda je spotřební zboží, tudíž poškozené sonotrody se opravují nebo raději vyměňují za nové [1].

Široké škály vzorů svarů může být docíleno pomocí různých detailů na sonotrodě, například průměr vzoru 0,1 mm nebo větší může být vyroben pomocí speciální konfigurace hrotu. Lze taky vytvořit obdélníkový vzor 25x38 mm, tento spoj se používá pro spojování fólií, a to o délce 200 mm [3].

Sonotrody a držáky jsou běžně vyráběny s vroubkovanými nebo šrafovanými vzory pro zabránění prokluzu mezi sonotrodou nebo povrchem držáku a svařencem. Typickým šrafovacím stylem je 0,5 mm rozestup a 0,2 mm hluboké zářezy. Pro dosažení stejného efektu můžeme použít elektrostruskové obrábění povrchu nebo otryskání (například na 200 mikronů). Tyto různé vzory a úpravy svarů přispívají k delší životnosti sonotrody [1].

Sonotrody pro torzní svařování jsou pevné součásti vyrobené se svarovým vzorem po celé ploše sonotrody. Držáky mohou být ploché nebo vhodně tvarované pro dosažení co

nejlepšího styku se svařencem. Například při svařování víka válcové nádoby, je držák vytvarovaný tak, aby obejmul nádobu a příruba se dotýkala povrchu držáku [2].

System klín-jazyček používá aretační kužel pro zajištění sonotrody kvůli snadnější demontáži. System s bočním pohonem využívá špičky integrované do svářecího hrotu, a tím získává více ploch pro svařování. Více ploch způsobí rotace hrotu. Tento system může využívat i vyměnitelných sonotrod [1].

Některé slitiny mají tendenci se lepit na sonotrodu při jejich svařování. Pokud se tak stane, nánosy můžeme odstranit mechanicky nebo využitím nízkofrekvenčních kmitů. Pokud i přesto nánosy zůstanou přilepeny, lze je odstranit využitím svařovacího cyklu do tlusté vrstvy mosazi. To odstraní nános materiálu daleko lépe než mechanické odstraňování. Některé exotické slitiny byly použity pro výrobu sonotrod, aby se zabránilo nalepování svařovaného materiálu, ovšem s malou úspěšností. Dále je možno použít opakovaný nízko-objemový paprsek vody. Při svařování hliníku a titanu se používá ocelová podložka s oxidační vrstvou pro prevenci nalepování a deformaci obrobku [4].

Sonotrody používané pro švové svařování jsou rezonanční nebo v podobě disků. Pro svařování rovných povrchů jsou sonotrody opatřeny konvexním okrajem nebo okrajem způsobujícím těsný kontakt se svařencem. Například pro kontinuální svařování žeber pro válce se používají sonotrody s rýhováním po celém obvodu.

Když sonotroda vykazuje opotřebení, erozi nebo odštěpování materiálu, může být opravena obráběním na rovný povrch a vybroušením zoubkovaného vzoru. Tuto operaci výrobci často poskytují levněji než výměnu za nový kus. Pokud je ale sonotroda nadměru poškozená je výměna nezbytná.

3. Svařitelnost materiálů

Jako v mnoha jiných svařovacích procesech nejsou ani zde jasná pravidla pro určení, zda jsou nebo nejsou určité materiály svařitelné pomocí ultrazvukové metody. Svařitelnost kovů je hlavně ovlivněna schopností deformace, povrchovou úpravou a celkovou tvrdostí kovu. Svařitelnost se snižuje při změně mřížky z kubicky plošně na kubicky prostorově centrovanou. Tento pokles je ještě viditelnější při svařování kovů s hexagonální mřížkou [1]. Svařitelnost také klesá při zvyšování tvrdosti základního

materiálu. Při svařování odlišných kovů mají větší význam vlastnosti snadněji svařitelného kovu.

Dalším důležitým faktorem je rozdíl tvrdostí mezi oxidem a základním materiálem. Například oxid hlinitý, ten je mnohonásobně tvrdší než čistý hliník, takže je náchylnější k prasklinám, a to zvláště při plastickém namáhání základního materiálu. Naopak měď má velmi měkký oxid. Deformuje se s čistou mědí a je mnohem obtížné vytvořit spoj mědi s oxidem měďnatým. Měď má obvykle větší nároky na čištění povrchu před svařováním.

Celkově vzato je většina kovů svařitelná ultrazvukovou metodou. Obrázek č. 5 ukazuje některé kombinace kovů a slitin, které mohou být svařovány na komerční bázi. Bílá místa v grafu ukazují kombinace, které nebyly doposud testovány nebo byly neúspěšné. Na obrázku 6 je vidět, že různé kovy se liší ve svařitelnosti a vlastnostech jednotlivých kovů. Kovy označované za těžko svařitelné vyžadují vysoký výkon nebo dlouhý svařovací čas nebo obojí. Tyto aplikace mají tendenci k problémům, jako jsou nalepení materiálu na sonotrodu nebo zkrácení životnosti materiálu.

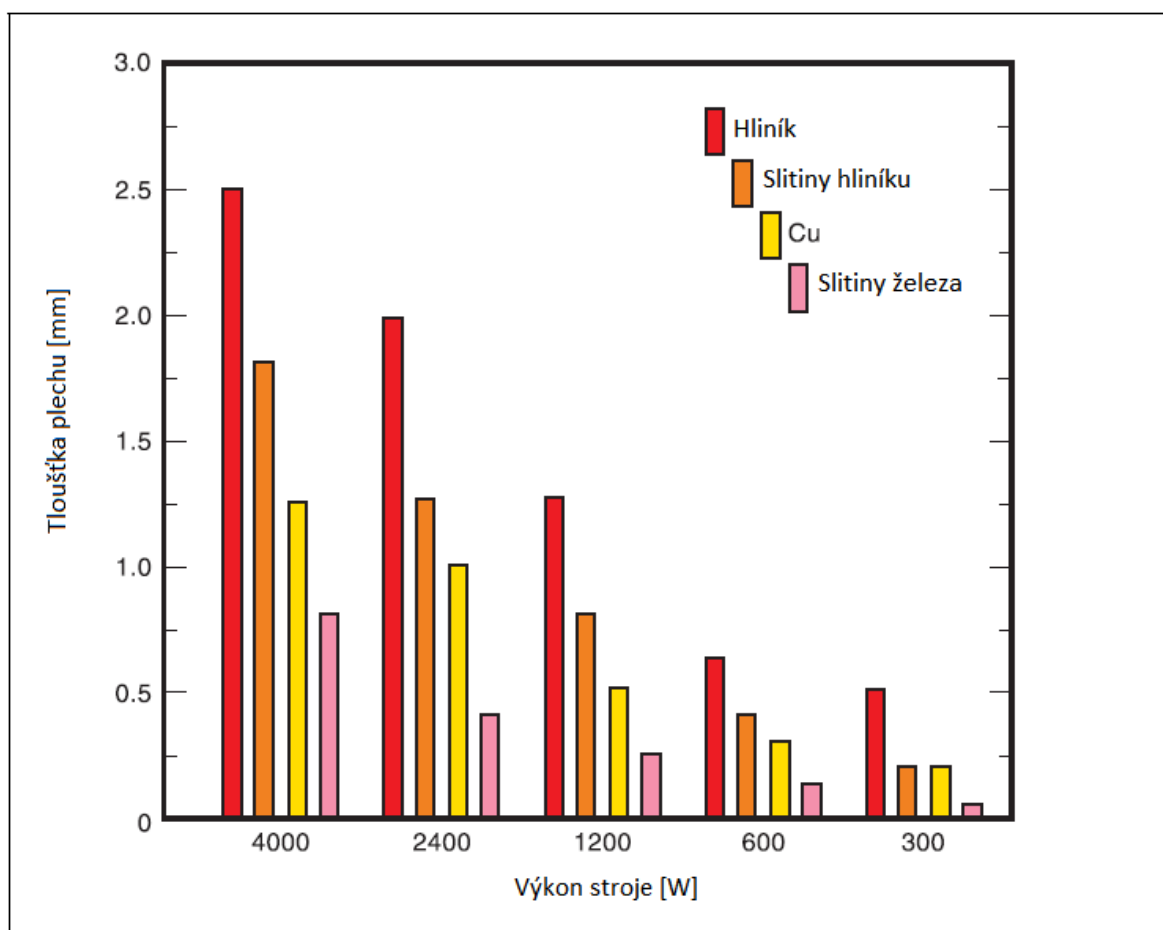
	Al	Be	Cu	Ge	Au	Fe	Mg	Mo	Ni	Pd	Pt	Si	Ag	Ta	Sn	Ti	W	Zr
Al Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Be Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Cu Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Ge	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Au	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Fe Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Mg Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Mo Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Ni Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Pd	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Pt Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Si	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Ag Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Ta Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Sn	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Ti Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
W Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat
Zr Alloys	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat	Možno zkombinovat

Alloys = slitiny

Možno zkombinovat = Možno zkombinovat

Nelze zkombinovat nebo neznámý výsledek = Nelze zkombinovat nebo neznámý výsledek

Obrázek 5 - Možné kombinace kovů a slitin [1], [2]



Obrázek 6 - Kapacity několika ultrazvukových bodových svářeček používaných pro spojování vybraných kovů [1]

Hliníkové slitiny

Všechny hliníkové slitiny jsou svařitelné, což ukazuje obr. 5. Měkký hliníkový plášť na povrchu slitin umožňuje jednodušší svařování. Hliník může být svařovaný s mnoha jinými materiály jako je germanium a křemík či primární polovodičové materiály. Žíhané materiály vykazují vysokou deformaci. Obecně platí, že tvrdost žíhaných hliníkových slitin by měla mít 25-50 % maximální tvrdosti slitiny [1].

Ve švovém ultrazvukovém svařování mají některé hliníkové slitiny (1100, 2036, atd) tendenci se lepit na sonotrodu [1]. Někdy lze toto lepení snížit přidáním výkonu a snížením svařovacího času. Taky pomůže použít sonotrody vyrobené z tvrzené nástrojové oceli. Další opatření proti lepení mohou být mechanické stěrky nebo umístění tvrzené podložky mezi kmitající hrot a svařenec.

Slitiny mědi

Měď a slitiny mědi jako je mosaz a poměděné kovy jsou poměrně snadno svařitelné. Vysoká tepelná vodivost není tak odstrašující faktor u ultrazvukového svařování jako u tavného svařování. Naopak stav povrchu je velice důležitý u této metody při svařování měděných slitin.

Železo a ocel

Vyhovující svary mohou být vytvořeny v různých typech železa a oceli jako jsou: ingoty, nízkouhlíkové oceli, nástroje a zápustky, austenitické nerezové oceli a precipitační tvrzené oceli. Tyto materiály vyžadují více energie na vytvoření svaru, než je třeba u hliníku a mědi. Může být obtížné nahradit zaběhnuté metody svařování ocelí jako je odporové, nicméně výhodou ultrazvukového svařování u ocelí je hlavně malá teplem ovlivněná oblast [2].

Drahé kovy

Drahé kovy převážně zlato, stříbro, platina, paladium a jejich slitiny jsou svařitelné pomocí této metody bez vážných obtíží. Většina drahých kovů se dá svařovat s ostatními kovy jako je germanium a křemík [1].

Žárupevné kovy

Molybden, niob, tantal, wolfram a některé jejich slitiny je velmi těžké svařit ultrazvukem, avšak tenké folie těchto kovů mohou být svařovány, pokud jsou eliminovány nečistoty a povrchové nebo vnitřní vady [1].

Ostatní kovy

Slabé a tenkostěnné vrstvy materiálů jako jsou: nikl, titan, zirkon, beryllium, hořčík a mnoho slitin těchto kovů lze ultrazvukově přivařit k jiným nebo i stejným kovům nebo jiným materiálům. Kovové fólie a dráty mohou být spojeny s tepelně stříkanými kovy na skle, keramice nebo silikonu. Tyto svary jsou používány v polovodičovém průmyslu [2].

Vícevrstvé svařování

Hliníkové fólie 80 až 100vrstvé po 25 μm mohou být spojeny bodovými svary nebo kontinuálními svary. Lze svařovat i vrstvy různých kovů. Typickou aplikací je svařování více vrstvé hliníkové pásky pro výrobu vinutí kondenzátorů.

Omezení tloušťky

Různé materiály mají různé úrovně obtížností pro vytvoření svaru. Různá omezení tlouštěk jsou ovlivněna vlastnostmi materiálů. Existuje však horní mez pro všechny kovy, které mohou být svařovány, a to z důvodu výkonových limitů strojů. Pro snadno svařitelné kovy, jako je například hliník, je maximální přípustná tloušťka pro zaručeně pevný svar 2,5 mm. Horní limit tloušťky pro tvrdé kovy je v rozmezí 0,4-1,0 mm. Toto omezení se vztahují pouze na svařence, které jsou ve styku s hrotem svářečky, ostatní mohou být tlustší. Lze taky svařovat i extrémně tenké součásti, například tenký drát o průměru menším než 0,01 mm a fólie o tloušťce 0,04mm. Když svar nelze vytvořit dostupnými výkony, vloží se fólie z jiného materiálu mezi svařované součásti. Příkladově, vložíme 0,01mm tenkou niklovou nebo platinovou fólii mezi molybdenový obrobek a beryliovou fólii navařenou na nerezavějící oceli. Rozsah svařitelnosti hliníkových slitin lze rozšířit navařením hliníkové fólie [3].

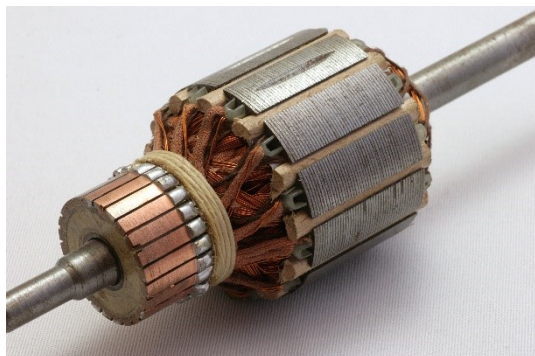
4. Aplikace ultrazvukového svařování

Ultrazvukové svařování se využívá v mnoha odvětvích průmyslu. Díky rozmachu automatizace provozu se tato technologie velice rozšířila. Pořízení této technologie je sice trochu nákladné, ale návratnost je díky velké produktivitě poměrně rychlá.

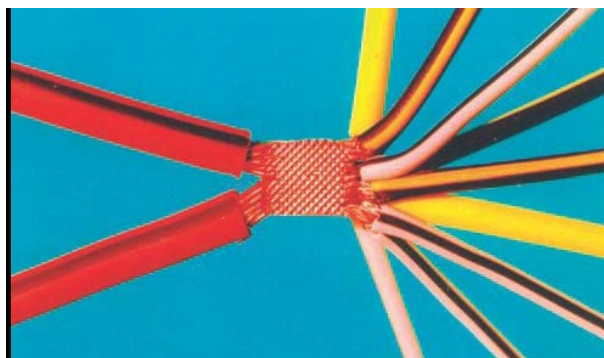
4.1. Elektrické spoje

Elektrické spoje různých typů bývají velmi kvalitní při použití ultrazvukového svařování. Tyto spoje jsou často pokryty eloxační hliníkovou vrstvou a určitým typem elektrické izolace. Svar je vytvořen přes tyto vrstvy až na základní materiál [6]. Pro ostatní běžná zařízení, jako jsou elektrické motory, budící cívky, transformátory, kondenzátory,

auta a nákladní automobily, se běžně využívá, při jejich výrobě, ultrazvukové svařování. Další příklady použití: měděný pásek pro uzemnění zařízení, navaření měděného kontaktu na hliníkový plát v zapalovacích modulech a ploché dráty pro startéry, cívky a transformátory viz. obrázky 7, 8 a 9



Obrázek 7 - Rotor elektromotoru [7]



Obrázek 8 - Mnohonásobný kabelový svazek [1]



Obrázek 9 - Svařený hliníkový a niklový plát s navařenými měděnými vodiči, "vnitřek baterie" [1]

4.2. Fólie a plechy

Důležitou aplikací ultrazvukové metody je svařování poškozených nebo rozměrných dílů a fólií do jednoho celku. Mohou to být svary vysoké žárupevnosti dlouhé 180 cm a tlusté pouze 0,127 mm [1]. Tyto spoje potom bývají pro navazující operace téměř nezjistitelné. Hliníkové a měděné plechy do tloušťky 0,5mm jsou spojovány pomocí

zvláštního zpracování a nástrojů. Ultrazvukovou metodou se taky navařují vícevrstvé fólie na svorky kondenzátorů.

4.3. Svařování v ochranné atmosféře

Využívá se pro součásti, které je nutno chránit před prachem a nečistotami. Slouží také pro zapouzdření chemikálií reagujících se vzduchem. Pro torzní svary měděných a hliníkových lahví do průměru 6,5 cm se také používá ochranných atmosfér. Ultrazvukové svařování se hojně používá pro uzavírání nádob do chladicích systémů.

Souvislé svary se používají pro balení a uzavírání trubic pomocí jednoho nebo více přímých švů, jako jsou konce tub, například pro zubní pasty nebo krémy.

4.4. Konstrukční svařování

Ultrazvukové svařování poskytuje vysoko-pevnostní spoje pro konstrukční aplikace s omezením tloušťky plechu. Tento typ svařování se používá pro spojování druhotných leteckých dílů, jako jsou vstupní dveře do helikoptér. Tyto dveře se skládají z vnitřních a vnějších plátů z hliníkové slitiny spojené vícenásobnými ultrazvukovými bodovými svary. Jednotlivé svary v těchto dveřích mají 2,5krát větší pevnost, než je minimálně požadována pro tyto aplikace se stejným materiálem a tloušťkou [1]. Sestava dveří odolává 5x většímu zatížení, než bylo vypočítáno pomocí vzduchových testů. Stejně tak náklady na svařování jsou menší než třeba u lepení.

5. Doplnující vlastnosti ultrazvukového svařování

Tato metoda je velice výhodná pro své velmi pevné, ale přitom malé plochy, svarové spoje. Tuto výhodu hojně využívá elektrotechnický průmysl, ale i ve výroba skeletů automobilů či vrtulníků.

Výhody [3]

- svařování velmi tenkých fólií mezi sebou i na díly větších tloušťek, horní hranice se udává pro hliník 3 mm a pro ocel 1 mm,
- svarové plochy nepotřebují před svařováním nákladnou a zdlouhavou přípravu,
- ve svaru a v TOO (teplem ovlivněné oblasti) nenastává intenzivní ohřev ani natavení materiálu, a tedy nenastávají ani podstatné změny materiálu samotného,
- elektrické vlastnosti nejsou pro svařování podstatné, lze spojovat např. Al se sklem, keramikou, křemíkem ale i jiné kombinace,
- deformace v místě svaru je velice malá.

Nevýhody [3]

- omezená tloušťka svařovaných dílů při svařování slitin Cu a Al a při svařování ocelí,
- pro každý spoj je nutné vyhotovit příslušnou sonotrodu a přípravky.

5.1. Bezpečnost práce

Při svařování ultrazvukem je potřeba obeznámit obsluhu s vlivem ultrazvukové energie na lidský organizmus, respektive s vlivem vibrací rozkmitaných částí svarového zařízení [3].

Při ultrazvukovém svařování je třeba také zachovat bezpečnostní opatření, podobné jako u lisů, z hlediska ochrany obsluhy před úrazem od přitlačné síly, která při vyšších výkonech dosahuje hodnot až 2000 N. Důležité je, aby obsluhující personál nepřišel do styku s kmitajícím nástrojem, respektive se svařovacími díly v místě svaru v době svařování. Při vyšších výkonech by mohlo dojít k lokálnímu popálení rukou vlivem absorbování ultrazvuku v kožní tkáni [3].

Kromě uvedených je třeba dodržovat všechny předpisy týkající se obsluhy elektrických zařízení.

5.2. Srovnání s jinými metodami

Existuje několik konkurenčních metod, jak by se dal zkoumaný spoj vyrobit. Proto je třeba porovnat ultrazvukovou metodu svařování s ostatními metodami.

Odporové svařování

Je nejvíce rozšířený proces, kterému ultrazvukové svařování konkuruje. Jeho nevýhodou je působení tepla během procesu. Odporové svařování je tak rozšířeno i v oblastech, kde by se lépe hodilo ultrazvukové svařování. Často se proto ultrazvukovým svařováním vyřeší obvyklé problémy, které jsou odporovou metodou svařování vyvolané a za jejího použití neřešitelné [3].

Problémy jako: velikost dílů, chlazení vodou, přetížení generátorů, jiskření a v neposlední řadě opotřebení elektrod mohou být ve většině případů odstraněny ultrazvukovými přístroji. Výhodou odporového svařování je nízká pořizovací cena, po kalkulaci celkových nákladů, se ale investice do ultrazvukového zařízení vyplatí.

Pájení

Velmi rozšířený způsob spojování. Hlavní výhodou je nízká pořizovací cena. Tato metoda se nehodí pro automobilový průmysl, a to kvůli mnoha problémům s kvalitou spojů.

Problémy: špatný přechodový odpor spoje, kompozice letovací pasty musí být velmi konstantní a díly musí být před letováním očištěny. Ultrazvukové svařování vytváří perfektní elektrický spoj a povrchové oxidy lze překonat a docílit tak 100 % kvalitního svaření [3].

Spojování tlakem za studena (krimpování)

Jde o spojování kontaktů vysokým tlakem za studena. Díky tomu se kontakty spojí téměř dokonale bez jakékoliv mezery.

Problémy: náklady krimpů, náklady nástrojů na jejich výrobu, servis a skladování.

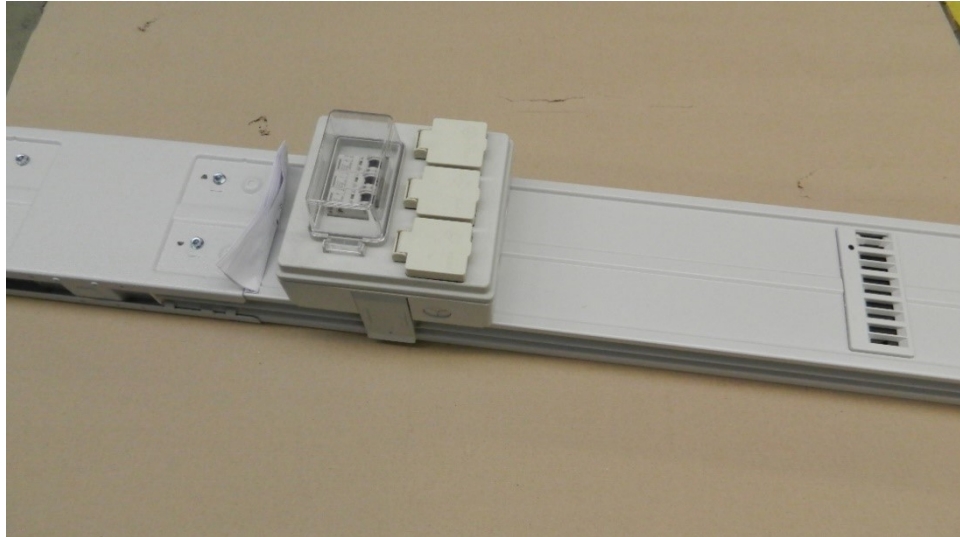
Tabulka 2- Srovnání všech zmíněných metod [2]

Srovnávací tabulka				
Metoda	Pájení	Odporové svařování	Spojování tlakem za studena	Ultrazvukové svařování
Investiční náklady	5	3	4	2
Trvanlivost nástrojů	3	2	3	5
Spotřeba energie	3	1	5	4
Procesní čas	1	3	5	4
Čisté pracovní místo	1	2	4	4
Flexibilita ve výrobě (časy pro změnu nástrojů atd)	5	3	2	4
Vlivy počtu parametrů	5	2	3	4
Vyžadované příd. materiály	1	5	1	5
Kontrola a zajištění spojování	1	3	2	5
Dosažitelnost reprodukované kvality	2	3	3	4
Trvanlivost spoje	3	3	2	5
Zatížitelnost vibracemi	4	3	2	4
Zatížitelnost ohýbáním	5	1	5	5
Hustota spoje	2	4	-	4
Elektrická vodivost	3	4	3	5

Pozn.: 5=výhodné, 4=dobré, 3=uspokojivé, 2=dostatečné, 1=nevýhodné

6. Současný stav a následné operace

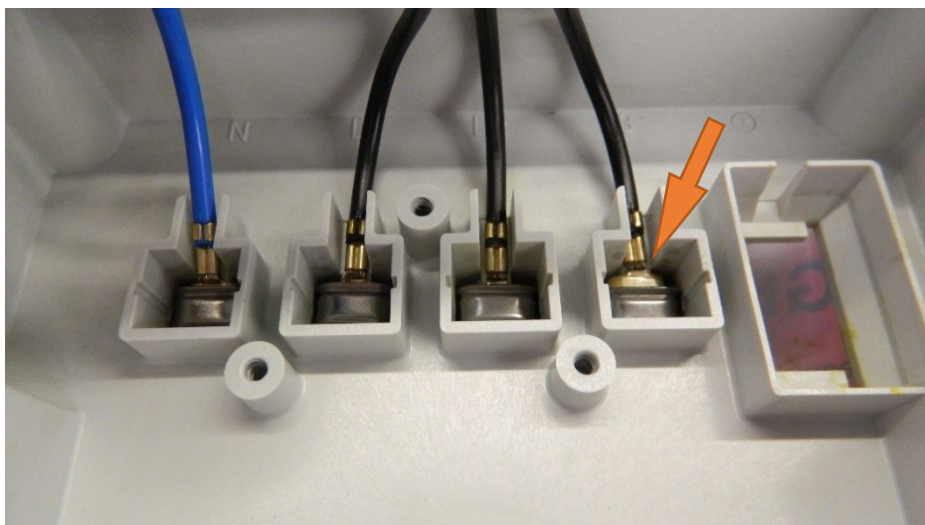
Řešený spoj se nachází v zásuvkové skříni přípojnicového systému BD02 viz. obrázek 10. Tento systém rozvodů se hojně používá pro vedení elektrické energie po budovách a výrobních halách [9].



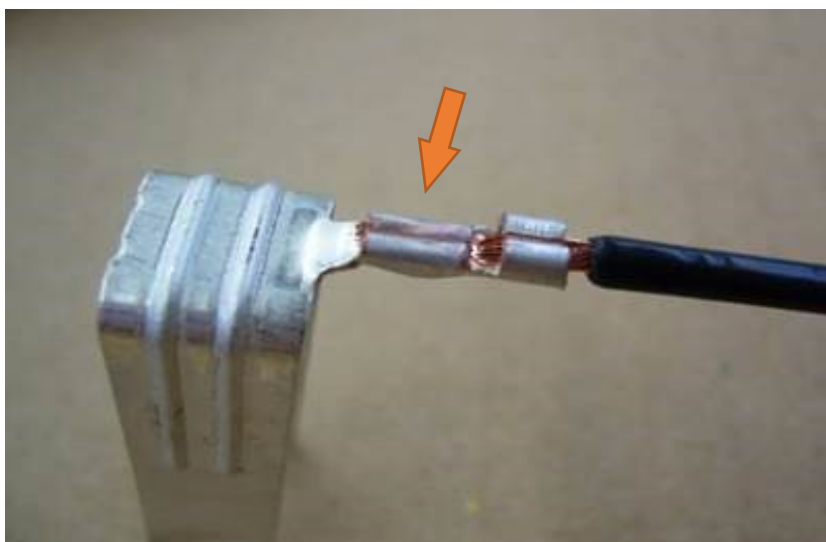
Obrázek 10 - Přípojnice BD02 se zásuvkovou skříní [9]

Cílem bakalářské práce je navrhnout změnu spoje, a to z důvodu lámání krčku mezi jazýčkem (krimpem) a kontaktem při ohnutí drátu směrem nahoru viz. obrázek 11. Ideální změna je odstranění samotného jazýčku (krimpu) a vroubkování v místě svaru viz. přílohy A, B, C a D.

V současné době je kontakt tvořen lisováním tlakem za studena, a to ohnutím křídélek na pomocném jazýčku kontaktu viz. obrázek č.12.



Obrázek 11 – Aplikace zkušebních kontaktů v praxi [9]



Obrázek 12 - Současný stav kontaktu, lisovaný [9]

6.1. Charakteristika použitého materiálu a postup svařování

Popis materiálu

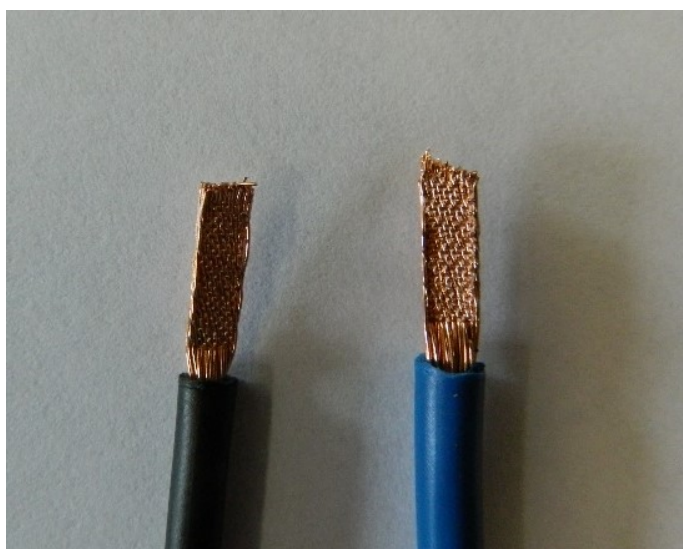
Jako materiál je používán plech mědi Cu – ETP, EN 13599 o tloušťce 0,5mm s mechanickými vlastnostmi uvedenými v tabulce 3. Bakalářská práce se zabývá dvěma druhy kontaktů: povrchová úprava po celém obvodu, povrchová úprava pouze na koncích. Obě tyto varianty používají jako povrchovou úpravu Galvanické stříbření, pasivované – Cu/Ag3p, Stříbro 99,9 % lesklé, o tvrdosti 80 - 120HV a minimální tloušťce 3 μ m.

Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti materiálu [9]

Materiál	Stav	Rm [MPa]		Rp0,2 [MPa]	Tažnost [%]	Tvrdost [HV]		El. vodivost [MS/m min]
		Min	Max		A 50 [mm]	Min	Max	
Cu – ETP	R 240	240	300	180	8	65	95	57

Postup svařování

Nejprve se musí připravit kabel tak, aby se nerozštěpila jednotlivá vlákna. K tomu je zapotřebí před-svaření samotného kabelového svazku. Vznikne pevná plocha viz. obrázek 13, kterou lze bez větších problémů přivařit ke kontaktu. Tato operace se provede na stroji Telsonic Ultrasonic MPS-4.(v popisu zařízení jsou uvedeny parametry použité pro tyto operace)



Obrázek 13 - Kontakty připravené pro svařování [9]

Připravené kabely spolu s potřebnými kontakty se svaří na dalším stroji M4000. U obou těchto operací se používá roztok, pro zlepšení vedení energie.

Popis zařízení



Obrázek 14 – Stroj pro předpřípravu kontaktů
[9]



Obrázek 15 – Ultrazvuková stolní
svářečka [9]

Telonic Ultrasonic MPS-4, viz. obrázek 14, je zařízení na úpravu kabelů před samotným svařováním, jde o tzn. předsvaření samotného drátu, aby mohl být následně přivařen celý k vodiči. Stroj nabízí velkou řadu nastavení, a to jak ve způsobu svařování, tak i v nastavení parametrů.

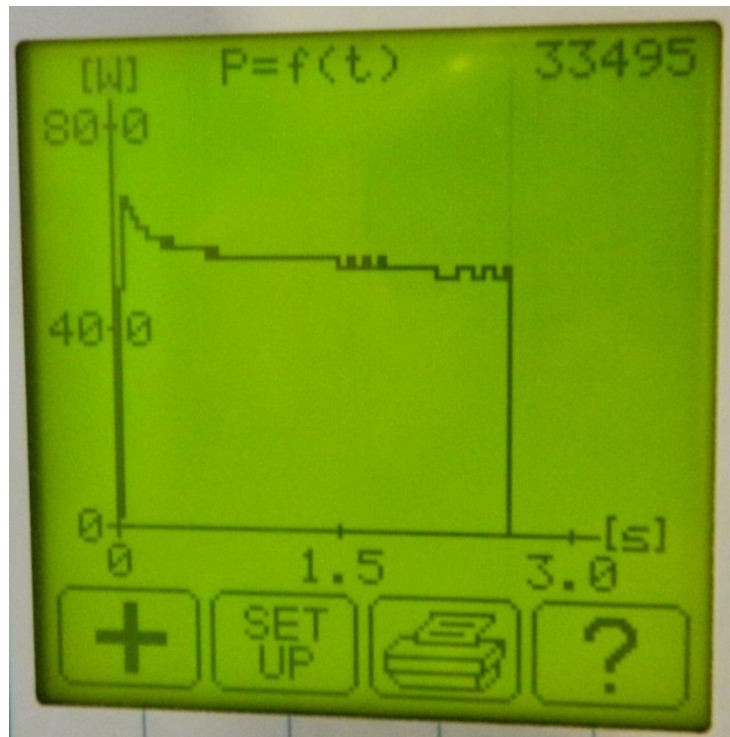
Způsoby svařování mohou být s/se: konstantní dobou, konstantní svařovací energií, rozdílnou dráhou, absolutní dráhou, maximálním špičkovým výkonem, zastavením (pouze s měřením dráhy), nárůstem zatížení.

Stroj umožňuje ukládat celkový počet provedených svarů (nelze vynulovat), počet svarů od vynulování, počet dobrých a špatných svarů od vynulování, umí také vykreslovat grafy funkcí.

Pro zkušební vzorky byly použity svařovací parametry viz. tabulce č. 4 a obrázek 16 [9].

Tabulka 4 - Použité nastavení stroje pro úpravu kontaktů [9]

Maximální výkon	645 [W]
Svařovací čas	2,684 [s]
Energie	1 400 [Ws]
Svařovací vzdálenost	0,17 [mm]
Absolutní vzdálenost	17,26 [mm]
Maximální síla	2760 [N]
Čas zpoždění	0,4 [s]
Čas prodlevy	0,25 [s]
Amplituda	60 %
Svařovací tlak	4,2 [bar]



Obrázek 16 – Graf závislosti výkonu na čase [9]

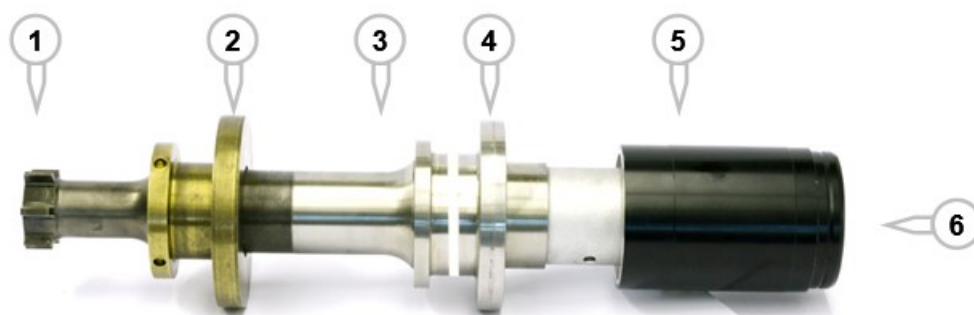
Lis pro ultrazvukové svařování kovů M4000

Kompaktní konstrukce lisu umožňuje použití i v montážních linkách s malým požadavkem na místo. Pro co možná nejvolnější možné provozní uspořádání zařízení byla zvolena modulární koncepce hlavních komponent. Elektrické řízení není sloučeno s lisem, nachází se v samostatné skříni na levé straně lisu viz. obrázek 15. S generátorem a s lisem je spojeno prostřednictvím konektorů. Toto uspořádání umožňuje chránit elektroniku před znečištěním. Kromě toho je možné umístit řízení i generátor beze změn na nejvhodnější místo. Parametry využitě pro svařování jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Svařovací lis M4000 má, mimo jiné, následující funkce:

- velký rozsah svařovací síly dostačující pro svařovací výkony do 3 kW a více,
- velmi tuhá konstrukce lisu zaručující minimální ohybové deformace při vysokých svařovacích silách,
- tuhý posuvný systém s lehkým chodem,
- precizní mechanické zařízení dorazu zdvihu,
- volitelná montáž systému ohraničení svařování závislého na dráze (US-Stop),
- vibrační systém libovolně otočný kolem své vlastní osy.

Vibrační systém je hlavní částí celého stroje. Tento systém vytváří potřebné ultrazvukové kmity a je zobrazen v obrázku 17 [9].



Obrázek 17 - Vibrační systém [9]

1. Sonotroda – standardizované nebo zakázkové; slitiny titanu, různé vytvrzené druhy speciálních ocelí, tvrzený Ferrotitanit.
2. Opěrný kroužek sonotrody – opěrný kroužek sonotrody je vyroben z mosazi a slouží jako přední opěra vibračního systému. Pro M4000 jsou všechny sonotrody vybaveny kroužkem nasazeným za tepla.
3. Booster – Booster transformuje amplitudu. Je spojen se sonotrodou závitovou tyčí.
4. Opěrný kroužek boosteru – Za tepla nasazený opěrný kroužek boosteru má funkci zadní opěry celé rezonanční jednotky.
5. Konvertor – V konvertoru jsou generovány mechanické ultrazvukové kmity. Je rovněž přišroubován k čelu boosteru závitovou tyčí.
6. Vř kontakt – V zamontovaném stavu konvertoru je vysokofrekvenční napětí přenášeno prostřednictvím odpruženého prvku na vř kontakt.

Tabulka 5 - Použité svařovací parametry [9]

Maximální výkon	860 [W]
Svařovací čas	0,434 [s]
Energie	225,3 [Ws]
Svařovací vzdálenost	0,29 [mm]
Absolutní vzdálenost	22.21 [mm]
Maximální síla	1605 [N]

6.2. Zkoušky vzorků

Odrhová zkouška

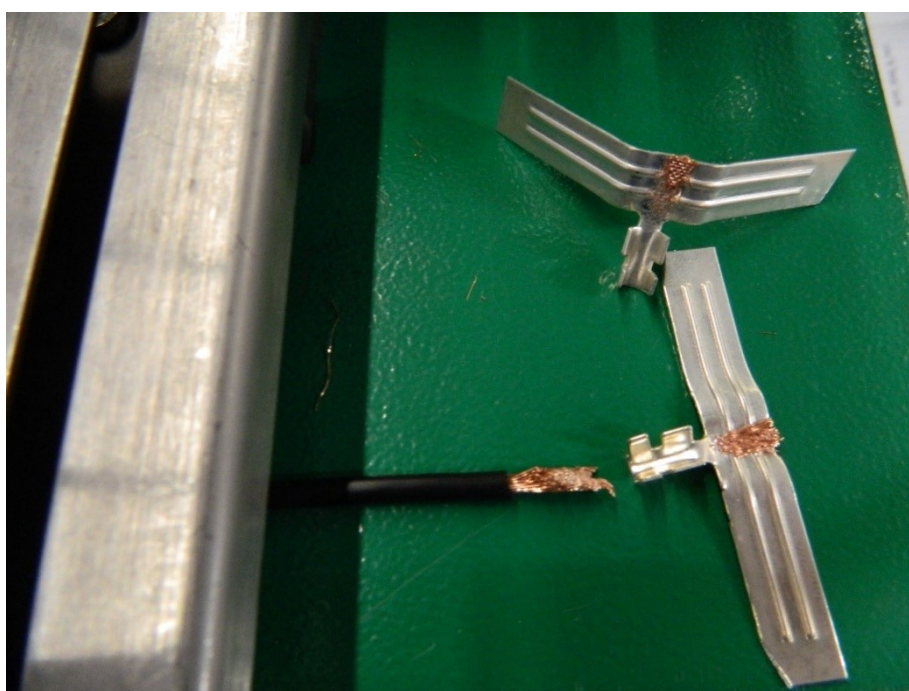
Referenční hodnotu pro tahovou/odrhovou zkoušku jsme získali odzkoušením lisovaného spoje. Všechny svařované spoje, které budeme zkoušet musí tuto referenční hodnotu převyšovat. Tato hodnota činí 230 N na tahové zkoušce.

V tabulce 6 je výpis všech zkoušených vzorků na odrhové zkoušečce. Při zkoušení prvních vzorků docházelo k tomu, že se vzorky při tažení otáčeli kolem své osy kolmé na směr tahu. To způsobovalo odlupování svarů, namísto jejich trhání, což mělo za následek nesprávné výsledky, viz. obrázek 18. Operativně jsme tento problém vyřešili improvizovaným přidržovačem a jako dlouhodobé řešení doporučuji zhotovit přidržovat přesně pro tyto díly či jiný držák než hřeben, který je používán nyní viz. obrázek 19. Odrhová zkouška tahem spadá do normy ČSN EN ISO 4136 (05 1121) Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů.

Téměř všechny vzorky přesáhli referenční hodnotu o 5 N, některé dosahovali až 260 N a jiné zase byli téměř na hraně úspěšnosti, viz. obrázek 20, a to z důvodu nedovaření nebo převaření některých vláken, které se odrhly předčasně.

Tabulka 6 – Výsledky odtrhové zkoušky

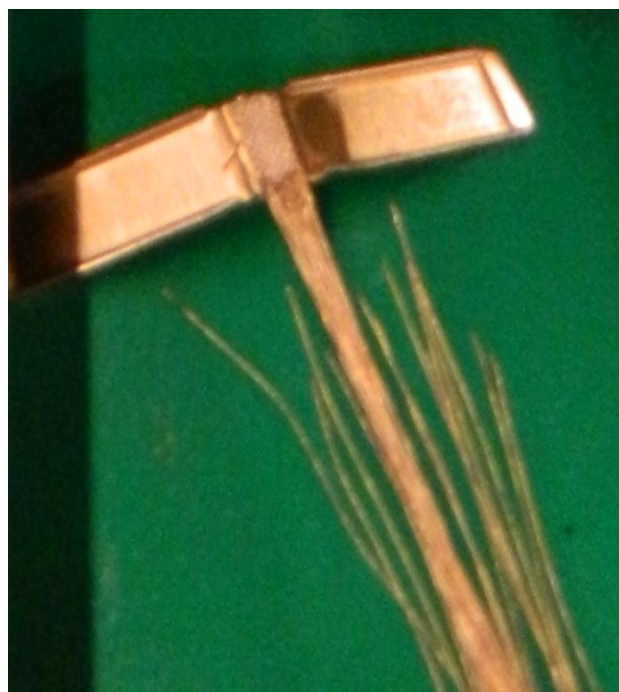
Číslo zkoušeného vzorku (Ø2,5 mm)	Hodnota při přetržení [N]	Číslo zkoušeného vzorku (Ø4 mm)	Hodnota při přetržení [N]
1 a	242	1 b	238
2 a	238	2 b	245
3 a	252	3 b	250
4 a	231	4 b	239
5 a	235	5 b	246
6 a	240	6 b	243
7 a	248	7 b	248
8 a	257	8 b	251
Průměrná hodnota	242,9	Průměrná hodnota	245



Obrázek 18 - Odloupnutý svar [9]



Obrázek 19 - Odrhová zkoušečka [9]



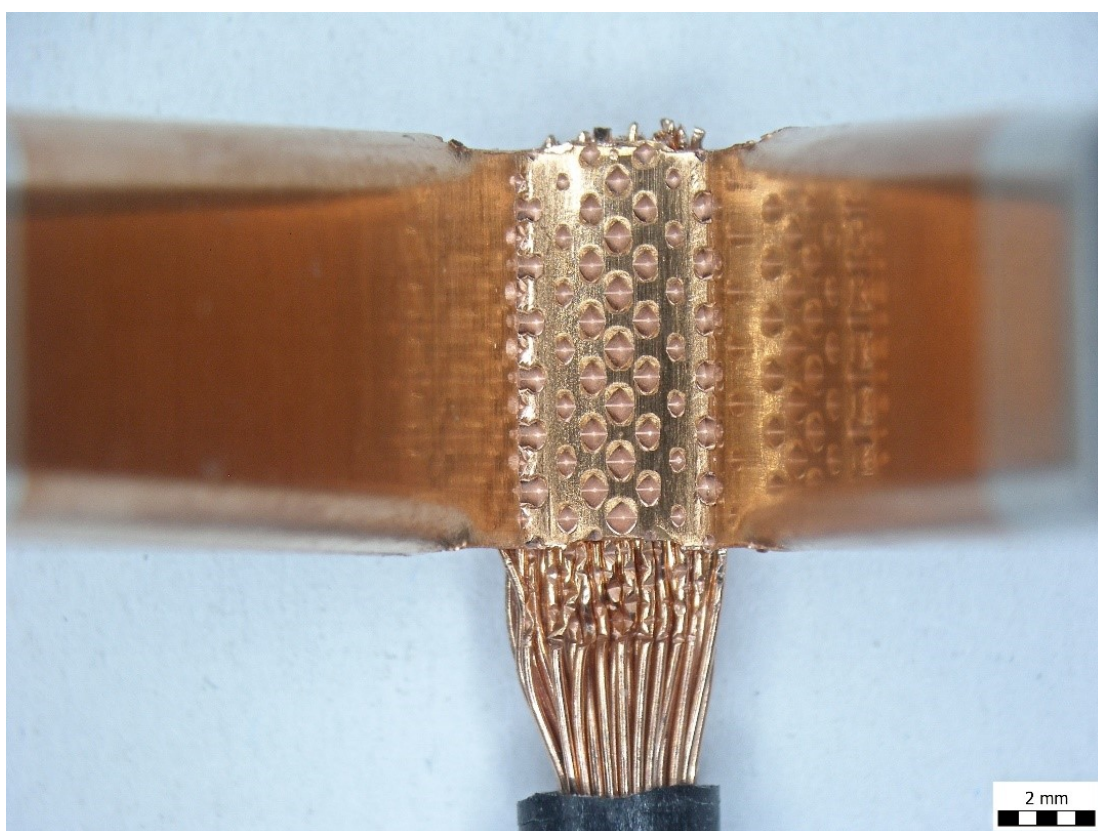
Obrázek 20 - Špatně svařený vzorek i přesto prošel zkouškou [9]

Metalografická zkouška

Společnost Siemens poskytla tři druhy vzorků: kabel o \varnothing 2,5 mm vodič s postříbřením a bez něj v místě svaru a kabel o \varnothing 4 mm bez postříbření v místě svaru viz. obrázky 21–35. Pro zkoušku makrostruktury bylo použito leptadlo $Na_4OH + 3\% H_2O_2$. Pokud se podíváme na všechny obrázky po seříznutí, ale ještě nenaleptané viz. obrázky 23, 28 a 33, zjistíme, že i když jsme kabelové svazky před-svařili, stále jsou mezi jednotlivými vlákny volná místa. Samozřejmě, že tento fakt je taky vidět i na všech obrázcích po naleptání. Vzorek bez postříbření (obrázek 19–23 včetně) je jediný, který není protlačený skrz. Když porovnáme obrázek 20, 25 a 30 zjistíme, že vzorky s postříbřením jsou na okraji svaru protlačeny skrz, nejvíce to jde vidět na obrázku 25 (jsou to ty tmavší čtverečky po obvodu svaru). Dále na obrázku 25 jde vidět, že pokud je svar protlačený skrz na mnoha místech vznikne prasklina a může dojít až k odlomení kontaktu.



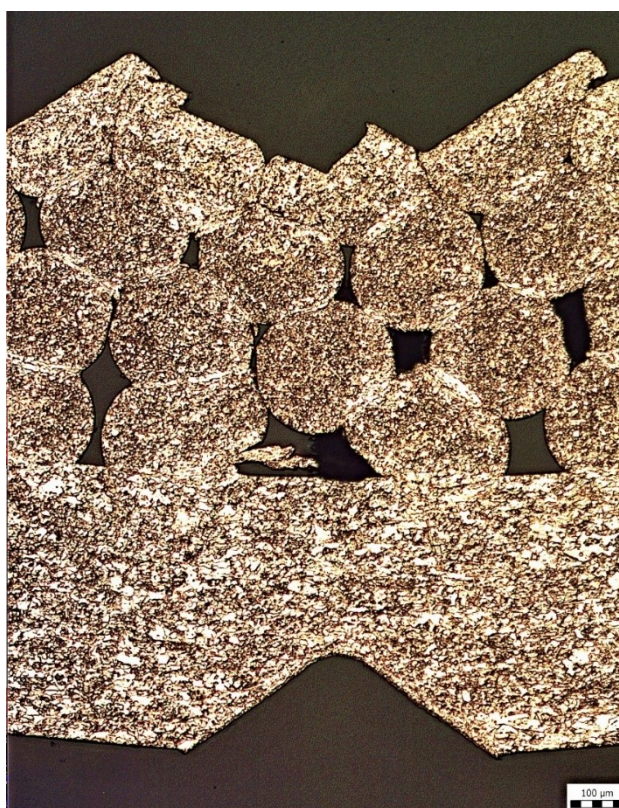
Obrázek 21–Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 5x



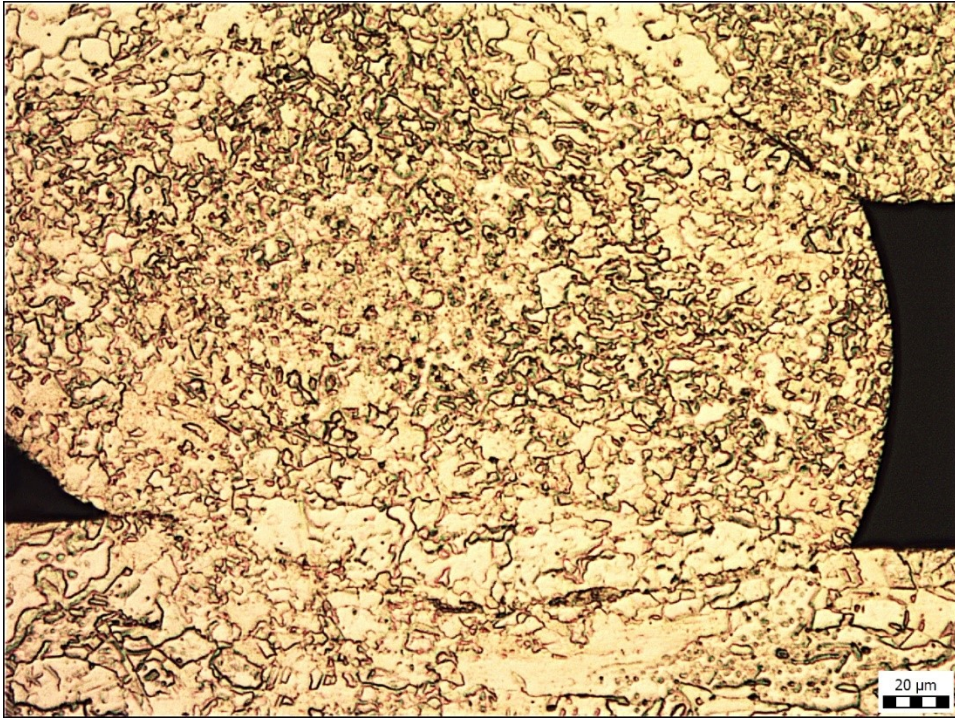
Obrázek 22– Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 5x spodní strana



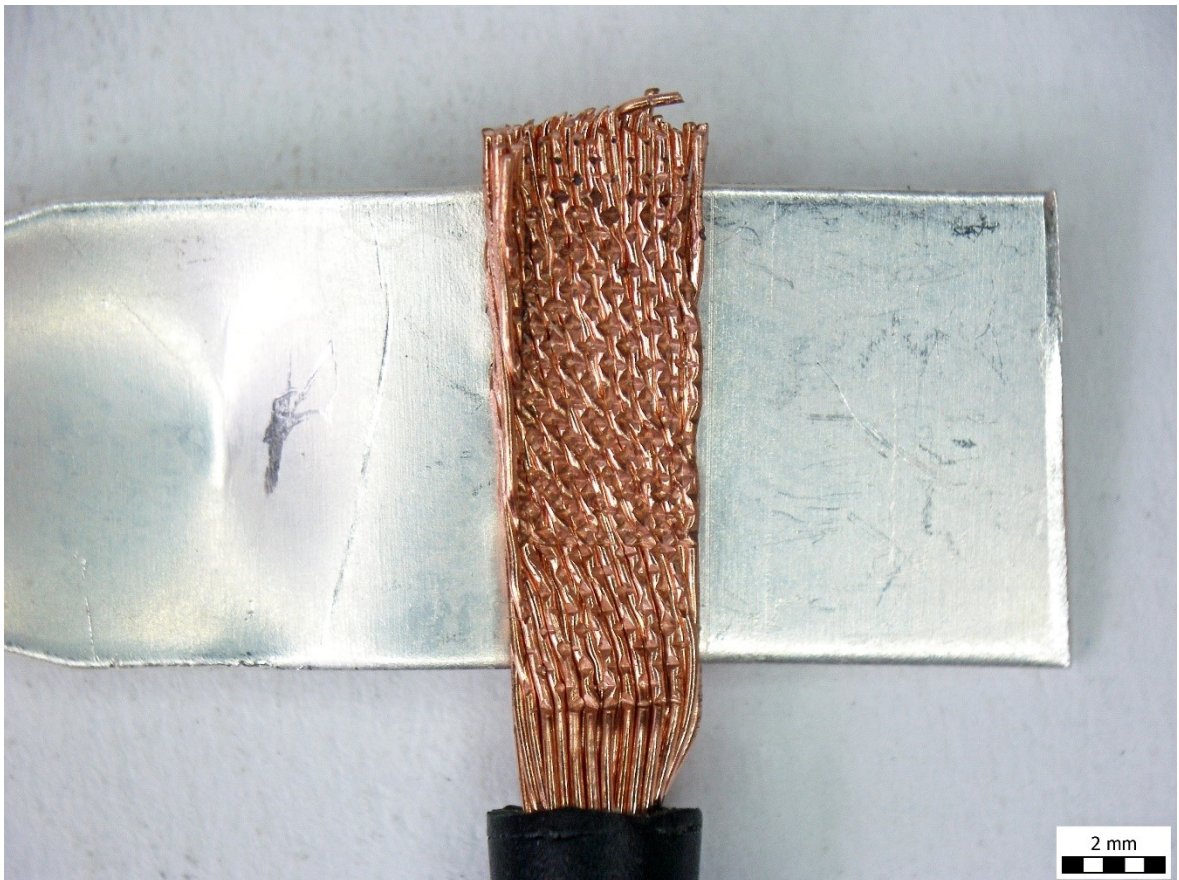
Obrázek 23–Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 60x v řezu



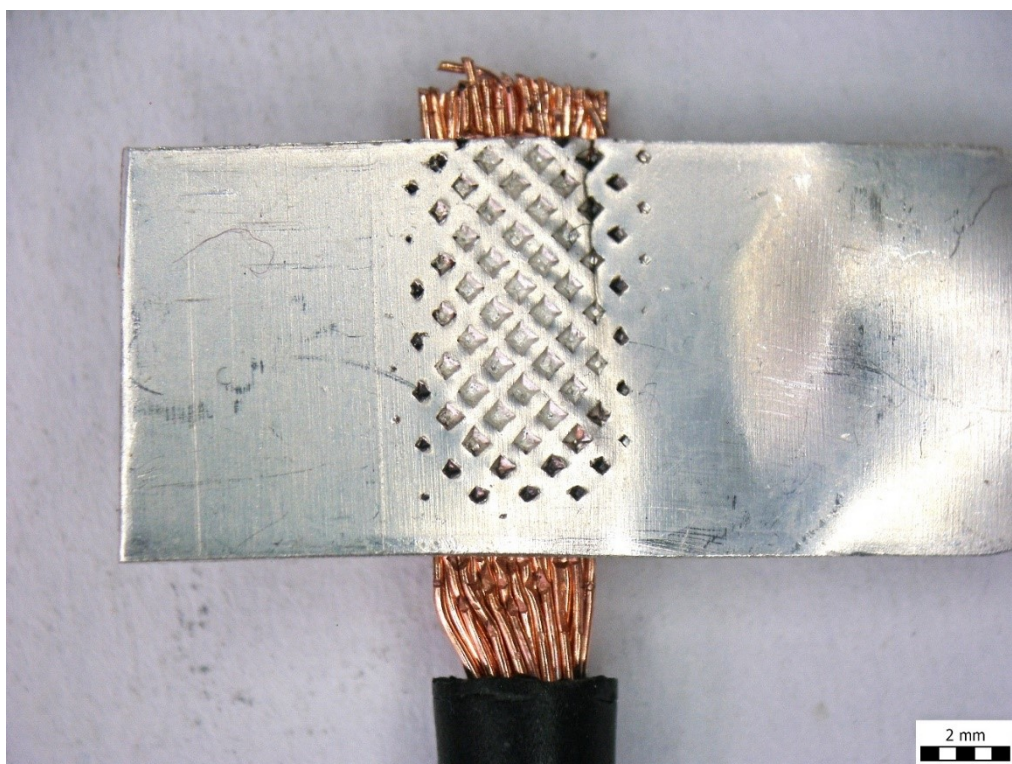
Obrázek 24–Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 60x po leptání



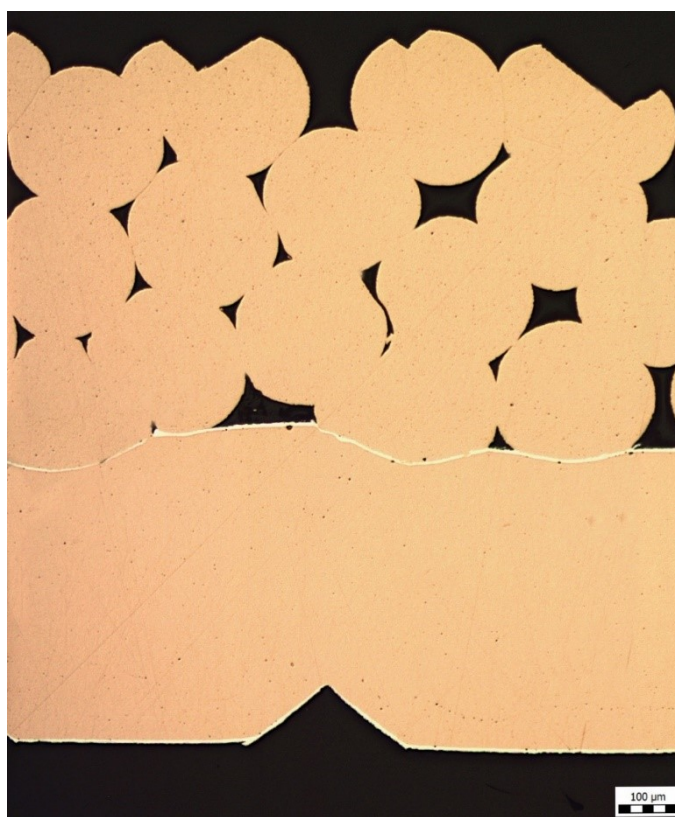
Obrázek 25–Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 400x po naleptání



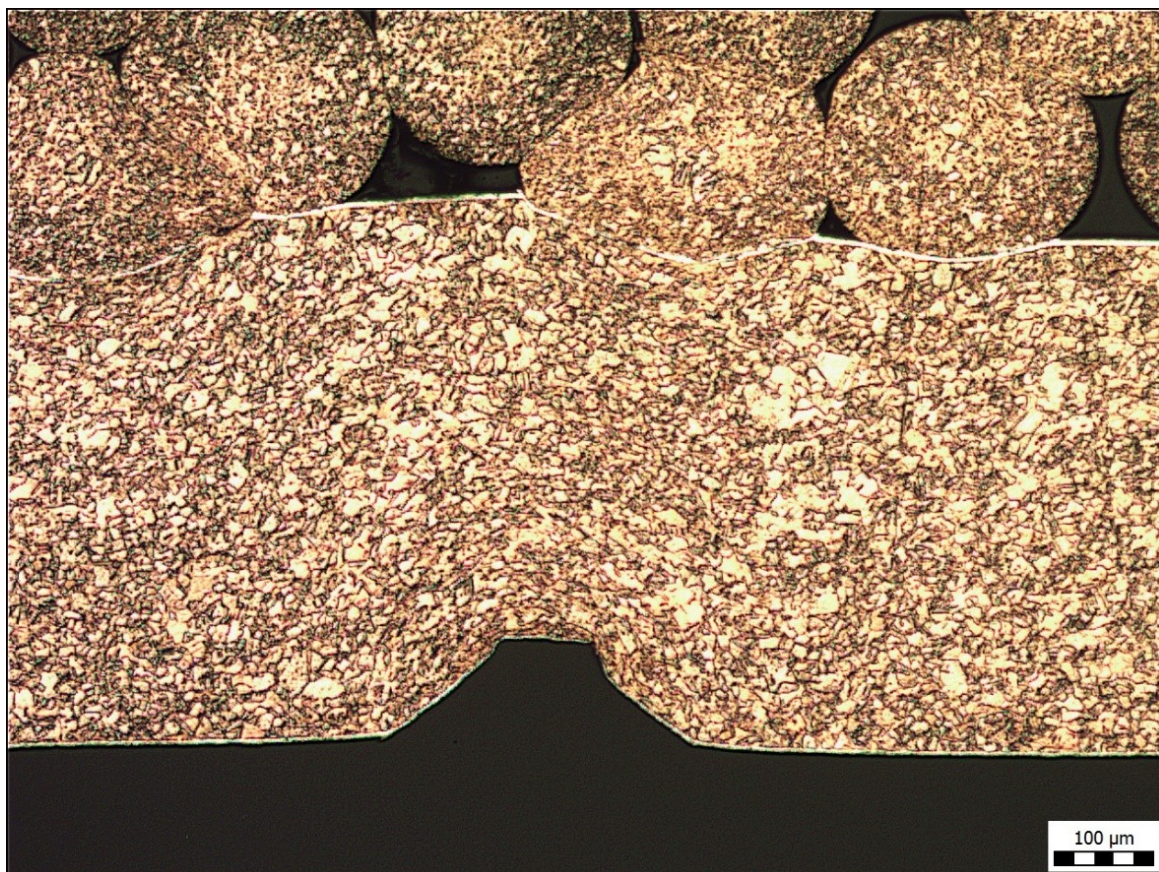
Obrázek 26–Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 5x



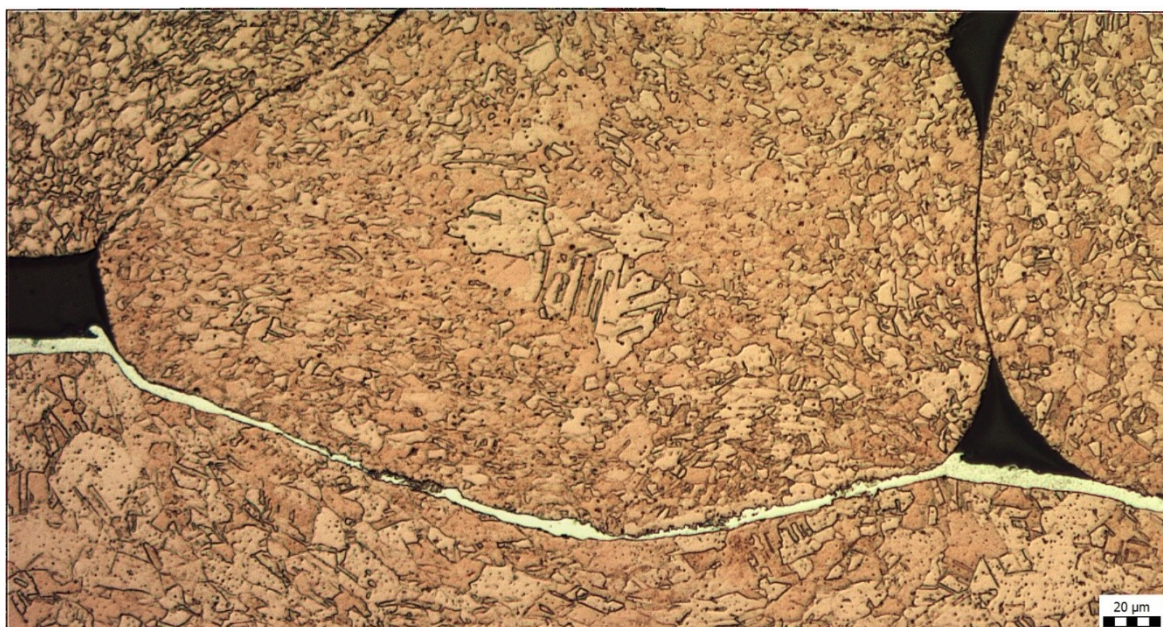
Obrázek 27–Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 5x spodní strana



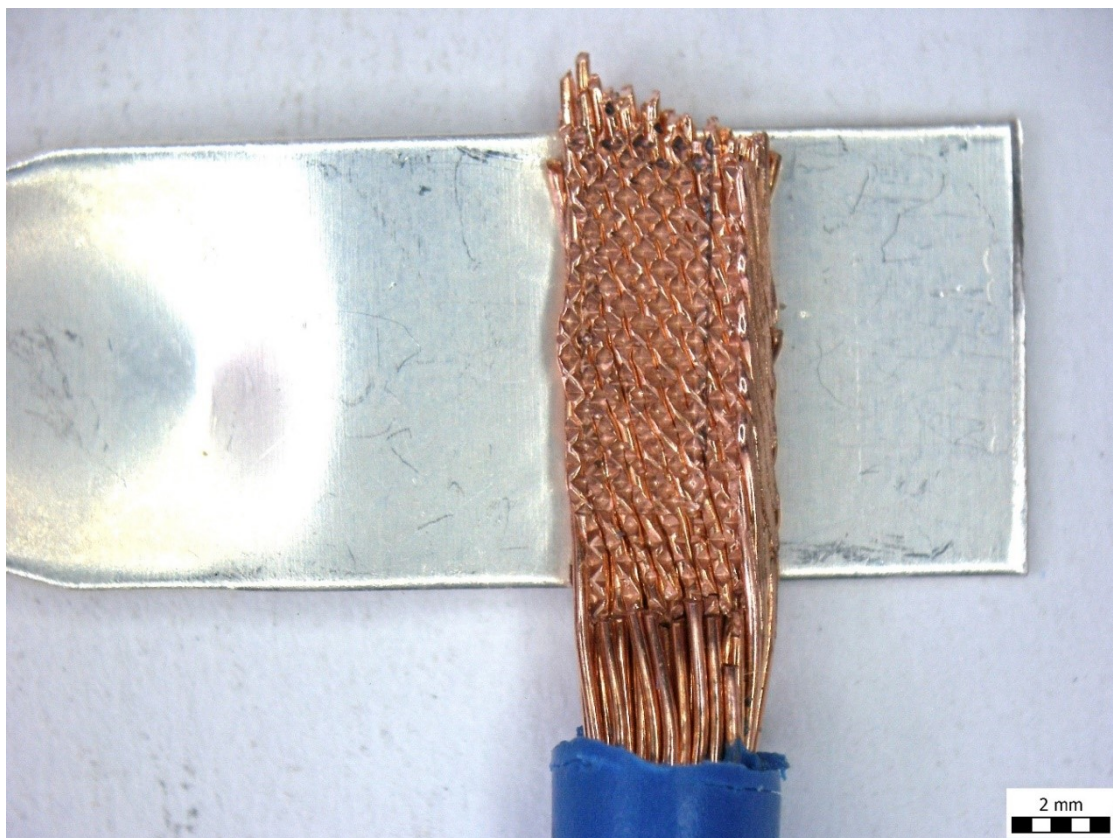
Obrázek 28–Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 70x v řezu



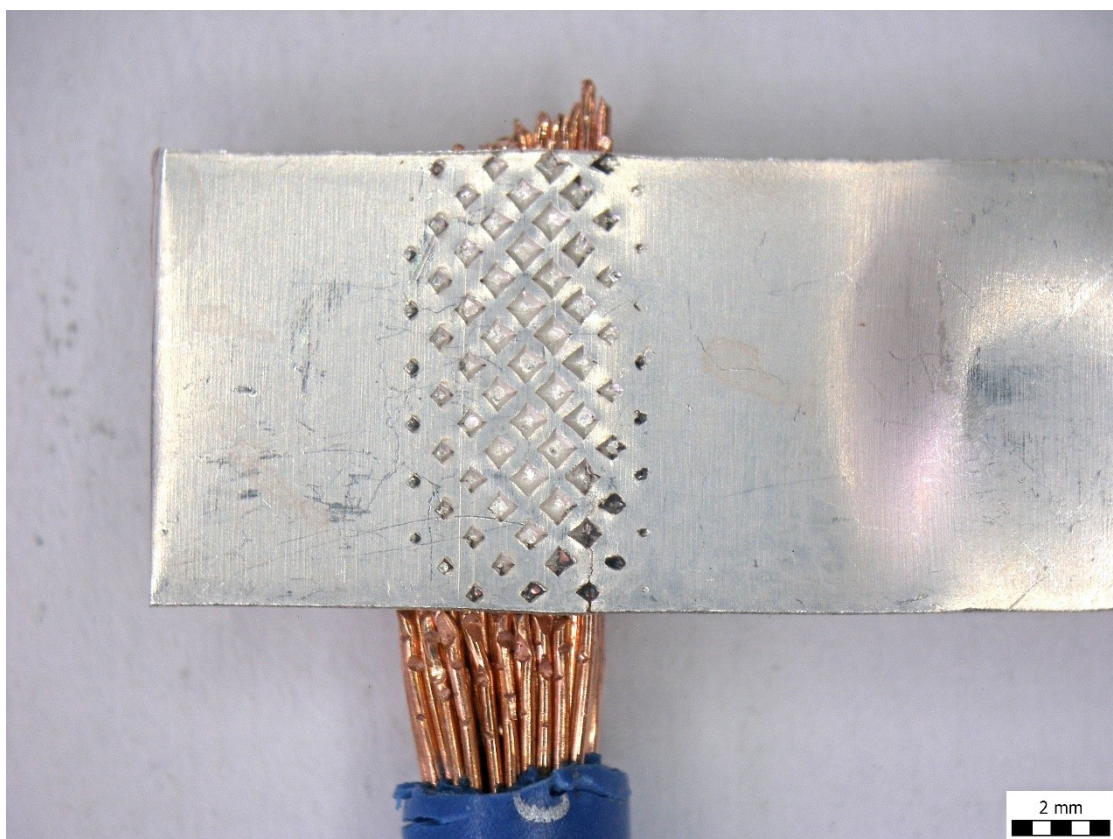
Obrázek 29–Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 11x po naleptání



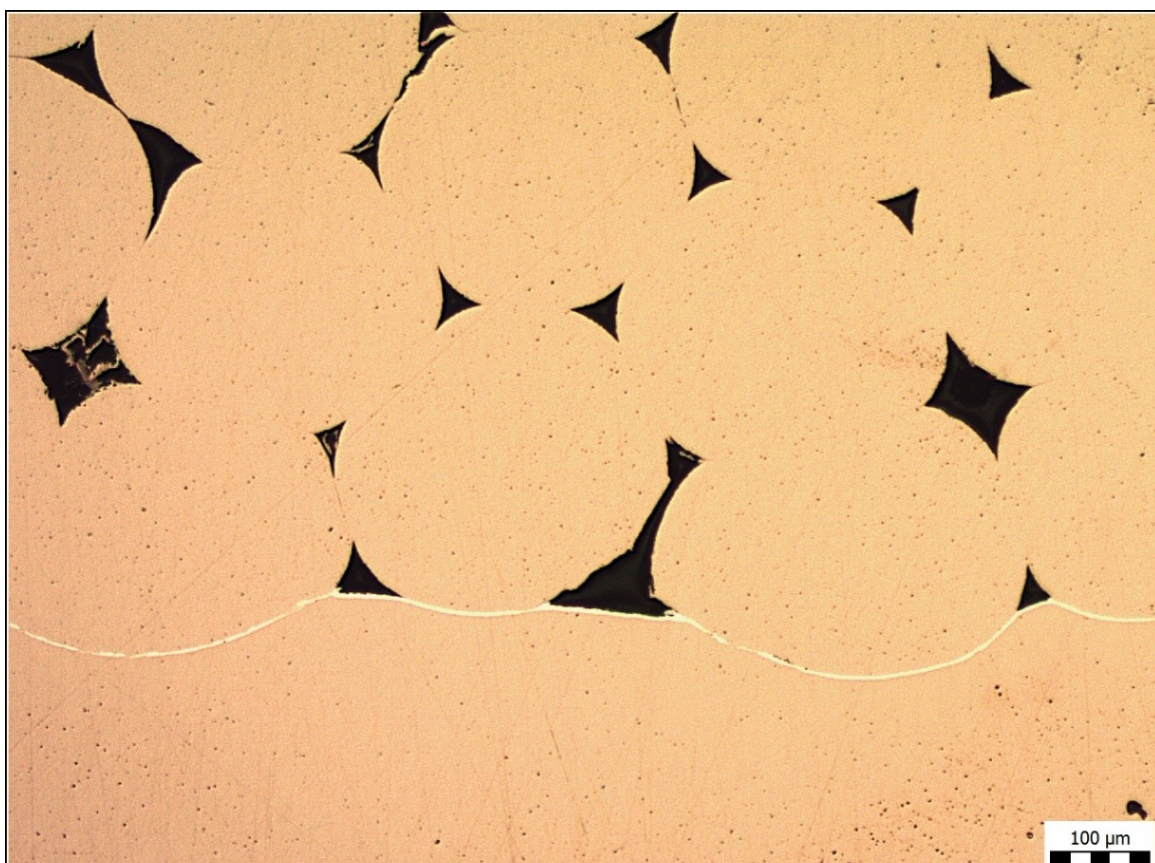
Obrázek 30–Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 350x po naleptání



Obrázek 31–Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 5x



Obrázek 32–Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 5x zadní strana



Obrázek 33–Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 12x v řezu



Obrázek 34–Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 450x po naleptání



Obrázek 35–Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 450x po naleptá

7. Zhodnocení ekonomického přínosu

Důležitým faktorem pro to, zda bude změna technologie lisování nahrazena ultrazvukovým svařováním je ekonomická výnosnost této změny. Společnost Siemens nechala nacenit návrh nového designu viz. přílohy A, B, C, D a zjistilo se, že nový design ušetří na kontaktu 374000140012001E (v tabulce 01E) 0,20 Kč a na kontaktu 374000140012002E (v tabulce 02E) 0,28 Kč. Překážkou výhodnou změnu těchto metod je, že cena nástroje potřebného pro svařování nového designu, se od roku 2012 zvětšila skoro o polovinu a to z 350 000 Kč na 500 000 Kč.

Ekonomické zhodnocení ovšem nebude nejpřesnější. Poskytnuté informace a materiály nejsou zcela přesné a kompletní, a proto je třeba následující tabulku 7 brát jako orientační výpočty.

Tabulka 7 – Výpočet finanční úspory

Roční množství vyrobených kusů					
Roky	2012	2013	2014	2015	2016
01E	32606	29984	28225	26088	32182
02E	8206	7474	7145	6612	8115
Roční ušetřená částka na daných kontaktech [Kč]					
Roky	2012	2013	2014	2015	2016
01E	6521,2	5996,8	5645	5217,6	6436,4
02E	2297,68	2092,72	2000,6	1851,36	2272,2
Roční sumy ušetřených částek za oba kontakty [Kč]					
	8818,88	8089,52	7645,6	7068,96	8708,6
Celková ušetřená částka za tyto roky je 40 331,56 Kč					

V první čtveřici řádků je zobrazen počet vyrobených kontaktů v jednotlivých letech po dobu 5-ti let zpětně. V následujících čtyřech řádcích je proveden výpočet ušetřené částky za jednotlivé roky a kontakty. Výpočet byl proveden tak, že se vynásobil počet příslušných kusů vyrobených v daném roce s ušetřenou částkou za kus daného druhu kontaktu (pro 01E 0,20Kč a pro 02E 0,28Kč). Dále jsou uváděny úspory za jednotlivé roky.

8. Diskuse dosažených výsledků

V této bakalářské práci je provedena studie makrostruktury a mikrostruktury svarů, včetně jejich testování na odtrhové zkoušečce.

Pro zkoušky byly zkušební svary s postříbřením navařeny na odstřiženou část původního kontaktu, ale i to stačilo, abychom zjistili, zda vybrané svařovací parametry vyhovují předepsaným standardům. V prvních případech vzorky trpěly na odlupování, tento problém jsme vyřešili vložением improvizovaného přidržovače, více v kapitole 6.2. Zkoušky vzorků – Odtrhová zkouška, dále se některé vzorky neodtrhly naráz, nýbrž se jejich vlákna oddělovala postupně. Nicméně i přes tyto viditelné chyby všechny vzorky odtrhovou zkouškou vyhověly, jak je vidět v tabulce č. 6.

Metalografická zkouška nám ukazuje svary z jiného pohledu. Nejprve byly celé vzorky zdokumentovány s přiblížením a poté byly rozříznuty téměř v polovině a naleptány tak, aby byla vidět mikrostruktura materiálu. Na obrázku 24 a 25 můžeme vidět naleptaný řez vzorkem, na kterém je vidět téměř dokonalý spoj vláken drátu s vodičem bez postříbření. Na obrázku 28 a 33 můžeme vidět tenkou bílou linku, což je vrstva stříbra na kontaktu. Bakalářská práce se sice zabývá svařováním a kontrolou svarů, ale díky této zkoušce se na obrázku 34 objevila struktura kabelového svazku, resp. to, jak byl tažen drát při jeho výrobě.

Všechny vzorky vyhověly daným zkouškám ve všech směrech.

9. Závěr

Bakalářská práce se zabývá charakteristikou ultrazvukového svařování včetně jeho rozdělení, použití i srovnání s jinými metodami spojování materiálů.

V práci je provedena studie o technologii svařování ultrazvukem včetně charakteristiky tvaru a povrchu sonotrod a svařovacích parametrů. Dále se práce zabývá popisem aplikací této metody v jednotlivých odvětvích průmyslu a také popisem omezujících prvků svařitelnosti jako jsou tloušťka materiálu či různé kombinace materiálů při svařování. V závěru teoretické studie této práce bylo provedeno srovnání technologií spojování materiálů a zjistilo se, že metoda svařování ultrazvukem je ve většině srovnávaných aspektů lepší než metoda lisování za studena, kterou má v tomto případě nahradit.

V experimentální části byl popsán současný stav řešené problematiky. Bakalářská práce se zabývá kontaktem měď-měď a měď-stříbro. Byl také podán návrh nového vzhledu kontaktu pro ultrazvukovou technologii, protože původní vzhled byl vhodný výhradně pro současnou technologii. Tento nový vzhled byl naceněn a vypočítal jsem, že díky novému vzhledu se průměrně ročně ušetří 8 000 Kč. Společností Siemens byly poskytnuty navařené vzorové svary, které byly svařeny podle daných parametrů a podstoupily testy odtrhovou zkoušečkou v provozu a metalograficky na makrostrukturu a mikrostrukturu. Všechny zkušební spoje vyhověli firemním předpisům ohledně odolnosti svaru na odtrhovou sílu.

V kapitole Diskuze dosažených výsledků jsou podrobnější informace o daných zkouškách a jejich výsledcích. Doufám, že tato bakalářská práce pomůže s řešením problematiky záměny lisování kontaktů na jejich ultrazvukové svařování.

10. Použitá literatura

- [1] O'BRIEN, A. a ED. *Welding handbook. 9. ed.* MIAMI, Fl: AMERICAN WELDING SOCIETY, 2007. ISBN 9780871710536.
- [2] O'BRIEN, Annette SINNES, Kathy. (2015). *Welding Handbook, Volume 5 - Materials and Applications, Part 2 (9th Edition)*. American Welding Society (AWS).
- [3] TURŇA, Milan. *Špeciálne metódy zvárania*. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-05-00097-9. <http://science.howstuffworks.com/ultrasonic-welding1.htm>
- [4] Štefánek, J. *Ultrazvukové zváranie kombinovaných materiálov*. (Kandidátska dizertačná práca) Bratislava 1977 Sjf SVŠT
- [5] ALPHA international s.r.o., *Slovník pojmů: Princip magnetostrikce* [online], [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.alphaint.cz/slovník/princip-magnetostrikce/>
- [6] HROCH, Miloš, *Přírodní vědy a technika: Eloxování hliníku* [online], [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.astronom.cz/procyon/chemistry/elox.html>
- [7] Sebastian Stabinger: Commons.wikimedia.org: File: Commutator universal motor stab.jpg [online]. March 21, 2008 [cit. 2017-04-15] Dostupný pod licencí Creative Commons na [www](http://www.wikimedia.org):
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Kommutator_universalmotor_stab.jpg
- [8] SIEMENS s.r.o.: Přípojnicový systém SIVACON 8PS BD2 od 160 do 1250 A [online], 2017. Praha [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=a4771de560&ctxp=home>
- [9] Poskytnuté materiály společností Siemens

Seznam použitých obrázků

1. Sestava ultrazvukové svářečky [3]
2. Dva druhy konstrukce [1]
3. Graf pro zjištění možného minimálního výkonu na zvolené upínací síle [1]
4. Rozdíly v čistotě povrchu [1]
5. Možné kombinace kovů a slitin [1], [2]
6. Kapacity několika ultrazvukových bodových svářeček používaných pro spojování vybraných kovů [1]
7. Rotor elektromotoru [7]
8. Mnohonásobný kabelový svazek [1]
9. Svařený hliníkový a niklový plát s navařenými měděnými vodiči, "vnitřek baterie" [1]
10. Přípojnice BD02 se zásuvkovou skříní [9]
11. Aplikace zkušebních kontaktů v praxi [9]
12. Současný stav kontaktu, lisovaný [9]
13. Kontakty připravené pro svařování [9]
14. Stroj pro předpřípravu kontaktů [9]
15. Ultrazvuková stolní svářečka [9]
16. Graf závislosti výkonu na čase [9]
17. Vibrační systém [9]
18. Odloupnutý svar [9]
19. Odtrhová zkoušečka [9]
20. Špatně svařený vzorek i přesto prošel zkouškou [9]
21. Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 10x
22. Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 10x spodní strana
23. Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 100x v řezu
24. Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 100x po leptání
25. Kabel o \varnothing 2,5 mm bez stříbření v místě svaru zvětšení 200x po naleptání
26. Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 10x
27. Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 10x spodní strana
28. Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 100x v řezu
29. Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 100x po naleptání
30. Kabel o \varnothing 2,5 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 200x po naleptání
31. Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 10x

32. Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 10x zadní strana
33. Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 10x v řezu
34. Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 100x po naleptání
35. Kabel o \varnothing 4 mm se stříbřením v místě svaru zvětšení 200x po naleptání

Seznam příloh

Příloha A – Lyrakontakt 374000140012001E nový vzhled

Příloha B – Lyrakontakt 374000140012002E nový vzhled

Příloha C – Lyrakontakt 374000140012001E nový vzhled 3D součást v programu Inventor

Příloha D – Lyrakontakt 374000140012002E nový vzhled 3D součást v programu Inventor

