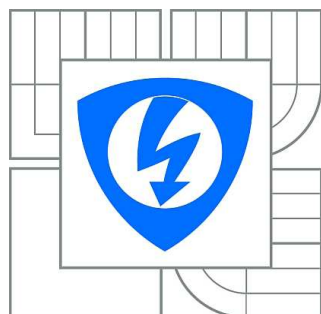


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

OPIMALIZACE PROCESU PÁJENÍ TVRDÝMI PÁJKAMI

THE OPTIMIZING OF SOLDER PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

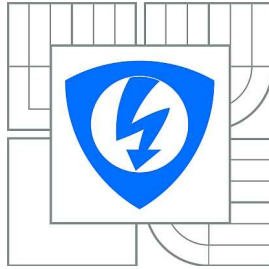
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB DANOVIČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. IVAN SZENDIUCH, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Jakub Danovič
Ročník: 3

ID: 119381
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Opimalizace procesu pájení tvrdými pájkami

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zpracujte přehled pájení se zaměřením na tvrdé pájení. Popište mechanismus tvrdého pájení a sestavte přehlednou tabulku tvrdých pájek s jejich parametry a doporučením vhodných tavidel pro konkrétní aplikace. Sestavte pracoviště pro tvrdé pájení a ověřte způsoby testování zapájeného spoje pro aplikace v mikroelektrotechnice, případně vliv významných faktorů na jakost zapájených spojů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 31.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.
Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jirí Háze, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku c.40/2009 Sb.

Abstrakt

Proces spájkovania je jedným z najdôležitejších procesov v oblasti elektrotechniky. Úvod práce sa venuje najmä stručnému prehľadu typov spájkovania. Táto práca je však zameraná predovšetkým na tvrdé spájkovanie. Táto metóda využíva spájky, ktoré majú teplotu tavenia nad 400 °C. Toto je v elektrotechnike využívané na pevnejšie spájanie materiálov, či už sa jedná o spájkovanie kovu na kov alebo kovu na keramický materiál. Podrobnejšie sa venuje metódam používaným pri tvrdom spájkovaní akými sú napríklad vákuové, alebo laserové spájkovanie. Taktiež sa tu popisujú výhody a nevýhody rôznych atmosfér použitých pri práci. Práca obsahuje prehľad a rozdelenie spájok a tavív vhodných pre jednotlivé procesy spájkovania. Praktická časť sa zaoberá využitím tvrdého spájkovania v elektrotechnike.

Kľúčové slová

Spájkovanie, tvrdé spájkovanie, spájka, tavivo, základný materiál, horák, kapilárny proces

Abstract

Soldering is one of the most important processes in the electronics. Beginning of this work is aimed on brief overview of soldering techniques. But whole this work is oriented mostly on brazing. This technique uses solders with melting point temperature above 400 °C. In electrical engineering is this used for stronger bonding of two base metals or metal and ceramics. It is more detailed focussed on methods, used on brazing like vacuum brazing or laser brazing. This work also describes advantages and disadvantages of different atmospheres used for brazing. In one part are tables of solders and fluxes suitable on different types of brazing. Practical part is about usage of hard soldering in electrical engineering.

Keywords

Soldering, hard soldering, brazing, solder, flux, base metal, torch, capillary process,

Bibliografická citácia diela:

DANOVIČ, J. *Optimalizace procesu pájení tvrdými pájkami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 41 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc..

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na téma „**Optimalizácia procesu spájkovania tvrdými spájkami**“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho semestrálneho projektu a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohto projektu som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa 28. 05. 2011

.....

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Ivanu Szendiuchovi, CSc. a Ing. Michalovi Řezníčkovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní projektu. Ďalej ďakujem firme Safina a.s., Vestec za poskytnutie materiálu potrebného pre realizáciu praktickej časti mojej práce.

V Brne dňa 15. 12. 2011

.....

Obsah

Zoznam obrázkov	VII
Zoznam tabuliek	VII
Úvod	1
1. Spájkovanie	2
2. Zmäčavosť a difúzia	2
3. Druhy spájkovania.....	4
3.1 Mäkké spájkovanie.....	4
3.1.1 Ručné spájkovanie.....	4
3.1.2 Spájkovanie vlnou	4
3.1.3 Spájkovanie pretavením	4
3.2 Tvrdé spájkovanie	4
3.2.1 Metódy ohrevu	5
3.2.2. Tavo.....	10
3.2.3. Spájky	14
4. Aplikácia spájkovania	18
4.1 Meď a medené zliatiny	18
4.2 Hliník a hliníkové zliatiny	19
4.3 Nikel a zliatiny na báze niklu	19
4.4 Sklené spájky.....	19
4.5 Zliatiny striebra a iných vzácnych kovov	20
4.6 Laserové spájkovanie	20
4.6. Spájkovanie vo vákuu	23
5. Praktická časť	24
5.1 Kyslíkovodíková zvaračka	24
5.1.1 Zloženie prístroja.....	24
5.1.2 Popis pracoviska.....	26
5.1.3 Spustenie prístroja	26
5.2 Testovanie tvrdého spájkovania	28
5.2.1 Spájkovanie SMD súčiastok.....	28
5.2.2 Spájkovanie nízkych odporov	29
6. Záver.....	33
7. Použitá literatúra	34

Zoznam obrázkov

OBR. 1: ZMÁČACÍ UHOL (A – VÝBORNÁ ZMÁČAVOSŤ, B – DOBRÁ ZMÁČAVOSŤ, C – ZLÁ ZMÁČAVOSŤ)	2
OBR. 2: DIFUNDOVANIE ROZTEČENEJ SPÁJKY DO ZÁKLADNÉHO MATERIÁLU	3
OBR. 3: PRÍKLAD NASTAVENIA SÚČIASTOK PRI SPÁJKOVANÍ	6
OBR. 4: MEDZERA MEDZI SPÁJKOVANÝMI ČASŤAMI	7
OBR. 5: SPRÁVNÝ POSTUP PRI SPÁJKOVANÍ PLAMEŇOM	8
OBR. 6: NESPRÁVNÝ POSTUP PRI SPÁJKOVANÍ PLAMEŇOM	8
OBR. 7: SPOJE PRI SPÁJKOVANÍ (A – ČELNÝ, B – KLINOVÝ, C – TUBUSOVÝ ČELNÝ, D- ČELNO-KLINOVÝ, E – TUBUSOVÝ KLINOVÝ, F – TUBUSOVÝ ČELNO-KLINOVÝ)	9
OBR. 8: SPRÁVNE OZNAČENIE TAVIVA PRE TVRDÉ SPÁJKOVANIE	11
OBR. 9: SYSTÉM OPTIKY LASERU	21
OBR. 10: VKLADANIE SÚČIASTOK DO PECE [4]	23
OBR. 11: KYSLÍKOVODÍKOVÁ ZVÁRAČKA	25
OBR. 12: OVLÁDACÍ PANEL KYSLÍKOVODÍKOVEJ ZVÁRAČKY	25
OBR. 13: PRACOVISKO PRE TVRDÉ SPÁJKOVANIE	26
OBR. 14: HROT NASADENÝ NA TRYSKE ZVÁRAČKY	27
OBR. 15: NÁVRH TESTOVACEJ ŠTRUKTÚRY	28
OBR. 16: PRASKNUTÁ KERAMIKA PO VEĽKOM TEPELNOM ZAŤAŽENÍ	28
OBR. 17: SPÁJKY: A - FOSFOROVÁ, B - MOSADZNÁ	29
OBR. 18: ČISTENIE VO VIBRAČNEJ NÁDRŽKE	30
OBR. 19: POVRCH POSTRIEBRENÝCH A OČISTENÝCH SÚČIASTOK	30
OBR. 20: ZVYŠKY MÁKKEJ SPÁJKY NA KONCOCH SÚČIASTKY	31
OBR. 21: CHYBNE SPÁJKOVANÉ SÚČIASTKY; A – BEZ TAVIVA B – NEAKTIVOVANÉ TAVIVO	32

Zoznam tabuliek

TABUĽKA Č. 1: PREHĽAD TAVÍV PRE TVRDÉ SPÁJKOVANIE [2]	12
TABUĽKA Č. 2: PREHĽAD STRIEBORNÝCH SPÁJKOV	15
TABUĽKA Č. 3: HLINÍKOVÁ SPÁJKA	16
TABUĽKA Č. 4: PREHĽAD MEDENÝCH SPÁJKOV	17
TABUĽKA Č. 5: SKLENÉ SPÁJKY FIRMY SCHOTT [8]	17
TABUĽKA Č. 6: VEĽKOSŤ TRYSKY PODĽA PRACOVNÉHO VÝKONU	27
TABUĽKA Č. 8: POUŽÍVANÉ SPÁJKY	29
TABUĽKA Č. 9: POUŽITÉ TAVIVO	30
TABUĽKA Č. 10: NAMERANÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY	32

Úvod

Táto práca sa venuje popisu spájkovacieho procesu, najmä tvrdého spájkovania. Tvrdé spájkovanie je zatiaľ rozvíjajúci sa obor a doteraz o ňom u nás nie je veľa publikácií. Tvrdé Táto metóda je veľmi významná pri spájaní železných materiálov, ale aj pri spájaní napr. skla a keramiky. Tvrdé spájkovanie je veľmi rozšírené najmä vo výrobe šperkov a v strojníckej výrobe. V elektrotechnike môže byť tvrdé spájkovanie využívané na spájkovanie vysoko výkonových vývodov alebo na zapuzdrenie čipov pomocou sklenených spájok. Práca rozoberá problematiku tvrdého spájkovania, či už v oblasti používaných materiálov, tak aj techník. V oblasti materiálov práca obsahuje tabuľky s rozdelením spájok a tavív a zároveň popisuje ich vlastnosti a vhodnosť použitia. U techník spájkovania práca obsahuje podrobnejšie vysvetlenie ručného spájkovania plameňom. Opisuje však aj niektoré techniky spájkovania používané pre špeciálne operácie ako napríklad spájkovanie vo vákuu alebo laserové spájkovanie.

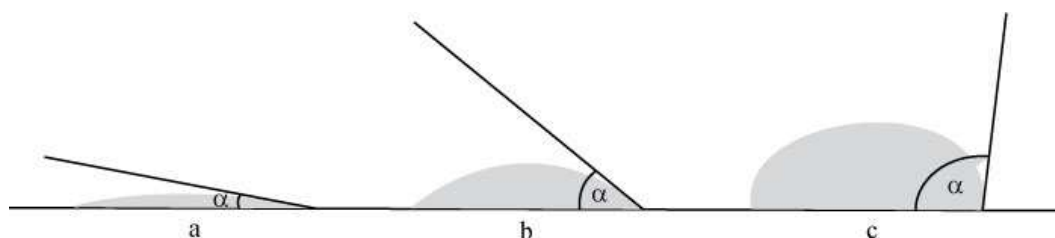
Praktická časť sa venuje možnému využitiu tvrdého spájkovania v elektrotechnike. Práca je zameraná na povrchovú úpravu materiálov neschopných zmäčať sa mäkkou spájkou. Táto časť popisuje postup nanášania striebornej spájky na odporový materiál, vďaka čomu sa dajú vytvoriť veľmi nízke odpory, ktoré je možné spájkovať pre rôzne aplikácie mäkkou spájkou. Ďalej sa venuje praktickému overeniu chýb, ktorých sa môžeme dopustiť pri spájkovaní a výrazne ovplyvňujú dôležité kvalitatívne vlastnosti spájkovaného spoja.

1. Spájkovanie

Spájkovanie je metalurgický spôsob spájania súčastí roztaveným pomocným materiálom, tzv. spájky s nižšou teplotou tavenia ako majú spojované súčasti, ktoré sa pri tomto procese neroztavia. [7] Spoj vzniká roztavením spájky do kvapalného stavu, pomocou adhézie - príľnavosti kovu a spájky a čiastočne aj vplyvom difúzie - prelínania častíc spájaného kovu a spájky. Je zvykom rozlišovať spájkovanie na tzv. mäkké a tvrdé, podľa teploty tavenia spájky. Spájky s teplotou tavenia do cca 400 °C sú označované ako mäkké, nad touto teplotou ako tvrdé. [10] Táto práca bude zameraná predovšetkým na tvrdé spájkovanie, detailnejšie porovnanie metód pre tento druh spájkovania a prehľad materiálov používaných pri týchto metódach.

2. Zmäčavosť a difúzia

Neodvratnou podmienkou vzniku kvalitne spájkovaného spoja je dobrá zmáčavosť spojovaných materiálov spájkou. Koherentné sily (príťažlivé sily medzi susednými atómami roztavenej spájky) musia byť menšie ako adhézne (príťažlivé sily medzi atómami roztavenej spájky a materiálu podkladu). Pomer týchto síl vyjadrený kapilárnym napätím charakterizuje kontaktný uhol kvapky spájky. Pokiaľ je menší ako 90°, zmáčavosť je dokonalá a do 75° dobrá. Na Obr. 1 je príklad zmáčavostí povrchov kde uhol α predstavuje zmáčací uhol. [9]



Obr. 1: Zmäčací uhol (*a* – výborná zmáčavosť, *b* – dobrá zmáčavosť, *c* – zlá zmáčavosť)

Hodnotu uhla možno ovplyvniť tavivom, teplotou, legovaním spájky (priaznivo pôsobí B, P, Ni, Si). Silno tepelne vodivé kovy je nutné predhrievať na teplotu solidu spájky s zle vodivé iba na 75% teploty solidu. Základné materiály a spájka musia v tuhom stave rozpúšťať, aby sa zmočili. Miera zmočivosti rastie s veľkosťou vzájomnej rozpustnosti. Vzĺnavosť tekutej spájky je jej schopnosť vyplniť kapiláru. Hnacia kapilárna sila štrbinou postupujúcej spájky vzniká kapilárnym tlakom

$$p_k = \gamma_H \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad ; \text{ [Pa]} \quad [1]$$

Pre štrbinu je r_2 nekonečno a $r_1 = s$ (šírka štrbiny). Pri vyrovnaní tiaže (pri tiažovom zrýchlení a mernej hmotnosti stĺpca spájky s kapilárnym tlakom vo zvislej špáre (pokiaľ spájka vzĺna hore) vystúpi spájka do výšky h , ktorá charakterizuje vzĺnavosť [9]

$$h = \frac{2\gamma_H \cdot \cos \alpha}{\rho \cdot s \cdot g} \quad ; \text{ [m]} \quad [2]$$

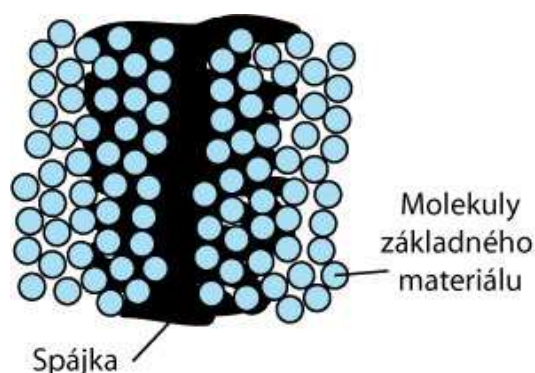
Pre spájku na báze AgCuZn adhézne napätie gama H=500 Pa.

Reakcia na rozhraní spájka/základní materiál ovplyvňuje mechanické vlastnosti spoja i základného materiálu. Difúzia spájky pozdĺž hraníc zfn základného materiálu sa riadi Fickovými zákonmi:

$$D = D_0 \cdot \exp\left\{-\frac{Q}{kT}\right\} \quad [3]$$

$$x_2 = 2 \cdot D \cdot t \quad [4]$$

Vysoká teplota T a čas spájkovania t spolu s vysokým súčiniteľom difúzie D pozdĺž hraníc zfn do hĺbky x často pôsobí spájkovaciú praskavosť. Veľmi citlivé sú austenitické oceli, Ni zliatiny a dvojfázové oceli. Znížiť hodnotu D možno tiež predošlým žíhaním spojovaných polotovarov. Reakcia spájky s povrchovým oxidom alebo spájaným materiálom za tvorby intermediálnych fáz pôsobí krehkosť spoja. Veľký rozdiel elektrochemických potenciálov spojovaných materiálu a spájky pôsobí náchylnosť ku korózii. [9]



Obr. 2: Difundovanie roztečenej spájky do základného materiálu

Na obr. 2 je znázornené difundovanie spájky do základného materiálu. Spájka sa zahrievaním rozteká a jej molekuly difundujú medzi molekuly základného materiálu čím vytvárajú pevný spoj.

3. Druhy spájkovania

3.1 Mäkké spájkovanie

Tento druh spájkovania sa používa predovšetkým v elektrotechnike a jemnej mechanike. Podľa toho akým spôsobom pripevňujeme k sebe spájkované materiály delíme mäkké spájkovanie na:

3.1.1 Ručné spájkovanie

Touto metódou sa dnes spájkujú len niektoré špeciálne súčiastky, napr. väčších rozmerov, ktoré sú osadzované do dosky dodatočne po spájkovaní hromadnom. Spájkovanie spájkovačkou je používané predovšetkým pri opravách osadených dosiek. [12]

3.1.2 Spájkovanie vlnou

Spájkovanie vlnou sa vykonáva na doskách plošných spojov osadených súčiastkami pre povrchovú montáž i súčiastkami s vývodmi vkladanými do dier. Dnes predstavuje významný segment montážnej technológie v elektronike. Pri spájkovaní vlnou je v zásobníku s roztavenou spájkou vytvorená na hladine jedna alebo viac vln, ktoré zmáčajú povrch dosky plošného spoja, ktorá sa pohybuje nad hladinou. Zmáčaný je ten povrch, na ktorom majú byť vytvorené spájkované spoje, tá časť zmáčaného povrchu, na ktorú nemá byť aplikovaná spájka, je chránená maskou. [12]

3.1.3 Spájkovanie pretavením

Spočíva v nanosení spájkovacej pasty na spájkovacie plôšky dosky plošného spoja, na ktorých majú byť vytvorené spájkované spoje, potom osadení súčiastok na dosku tak, aby ich vývody, ktoré majú byť pripájané boli osadené na pripojovacie plôšky s nanosenou spájkovacou pastou a následné pretavení pasty priechodom dosky pieckou s vhodným teplotným profilom. [12]

3.2 Tvrdé spájkovanie

Tvrdé spájkovanie je spájací proces a sám o sebe to nie je proces tepelného spracovania hoci pre úspešné dokončenie potrebuje kontrolovane použitie tepelnej energie. Tvrdé spájkovanie sa používa pre spájanie dvoch rovnakých i odlišných kovových materiálov a dosiahneme ho tým že do medzery medzi spájanými materiálmi vložíme ďalší materiál, nazývaný spájka, ktorého teplota tavenia sa nachádza nad úrovňou 400 °C. Teplota tavenia spájky však nesmie byť vyššia ako teplota tavenia spojovaného materiálu. Tvrdé spájkovanie je často nazývané aj ako strieborné spájkovanie. Je to tým, že sa pri ňom využívajú ako výplň medzi základným materiálom tvrdé spájky ako aj zliatiny na báze striebra.

Tvrde spájkovanie prináša veľa dôležitých výhod v oblasti procesu spájania kovov. Nespôsobuje také tepelné zaťažovanie základného kovu ako napríklad zváranie a taktiež ho nedeformuje. Najhlavnejšou výhodou je však, že sa pomocou tvrdého spájkovania dajú spájať 2 odlišné základné materiály. [3]

Na proces tvrdého spájkovania potrebujeme 3 základné položky ktorými sú zdroj tepla, spájku a tavidlo.

3.2.1 Metódy ohrevu

Podľa toho akým spôsobom dodávame teplo pri spájkovaní môžeme rozdeliť spájkovanie na tieto metódy:

3.2.1.1 Spájkovanie plameňom

- uplatňuje sa pri výrobe spájaných súčiastok v kusovej výrobe a pri opravách strojných súčiastok. Náročná kontrola teploty a neľahké nanášanie taviva potrebného k dosiahnutí dobrého spoja vyžaduje veľké skúsenosti pracovníka. Proces spájkovania plameňom spočíva v ohrievaní základného materiálu na teplotu nad 400 °C kde dve spájané časti vyplníme neželezným kovom, ktorý má nižšiu teplotu tavenia ako základný materiál. Zahrievanie prebieha najčastejšie pomocou kyslíkovo-acetylénového horáka alebo kyslíkovo-vodíkoveho horáka. [11]

Celý proces spájkovania nezáleží len od zahriatia spájky. Pred samotným spájkovaním aj po ňom je treba vykonať niekoľko operácií. Celý proces spájkovania sa dá popísať v 5 bodoch:

- **Očistenie súčiastok**
- **Umiestnenie a nastavenie pred spájkovaním**
- **Nanesenie taviva**
- **Spájkovanie**
- **Čistenie**

Očistenie súčiastok

Kapilárny proces pracuje riadne len keď je povrch materiálu čistý. Ak je povrch znečistený napr. olejom, mazadlom, hrdzou alebo len normálnou špinou, musia byť tieto nečistoty odstránené. Ak sa tieto nečistoty neodstránia, formujú bariéru medzi základným materiálom a spájkou. Napríklad mastný povrch odpudzuje tavivo a zanecháva holé miesta ktoré pri zahriatí oxidujú a spôsobujú poruchy. Olej a masť karbonizujú pri zahriatí a vytvárajú film cez ktorý spájka nemôže tiecť. A spájka sa taktiež neprichytí na hrdzavý povrch. Čistenie kovu je zriedkavo náročný proces, ale musí byť správne vykonaný. Olej a mazivá by mali byť odstránené ako prvé, pretože kyselina, ktorou je odstraňovaná hrdza neúčinkuje na mastný povrch.

Začínanie zbavovaním sa oleja a mastnoty. Vo väčšine prípadov sa to robí veľmi jednoducho namočením častí do vhodného odmasťovacieho rozpúšťadla, odmasťovaním v pare alebo či vodným čistením. Saponát niekedy môže postačiť.

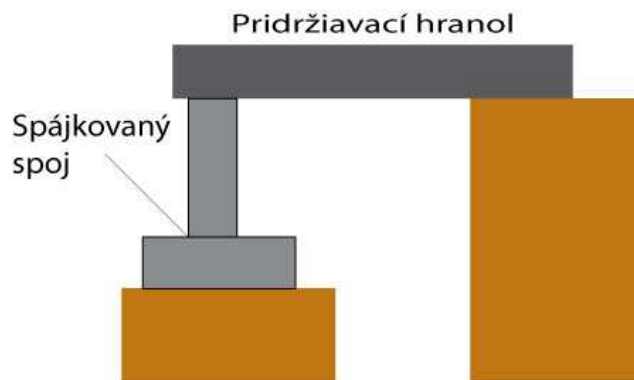
Ak je povrch pokrytý oxidmi, môžu sa tieto nečistoty odstrániť chemicky alebo mechanicky. Pri chemickom čistení použijeme ošetrovanie v kyselinovom roztoku, avšak sa musíme uistiť, že chemikálie ktoré používame sú vhodné pre čistenie daného druhu základ a že neostanú žiadne

zvyšky kyseliny v štrbinách alebo slepých miestach. Mechanické odstraňovanie vyžaduje brúsne čistenie. Prakticky sa pri opravnom spájkovaní, kde sú súčiastky veľmi znečistené alebo hrdzavé, sa čistiaci proces urýchli brúsnym papierom, brúsnym kotúčom alebo opieskovaním a následnými oplachovacími operáciami.

Ako náhle sú všetky časti kompletne očistené, je najlepšie naniesť tavivo a spájkovať najskôr možné. Pri tomto postupe je najmenej pravdepodobné, že sa povrch znova neznečistí prachom alebo nezamastí pri spracovaní. [6]

Umiestnenie a nastavenie pred spájkovaním

Umiestnenie a nastavenie pre spájkovanie je veľmi dôležité. Spájkovanie vonku na slnečnom svetle je zlé, pretože nie sme schopný pozorovať plameň. Spájkovanie vo vnútri je tiež zlé kvôli výparom. Ideálne je preto používať masku, alebo spájkovať v dobre vetraných priestoroch.



Obr. 3: Príklad nastavenia súčiastok pri spájkovaní

Ďalším krokom je dobre zaistiť časti, ktoré chceme spájkovať. K uchyteniu by sme mali používať nástroje s malou tepelnou vodivosťou. Na obr. 3. vidíme názorné zaistenie spájkovaných súčiastok. Držiaci hranol drží súčiastku aby sa pri spájkovaní nehýbala. Pri uchytení častíc by sme mali nechať malú medzeru medzi dvomi spájkovanými časťami. Na to aby bol kapilárny efekt účinný je doporučená medzera od 50 do 150 μm . Na Obr. 4 je názorná ukážka spájkovaného spoja z veľkosťou medzery 0,1 mm. [6]



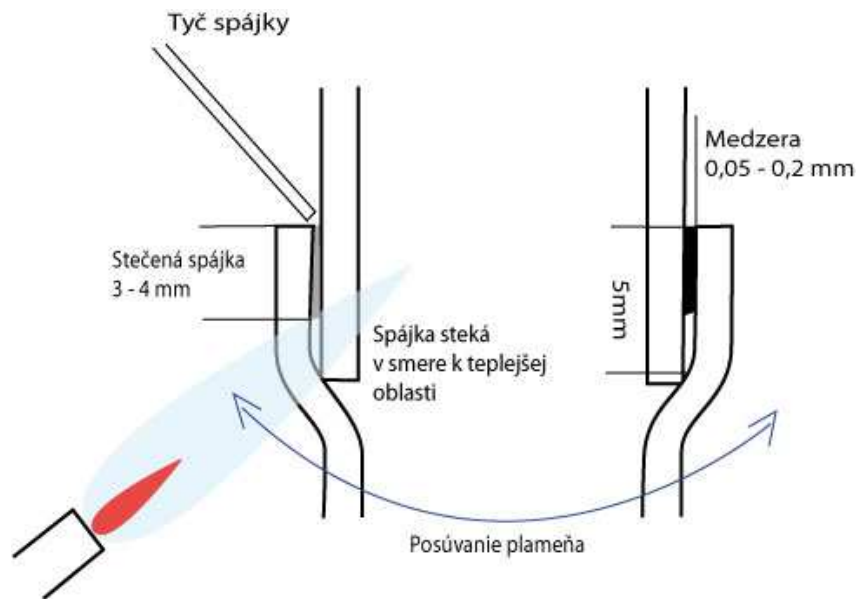
Obr. 4: Medzera medzi spájkovanými časťami

Nanesenie taviva

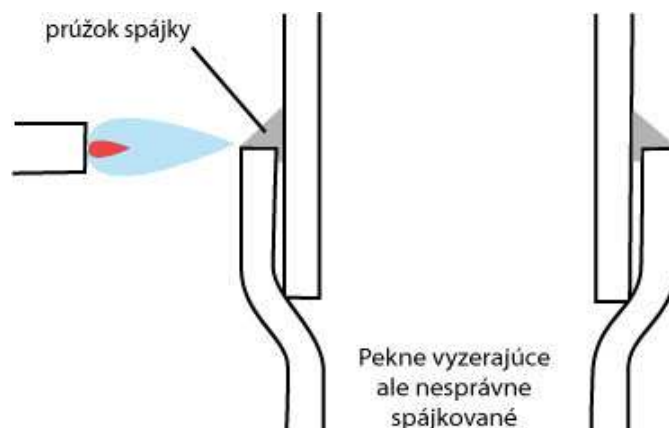
Treba vybrať tavivo určené špecificky na daný materiál, teplotu a podmienky spájkovania. Potom sa nanesie na celý povrch miesta ktoré bude spájkované tesne pred spájkovaním. Tavivo absorbuje oxidy podobne ako hubka vodu. Nedostatok taviva sa rýchlo nasýti a stráca svoju efektivitu. Tavivo ktoré je menej nasýtené nielen zaručuje kvalitnejší spoj, ale je aj ľahšie čistenie po skončení spájkovania. Tavivo tiež môže slúžiť ako indikátor teploty a zabrániť tak prehriatiu častí. Môžeme taktiež pridať trochu taviva na koniec tyče spájky pre zlepšenie toku. [6]

Spájkovanie

Samotné spájkovanie je asi najľahší a najrýchlejší z krokov. Jednoducho zahrievame spoj medzi dvomi čatami, ktoré chceme spájkovať pokiaľ nezačervenajú žiarom. Oba kovy by mali byť zahrievané čo najrovnomernejšie aby dosiahli spájkovaciú teplotu spoločne. Potom sa pritlačí tyč spájky ku spoju a nechá sa sama stiecť do spoja. Spájka má tendenciu tiecť k miestam s vyššou teplotou. Spájka sa šíri sama pomocou kapilárneho javu. Na Obr. 5 je znázornený správny postup spájkovania. Zahrievame odspodu a spájka tečie k teplejším miestam. Na rozdiel od Obr. 6 kde zahrievame začiatok spoja a spájku. Takto spájka nezateká do spoja a spoj je potom nekvalitný. [6]

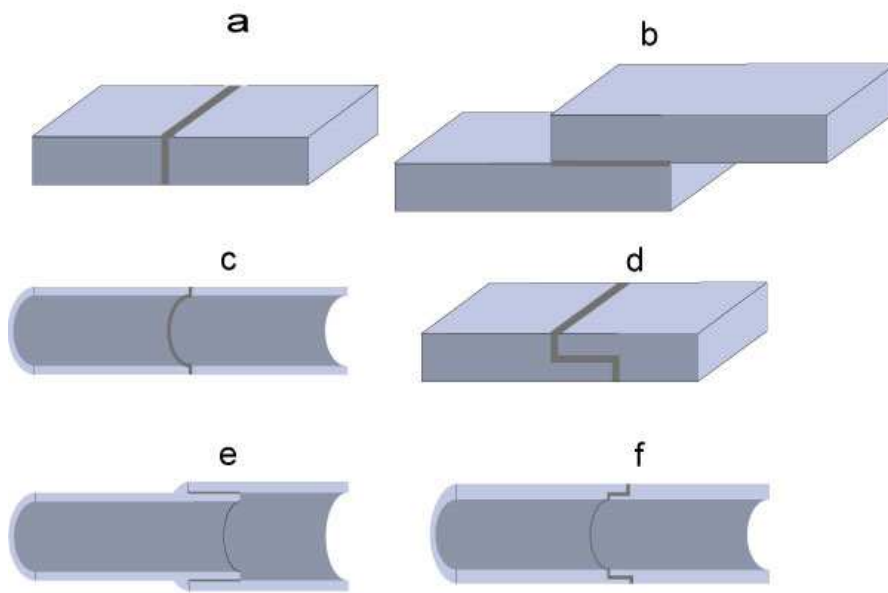


Obr. 5: Správny postup pri spájkovaní plameňom



Obr. 6: Nesprávny postup pri spájkovaní plameňom

Pre spájkovanie sa používa niekoľko typov spojov. Najčastejšie sú čelný, klinový a tubusový spoj a ich kombinácia. Ukážky jednotlivých spojov môžeme vidieť na Obr. 7. Pre spájkovanie plochých súčiastok sa používajú predovšetkým spoje čelný a klinový. Na spoje trubiek sa používa najmä tubusový klinový. V prípade potreby hladkého spoja sa využíva tubusový čelný. Väčšiu pevnosť má však tubusovo čelno-klinový avšak jeho nevýhodou je väčšia náročnosť.



Obr. 7: Spoje pri spájkovaní (a – čelný, b – klinový, c – tubusový čelný, d- čelno-klinový, e – tubusový klinový, f – tubusový čelno-klinový)

Čistenie

Potom čo je celok spájkovaný, musí sa očistiť. Čistenie je zvyčajne proces z dvomi krokmi:

a, odstránenie zvyškov taviva – kúpeľ v teplej vode, a následne v teplej kyseline chlorovodíkovej.

b, Zisťovanie či sa pri procese spájkovania nevytvorila žiadna vrstva oxidov.

Odstránenie taviva je jednoduchý, ale podstatný proces. Zvyšky taviva sú chemicky aktívne a môžu oslabiť spoj. Odkedy je väčšina tavív vodou odstrániteľná, najľahšou cestou na očistenie je ponorenie do teplej vody (50°C a viac) Najlepšie je namočiť spoj kým je ešte horúci, len sa treba uistiť, že spájka už stuhla. Zvyšky taviva po sklených spájkach obvykle prasknú a odlúpnu sa. Ak sú húževnatejšie, stačí ich jemne okefovať drôtenou kefou pokým je súprava ešte v horúcej vode. Odstránenie parou tiež funguje.

Prípád kedy sa dostávame do problémov pri odstraňovaní zvyškov taviva nastáva, ak ho nepoužijeme dostatočné množstvo, alebo príliš zahrejeme súčasti pri spájkovaní. Vtedy sa tavivo kompletne nasýti oxidmi, zvyčajne zazelenia alebo sčernie. V tomto prípade tavivo odstránime jemným kyselinovým roztokom. Kúpeľ v 25% kyseline chlorovodíkovej ohriatej na 60 až 70°C zvyčajne postačí aj na najhúževnatejšie tavivové zvyšky. Jednoducho pretrepeme celok v roztoku po dobu 0,5 až 2 minúty. Nie je potrebné okefovanie. Musíme si len dávať pozor. Pracujeme z kyselinou preto by sme sa mali chrániť pomocou štítu a rukavíc. Po odstránení tavivových zvyškov použijeme roztok na odstránenie oxidov na miestach, ktoré neboli chránené tavivom. Najvhodnejší býva väčšinou ten, ktorý je doporučený priamo výrobcom. V niektorých prípadoch keď potrebujeme veľmi čistý povrch, obrúsime ho jemným brúsnym papierom. [6]

3.2.1.2 Spájkovanie v ohni

- vyskytuje sa najčastejšie v kusovej výrobe. Dnes je tento spôsob vytlačovaný spájkovaním plameňom, ktoré umožňuje dosiahnutie lepších výsledkov.[11]

3.2.1.3 Spájkovanie v komorových peciach

- touto metódou spájkujeme doštičky z rýchlereznej oceli a tvrdých kovov používaných k výrobe obrábacích nožov. Kapilarita sa dosahuje prilícovaním doštičky k telesu noža a ručným pritlačením spravidla koncom pilníku po dosiahnutí spájkovacej teploty.[11]

3.2.1.4 Spájkovanie v peciach z ochrannou atmosférou

- toto spájkovanie je vhodné pre spájanie menších predmetov. Veľkosť spájaných materiálov je daná veľkosťou pece. (Používa sa väčšinou elektrických pecí s dusíkovým alebo vodíkovým prostredím. Pre tvrdé spájkovanie medi je toto prostredie nevhodné, pretože meď môže byť napadnutá tzv. vodíkovou nemocou. Tvrdé spájkovanie v peciach z ochrannou atmosférou umožňuje spájať väčšie množstvo spojov naraz. Ohrev prebieha bez oxidovania preto nie je potrebné používať tavivá a je tu jednoduchšia kontrola teploty. [11]

3.2.1.5 Spájkovanie ponorom

- súčiastky sa ponoria do kúpeľa s roztavenou spájkou. S týmto spôsobom spájkovania sa najčastejšie stretávame v sériovej výrobe napríklad pri výrobe rámov bicyklov.[11]

3.2.1.6 Spájkovanie elektrickým odporovým ohrevom

- umožňuje spájkovanie preplátovaných spojov. Výhodou je, že sa pre tento druh spájkovania dá využiť stykových, bodových aj švových zváracích strojov. [11]

3.2.2. Tavivo

Podmienkou pevného a tesného spojenia spájkovaním je mi. dobrá zmáčavosť základného materiálu roztavenou spájkou. Tá je (okrem metalurgických vlastností) závislá na čistote povrchu pri teplote spájkovania. Potrebná čistota sa dosahuje pri spájkovaní v bežnej atmosfére použitím tzv. tavív, alebo spájkovaním v prostredí, ktoré povrchové vrstvy brániace dobrému zmočeniu odstraňujú. [2]

Ako tavivo sa v metalurgii označuje chemická látka, ktorej úlohou je pôsobiť ako čistič pri tvrdom či mäkkom spájkovaní alebo pri zváraní, s cieľom odstrániť zoxidované kovy z miest, ktoré sa spájajú. Medzi bežne používané tavidla patrí chlorid amónny alebo kalafuna pre spájkovanie cínovou spájkou, kyselina chlorovodíková alebo chlorid zinočnatý pre spájkovanie pozinkovanej oceli, a bórax pre tvrdé spájkovanie alebo zváranie železných kovov. Rôzne tavivá, väčšinou založené na chloride sodnom, chloride draselnom a na fluoridoch, napr. fluoride sodnom sa používajú v zlievariach k odstraňovaniu nečistôt z roztavených neželezných kovov, napr. z hliníku, a pre pridávanie požadovaných stopových prvkov napr. titánu.

Pri procese vysokoteplotného spájkovania je primárnym účelom tavidla zabrániť oxidácii základného a výplňového materiálu. Spájka veľmi dobre priľne k medi, ale veľmi špatne k jej oxidom, ktoré sa pri teplotách používaných pri spájkovaní rýchlo tvoria. Tavidlo je látka, ktorá je pri izbovej teplote temer netečená, ale pri zvýšených teplotách sa stáva silne redukčná a bráni tak tvorbe oxidov kovu. Okrem toho tavidlo umožňuje, aby spájka ľahko tiekla po spájkovaných povrchoch, miesto aby tvorila guľôčky, ako by sa inak dialo. Na Obr. 8 je príklad označenia tavidla pre tvrdé spájkovanie. [2]



Obr. 8: Správne označenie tavidla pre tvrdé spájkovanie

Hlavné funkcie tavidla možno zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Čistí povrch základného materiálu
- Bráni oxidácii základného materiálu
- Podporuje zmáčavosť
- V niektorých prípadoch indikuje správnu teplotu zahriatia
- Podporuje rovnomerné rozloženie teploty v spoji

V tabuľke č. 1 vidíme prehľad tavidiel používaných pre tvrdé spájkovanie. Tieto sú dodávané v práškovom, pastovom alebo kvapalnom stave. V tabuľke je popísané ich označenie podľa príslušných noriem a ich reakčná teplota. Ďalej tabuľka obsahuje vhodné procesy spájkovania touto spájkou a to aj pre aký druh základného materiálu a pre ktorú spájku je toto tavidlo najvhodnejšie.

Tabuľka č. 1: Prehľad tavív pre tvrdé spájkovanie [2]

Označenie	Chemické zloženie Označenie podľa DIN 8511 EN 1045	Reakčná teplota	Vlastnosti	Základný materiál	Spájka	Typ procesu spájkovania
SF 89 Pasta	FSH 1 FH10	520-780° C	Výplňové spájkovanie. Zvyšky taviva sú ľahko odstrániteľné vodou.	ocel', nerezová ocel', meď, zliatiny medi	Všetky Ag, CuP a AgP spájky so spájkovacou teplotou do 780° C.	Spájkovanie plameňom Spájkovanie v peci Indukčné spájkovanie Laserové spájkovanie
SF 891 Prášok	F-SH 1 FH11	580-800° C	Vhodné pre spájkovanie malých súčiastok. ľahko idú odstrániť iba malé množstvá zvyškov taviva.	ocel', nerezová ocel', meď, zliatiny medi	Všetky Ag, CuP a AgP spájky so spájkovacou teplotou do 800° C.	Spájkovanie plameňom Spájkovanie v peci Indukčné spájkovanie Laserové spájkovanie
V 87 Pasta	F-SH 2 FH20	740-950° C	Spájkovanie el. oblúkom, nánosové spájkovanie. Pri použití spájok FIRINIT 717/718 bude tavivo zlepšovať roztekavosť pri WIG a MIG procese.	ocel', pozinkovaná ocel', temperovaná liatina, nikel, meď	718 720/721 /722 A 7211 7503 V	Spájkovanie plameňom Spájkovanie v peci MIG zváranie TIG zváranie

Označenie	Chemické Zloženie Označenie podľa DIN 8511 EN 1045	Reakčná teplota	Vlastnosti	Základný materiál	Spájka	Typ procesu spájkovania
Okto1 88 Pasta	F-SH 2 FH21	760-1000° C	Spájkovanie el. oblúkom. Nánosové Spájkovanie. Vhodný obzvlášť pre mosadzné spájky FIRINIT. Zvyšky taviva sú ľahko odstrániteľné vodou.	ocel', pozinkovaná ocel', meď	720/721 722 A 7503 V	Spájkovanie plameňom
KMB-S 62 Pasta	F-SH 2 FH21	750-1000° C	Spájkovanie el. oblúkom. Nánosové Spájkovanie. Tavivo pre zváranie mosadze a zliatin Cu s teplotou tavenia pod 950° C.	ocel', temperovaná liatina, meď, zliatiny Cu- Ni	720/721 722A 7503 V	Spájkovanie plameňom
Flux-S Kvapalina	F-SH 2 FH21	750-950° C	Spájkovanie el. oblúkom. Nánosové spájkovanie.	ocel', meď, zliatiny medi	7503V zliatiny Ag zliatiny CuAgP 718 720/721/ 722 A 7211	ABA-FAG proces () podrobne popísané v špeciálnej Firinit publikácii)

Označenie	Chemické Zloženie Označenie podľa DIN 8511 EN 1045	Reakčná teplota	Vlastnosti	Základný materiál	Spájka	Typ procesu spájkovania
HP 64 Prášok	F-SH 2 FH21	850-1000° C	Spájkovanie el. oblúkom, nánosové spájkovanie.	oceľ, temperovaná liatina, meď, zliatiny Cu, zliatiny Cu-Ni, tombak	720/721 722 A 7503 V	Tavné zváranie Spájkovanie plameňom
KMB 61 Pasta	F-SH 2 FH20	800-1100° C	Tavivo pre tavné zváranie a MIG/TIG. Čiastočne použiteľný aj pre meď a zliatiny medi. Normálne zvyšky tavenia nie sú vhodné pre Al-bronz	meď, mosaz, bronz, zliatiny Cu-Ni	711/715 717.6/718 720/721 7503 V	Tavné zváranie MIG zváranie TIG zváranie

3.2.3. Spájky

Spájka je tavitelná kovová zliatina používaná na spájanie kovových súčastí, ktorá má bod tavenia nižší ako spájané súčasti. Mäkká spájka je najviac spomínaná pri zmienke o spájkovaní a typicky má pod tavenia od 90 do 450 °C. Je zvyčajne využívaná v elektronike alebo klampiarstve. Spájky z bodom tavenia medzi 180 – 190 °C sú z nich používané najviac. Podľa definície spájok, sa zliatiny z bodom tavenia vyšším ako 450 °C nazývajú tvrdé spájky. Mäkké spájky môžu obsahovať olovo alebo/a tavivo ale v súčasnosti je kvôli normám väčšina spájok bezolovnatá. Najviac používaná a najznámejšia forma spájok je v podobe drôtu alebo tyče. V klampiarstve sú používané tyčinky a v šperkovníctve malé plátky ktoré sa strihajú na potrebnú veľkosť. Spájka taktiež môže byť použitá vo forme pasty alebo perforovanej fólie vystrihnutej tak aby pasovala na určené miesto.

Eutektické zliatiny sa tavia na určitej teplote. Neeutektické majú často odlišnú teplotu solidu a likvidu a počas tohto rozsahu sú ako pasty pevných častí v tavenine látky z nižšou teplotou tavenia. Tento stav spôsobuje problémy pri práci.

V tabuľke č. 2 nájdeme prehľad strieborných tvrdých spájok a ich označenie podľa noriem DIN a ISO. Tabuľka taktiež obsahuje ich zloženie s percentuálnym obsahom daných materiálov a ich pracovnú teplotu. Dôležitým bodom je aj zoznam materiálov, pre ktoré je táto spájka vhodná.

Tabuľka č. 2: Prehľad strieborných spájok

DIN EN 1044	ISO 3677	Váhový objem (%)		Pracovná teplota (°C)	Pevnosť (N/ mm ²)	Hustota (g/cm ³)	Použitie
		Ag Zn ost.	Cu Ni				
AG 207 (L-Ag12)	B- Cu48ZnAg(Si) 800/830	12 48 40 - -		830	400	8,5	Oceľ, meď zliatiny na báze medi, nikel, zliatiny na báze niklu, kujné železo
AG 206 (L-Ag20)	B- Cu44ZnAg(Si) 690/810	20 45 35 - -		810	400	8,7	žiaruvzdorný do 300 °C
AG 205 (L-Ag25)	B-Cu40ZnAg 700/790	25 41 34 - -		780	400	8,8	
AG 203 (L-Ag44)	B-Ag44CuZn 675/735	44 30 26 - -		730	450	9,1	Oceľ, meď, zliatiny na báze medi, nikel, zliatiny na báze niklu, kujné železo,
AG 107 (L-Ag30Sn)	B-Cu36ZnAgSn 665/755	30 36 32 - 2Sn		740	430	8,8	žiaruvzdorný do 200 °C
AG 106 (L-Ag34Sn)	B-Cu36AgZnSn 630/730	34 36 27 - 3Sn		710	430	9	*čiastočne vhodný pre
AG 105 (L-Ag40Sn)	B-Ag40CuZnSn 650/710	40 30 28 - 2Sn		690	400	9,1	nerozovú oceľ

AG 104 (L-Ag45Sn)	B-Ag45CuZnSn 640/680	45 27 25 - 3Sn	670	400	9,2	
AG 102* (L-Ag55Sn)	B-Ag56CuZnSn 620/655	56 22 17 - 5Sn	650	400	9,4	
Ag 502 (L-Ag49)	B- Ag49ZnCuMnNi 680/70	49 17 22,5 5 6,5Mn	690	300	8,9	Tvrde kovy na oceli, volfrám a molybdénové materiály
Ag 401 (L-Ag72)	B-Ag72Cu 780	56 26 - 4 14In	780	340	10	Oceľ, nerezová oceľ, meď, nikel a zliatiny na báze niklu,

Typickou hliníkovou spájkou je spájka popísaná v tabuľke č. 3. Jedná sa o zliatinu hliníka a kremíka. Popísané sú tu aj jej dôležité údaje akými sú označenie podľa normy, tavný rozsah a pracovná teplota.

Tabuľka č. 3: Hliníková spájka

Označenie	Označenie ČSN EN 1044	Al	Si	Tavný rozsah [°C]	Pracovná teplota [°C]	Hustota [g.cm ⁻³]
L88/12	Al 104	88	12	575 - 585	590	2,65

Ďalšou rozšírenou skupinou spájok sú spájky medené. Ich prehľad sa nachádza v tabuľke č. 4. Tabuľka opäť obsahuje potrebné údaje akými sú zloženie, označenie podľa noriem a dôležité teploty.

Tabuľka č. 4: Prehľad medených spájok

KÓD	Značenie	Značenie	Cu	Zn	Sn	Si	Mn	Ni	Fe	Teplota tavenia	
	ČSN ISO 17672	ČSN EN 1044								(približná)	
										Solidus Likvidus	
										°C	°C
Cu59ZnSn	Cu 470	CU 302	57,0/ 61,0	zv.	0,2/ 0,5	-/-	-/-	-/-	-/-	875	895
Cu60ZnSi	Cu 470a	CU 301	58,5/ 61,5	zv.	-/-	0,2/ 0,4	-/-	-/-	-/-	875	895
Cu60ZnSnSiMn	Cu 471	CU 304	56,0/ 60,0	zv.	0,2/ 0,5	0,15/ 0,2	0,05/ 0,25	-/-	-/-	870	900
Cu60ZnSiMn	Cu 670		58,5/ 61,5	zv.	- /0,2	0,15/ 0,4	0,05/ 0,25	-/-	-/-	870	900
Cu58SiMnNi	Cu 680	CU 303	56,0/ 60,0	zv.	0,8/ 1,1	0,1/ 0,2	0,2/ 0,5	0,2/ 0,8	-/-	870	890
Cu59ZnSnMn	Cu 681	CU 306	56,0/ 60,0	zv.	0,8/ 1,1	0,04/ 0,2	0,01/ 0,50	0,2/ 0,8	0,2/ 1,2	870	890
Cu48ZnNi10	Cu 773	CU 305	46,0/ 50,0	zv.	-/-	0,15/ 0,2	-/-	9,0/ 11,0	-/-	890	920

Atypickým druhom spájok sú sklené spájky. V tabuľke č. 5 je prehľad niekoľkých druhov týchto spájok od spoločnosti SCHOTT. Tabuľka obsahuje označenie spájok, ich teplotu tavenia a čas po ktorý si spájka v tekutom stave uchováva svoje vlastnosti. Podrobnejší popis sklenených spájok a ich rozdelenie nájdeme na str. 26.

Tabuľka č. 5: Sklené spájky firmy SCHOTT [8]

Typ spájky			Teplota		Hustota	tan δ	DK
	α (20/300)	Tg	tavenia	držanie		(1 MHz)	
	[10 ⁻⁶ /K ⁻¹]	[°C]	[°C]	[min]	[g/cm ³]	[10 ⁻⁴]	
Olovnaté							
G 017-002	3,65	545	700	15	3,25	37	-
G 018-223	3,14	325	430	15	6	-	-
G 018-224	4,35	324	430	15	6,1	-	-
G 018-225	4,7	328	430	15	5,61	-	-
G 018-226	6	327	440	15	5,5	-	-
G 018-227	7,2	317	440	15	-	-	-
G 018-228	7,6	311	400	15	5	-	-
G 018-229	8,7	310	410	15	5,4	-	-
G 017-339	4,7	325	450	15	4,3	178	8,4
G 017-712	5,3	375	510	10	-	-	-

G 017-393	6,5	320	425	15	4,8	15	11,6
G 017-340	7	315	420	15	4,8	14	13,4
8465	8,2	385	460	60	5,4	27	14,9
G 018-256	9,6	316	420	15	5,79	-	-
G 017-052	11,7	308	410	15	6,65	-	-
Bezolovnaté							
8470	10	440	680	60	-	-	-
G 018-249	10,11	365	500	15	-	-	-
G 018-255	9,36	396	520	15	-	-	-
G 018-250	7	380	540	15	-	-	-
Vysokoteplotné							
G 018-251	4,5	662	-	-	2,7	-	-
G 018-281	4,5	662	-	-	-	-	-

4. Aplikácia spájkovania

Veľa typov tvrdých spájkov, ktoré sú dnes používané, je každá svojou charakteristikou presne určená na ideálne spájanie rôznych kombinácií kovov. Toto je možné vďaka širokej škále výrobcov. Každá spájka však musí mať túto základnú charakteristiku:

Schopnosť zmáčať povrch spoja základného materiálu a vytvoriť silný a kvalitný spoj

Vhodnú charakteristiku tavenia a tečenia pri spájkovaní aby zaistila tok spájky kapilármi a vytvorila tak úplné zaplnenie spájkou

Stabilitu, aby zabránila predčasnému uvoľneniu častíc s menšou teplotou topenia zo spájky

Častice v spájke by mali mať slabú výparnosť aby veľmi nezaťažovali prostredie.

Mať schopnosť urobiť spoj s potrebnými požiadavkami ako sú napr. pevnosť, odolnosť proti korózii a elektrická vodivosť

V závislosti na požiadavkách mať schopnosť predchádzať alebo vytvárať interakcie medzi spájkou a základným materiálom. [4]

Spájkov pre tvrdé spájkovanie je veľké množstvo a skladajú sa z rôznych materiálov a sú určené pre rôzne aplikácie. Najpoužívanejšími sú:

4.1 Med' a medené zliatiny

Čistá med' je používaná výhradne na spájkovanie železných kovov. Roztavená med' je voľne tečúca a je často používaná v peciach z ochrannou atmosférou. Kvôli svojej charakteristike toku, med' prechádza spojmi s malými rozmermi medzery alebo rušením. Teploty spájkovania sú zvyčajne okolo 1100°C. Najčastejším spôsobom ohrevu je spájkovanie v peci ale niektoré zliatiny medi ako treba fosfor s bronzom sú používané pre spájkovanie plameňom. [4]

4.2 Hliník a hliníkové zliatiny

Hliníkové materiály a zliatiny hliníka môžu byť zaručene bez váhania spájkované spájkami zo zliatin hliníka. Najbežnejšou metódou zahrievania sú plameň, ponor a spájkovanie v peci vo vákuu. [4]

4.3 Nikel a zliatiny na báze niklu

Zliatiny základného materiálu zvyčajne spájkované týmito zliatinami sú séria 300 a 400 nerezovej ocele a zliatiny na báze niklu a kobaltu. Zliatiny na báze niklu si udržiavajú žiaruodolnosť do 980 °C a viac. To závisí od určitej zliatiny. Najčastejšou metódou ohrevu je spájkovanie v peci vo vákuu. [4]

4.4 Sklené spájky

Veľmi špecifickou skupinou špeciálnych skiel sú nízkotavné spájky na báze skla. Dá sa povedať, že sa jedná o druh "lepidiel", ktorými sa dá spájať medzi sebou sklo, keramika, oxidové materiály a kovy. Nízkotaviacich spájok je vyrábané niekoľko stoviek druhov podľa požadovaných vlastností. Hlavné uplatnenie majú v elektronike a mikroelektronike, používajú sa však aj v osvetľovacej technike, optike a rade ďalších technických oborov. Niektoré typy týchto spájok sú veľmi podobné sklárskym farbám.

Nízkotaviace spájky sú ľahko tavitelné sklá odvodené hlavne so sústav $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3$ alebo $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Obsahujú väčšinou veľké množstvo PbO (50 až 90 hmotn. %), ktoré umožňuje nízke teploty spájkovania. Spájky sa vyrábajú tavením sklárskeho kmeňa prevažne v téglikoch z platiny a jej zliatin (vzhľadom k ich mimoriadnej korozívnosti voči bežným sklárskym žiaromateriálom) a dodávajú sa najčastejšie vo forme jemného prášku. Podľa zloženia a konečných vlastností rozlišujeme tri základné typy týchto spájok:

Sklené spájky - tento typ spájok sa chová ako bežne používané technické sklá, odlišujú sa len relatívne nízkou dilatometrickou transformačnou teplotou (280 až 450 °C) a veľmi rýchlym poklesom viskozity s teplotou (veľmi krátke sklá). Ku spájkovaniu dochádza pri teplotách 400 až 600 °C, kedy viskozita roztavených spájok dosahuje hodnôt 10⁴ až 10⁶ dPa.s. Pri opakovanom zahrievaní sa sklené spájky roztavia, a preto sa spoje týmito spájkami nesmú znovu zahriať na teploty blížiac sa dilatometrickej transformačnej teplote spájky, pretože by došlo k ich uvoľneniu.

Skleno kryštalické spájky - tento typ spájok sa pri rýchlom zahriatí spočiatku chová ako sklené spájky, postupne však dochádza k ich kryštalizácii a vzniká pevná skleno kryštalická hmota s fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami odlišnými od pôvodného skla. Po tejto kryštalizácii môžu byť skleno kryštalické spájky znova zahriate na pôvodnú teplotu spájkovania bez nebezpečenstva deformácie spoja, ktorá by nastala pri použití nekryštalizujúcej sklenej spájke.

Kompozitné spájky - tento typ spájok predstavuje práškovú zmes sklenej alebo skleno kryštalickej spájky väčšinou s nízkou teplotou spájkovania a prídavkov s veľmi nízkou alebo zápornou teplotnou rozťažnosťou a definovanou zrnitosťou (eukryptit, kremenné sklo, zirkón atď.). Táto kombinácia materiálov dovoľuje zaistiť také konečné vlastnosti spájky, ktoré nie sú jednoduchými sklenými alebo skleno kryštalickými spájkami dosiahnuteľné. Sklená spájka v zmesi zaisťuje nízku teplotu zmočenia spojovaných povrchov a prídavok znižuje teplotnú rozťažnosť do tej miery, že výsledné kompozitné spájky môžu pri relatívne nízkych teplotách

spojovať aj materiály s nízkou teplotnou rozťažnosťou, ako je korundová keramika, Kovar alebo Simax. Bola vyvinutá i kompozitná spájka na kremenné sklo. Sklenené, skleno kryštalické a kompozitné spájky sú v súčasnej dobe dôležitou súčasťou dlhej rady elektronických a mikroelektronických výrobkov a ich vývoju je vo svete venovaná veľká pozornosť. [1]

4.5 Zliatiny striebra a iných vzácnych kovov

Zliatiny striebra sú pravdepodobne najmnohostrannejšie spájky a môžu byť použité na spájkovanie železných aj neželezných materiálov okrem hliníka a horčíka. Ich rozsah je medzi 600 a 870 °C. Zlaté a paládiové spájky sú používané na spájkovanie železa, niklu a zliatin na báze kobaltu keď je potrebná odolnosť proti korózii a sú predvídané vysoké teploty pri používaní. Najčastejším spôsobom zahrievania je spájkovanie v peciach avšak pri týchto zliatinách je možné spájkovať všetkými metódami [4]

4.6 Laserové spájkovanie

U laserového spájkovania platia všeobecné prednosti laserov známe napríklad už s technológiou zvarovania ako sú bezkontaktný pracovný proces s reguláciou predávanej energie a dobrá fokusácia lúča bez negatívneho tepelného zaťaženia okolitej zóny. Laser zohrieva spoj len v úzkej stope, kde ľahko dochádza ku vzniku potrebne vysokej teploty, ktorá dovoľuje používať pri tvrdom spájkovaní aj vysoko tavné spájky na báze medi, ktoré sú pri obdobných vlastnostiach podstatne lacnejšie ako inak často používané spájky na báze striebra. [5] Nefokusovaný plameň vo všeobecnosti nedáva dostatočnú hustotu energie potrebnú na dosiahnutie teploty akými sú bod tavenia alebo varu spájky. Z týchto príčin sa vyžaduje fokusovanie laserového plameňa. Veľmi dôležité vlastnosti laserového plameňa sú veľkosť stopy zväzku žiarenia a divergencia ktorá je definovaná:

$$Q = \frac{4 \cdot \lambda}{\pi \cdot dm} \quad [5]$$

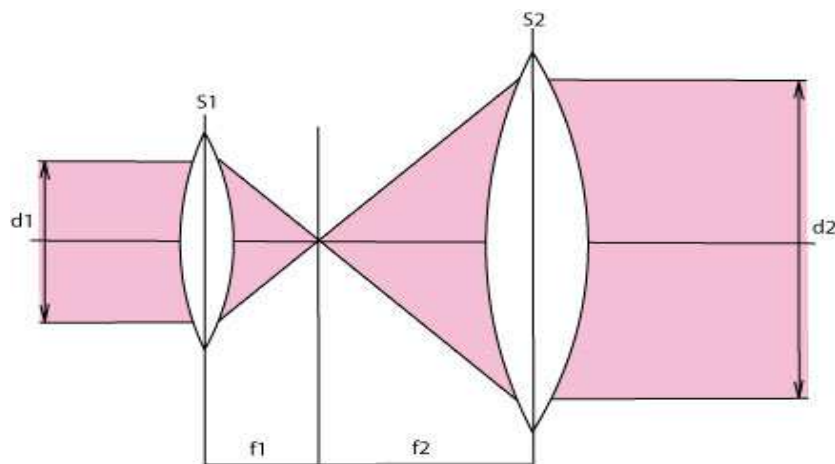
λ vlnová dĺžka

dm minimálny priemer plameňa meraný v mieste kde intenzita je $(1/e^2)$ – násobok intenzity na jeho ose

Priemer zfokusovanej stopy plameňa je daný vzťahom:

$$d = \frac{4 \cdot f \cdot \lambda}{\pi \cdot d_0} = f \cdot Q \quad [6]$$

Veľkosť plameňa je priamo úmerná ohniskovej vzdialenosti šošovky f , vlnovej dĺžke laseru λ a nepriamo úmerná priemeru plameňa d_0 . Pre žiarenie na danej vlnovej dĺžke je veľkosť stopy minimálna pri minimálnom pomere f/d_0 . Na dosiahnutie vysokej hustoty energie je nevyhnutné zabezpečiť malú rozbiehavosť žiarenia v uvažovanom zväzku. V praxi sa toto dosiahne rozširovacou optikou skladajúcou sa zo systému dvoch šošoviek tak ako vidíme na Obr. 9.



Obr. 9: Systém optiky laseru

Interakcia laserového žiarenia s materiálom (absorpcia a reflexia):

Po dopade zfokusovaného zväzku laserového plameňa a malú plochu sa časť žiarenia odrazí, časť prechádza materiálom a časť sa absorbuje. Absorbované žiarenie spôsobuje silné zohriatie materiálu, jeho tavenie a odparovanie.

Tavenie a odparovanie materiálu sprevádzajú rôzne efekty akými sú napr. tvorba ionizácie a plazmového oblaku nad materiálom, vytrhávajúce väčších častí materiálu a tlakové vlny, ktoré sa šíria materiálom. Oblasť ovplyvnená tepelnými efektmi sa môže v dôsledku absorpcie žiarenia líšiť od teoreticky predpovedaného priemeru stopy zväzku. Jeho veľkosť a výsledný efekt žiarenia je určený predovšetkým výkonom laseru, plošnou hustotou, výkonom žiarenia, časom pôsobenia žiarenia, optickými vlastnosťami materiálu, povrchovými podmienkami a tepelnými vlastnosťami. [5]

Používané lasery

Pre spájkovanie boli najprv používané pevnolátkové Nd:YAG lasery, pracujúce na vlnovej dĺžke 1064nm, kde pri danej vlnovej dĺžke dochádzalo k priaznivej absorpcii v materiáli spájky. Vedľa týchto laserov prichádzajú v poslednej dobe do obľuby aj výkonové diódové lasery s vyžarovaním na vlnovej dĺžke 780 až 980 nm, ktoré majú hneď niekoľko predností. Odlišný je profil lúča, kde oproti kruhovému profilu, typickému pre iné typy laserov, je tu skôr pravouhlý prierez z takmer konštantným rozdelením intenzity žiarenia. Ten technológii spájkovania dobre vyhovuje a správnom smerovaní lúča umožňuje predhrev spájkovaných miest ešte pred nanosením spájky a samotnú natavenú spájkku drží dlhšie v tekutom stave. Takýto proces je nielen rýchlejší, ale lepším pokrytím spájkovaných miest spájkou dochádza aj ku zvýšeniu kvality spoja. Pri porovnaní laserov pevnolátkových a diódových vyniká aj vysoká životnosť laserových diód, ktorá dosahuje až okolo 10 000 pracovných hodín oproti 500 až 1000 hodinám životnosti výbojok zatiaľ ešte väčšinou využívaných pri čerpaní pevnolátkových laserov. Vedľa niektorých technologických predností vykazujú výkonové diódové lasery pri spájkovaní aj nižšie prevádzkové náklady než Nd:YAG lasery a to podľa prieskumu robeného v SRN aj viac ako polovičné. Rýchlosť spájkovania je u oboch skupín laserov rovnaká a to približne 5 m.min⁻¹.

V poslednej dobe sa stále viac využíva technológia laserového spájkovania natvrdo, kde pevnosť spoja je podstatne vyššia než u mäkkého spájkovania. Tvrdé spájkovanie je vhodné aj pre spojovanie dielov so špeciálnou povrchovou úpravou. Vhodné je aj pre pozinkované plechy, kde spájkovanie nenarušuje povrchovú vrstvu, vzájomne možno spájkovať diely z Al a jeho zliatin alebo aj nesúrodé materiály typu ocel-Al. Aj napriek tomu sú metódy spájkovania s využitím laseru a obzvlášť spájkovanie natvrdo stále ešte len na počiatku svojho vývoja a postupne sa zberajú skúsenosti od jednotlivých užívateľov. V súčasnosti sa spájkovanie natvrdo používa napr. U karosárskych oceľových dielov niektorých značiek áut. Skúsenosti nemeckej firmy, ktorá sa na zavedení týchto metód podieľala, predpokladajú vhodnosť laserového spájkovania u moderného osobného vozidla v rozsahu švov asi o celkovej dĺžke až 6 m, pričom výhodnosť laserového spájkovania sa neprejavuje iba pri výrobe nových vozidiel, ale aj pri prípadných opravách a výmene dielov, kedy spájkovaný spoj oproti zvaranému umožňuje ľahšiu demontáž a aj montáž bez tepelného narušenia alebo deformácie okolia spoja. Čo sa týka rýchlosti spájkovania dosiahlo sa s použitím 4 kW diódových laserov pri spájkovaní strešných dielov auto karosérií s spájkou CuSi3 rýchlosti až 5 m.min⁻¹. Najčastejšou formou švov u spájkovania dielov karosérií býva kútový profil u preplátovaných dielov alebo lemový šev, ktoré dovoľujú väčšie rozmerové tolerancie u spojovaných dielov aj pri dodržovaní vzájomnej polohy čo je podstatné obzvlášť u automatizovanej výroby. Spoj nie je nutné po spájkovaní nijako ošetrovať a celý diel môže postúpiť k ďalšej operácii ako je napríklad záverečné lakovanie. [5]

4.6. Spájkovanie vo vákuu

Tvrde spájkovanie je proces, ktorý je veľmi vhodný pre vákuové pece kvôli ich metóde zahrievania a prevencii nechcenej oxidácie. Aby sme dosiahli dobrý spoj je potrebné, aby bol základný materiál čistý a ochránený od prebytočnej oxidácie v priebehu zahrievania. Takýto spoj môžeme dosiahnuť vo vákuových peciach, ktoré môžu byť ako aj horizontálne, tak aj vertikálne situované a majú veľa technických výhod. Proces napríklad dovoľuje spájkovanie zložitých, husto zhromaždených pasáži so slepými miestami, ktoré je takmer nemožné spájkovať a dostatočne vyčistiť pri použití techník s použitím taviva a na vzduchu. Vákuové pece pracujú pri tlaku $1,3 \times 10^{-4}$ až $1,3 \times 10^{-5}$ mbar pri ktorom sa z pece odstránia všetky plyny ktoré môžu nejakou narušiť tok spájkovacej zliatiny. Taktiež ochraňuje pred oxidovými filmami a podporuje zmáčanie a tok spájkovacej zliatiny. Riadne spracované súčiastky nie sú zaťažované čistením a leštením, tak ako je to časté u iných procesov. V peciach sa taktiež môžu spájkovať rozličné materiály ako hliník, železo, nerezová oceľ, oceľ, titánové zliatiny, zliatiny niklu, superzliatiny na báze kobaltu a to bez použitia najmenšieho množstva taviva. Touto metódou môžeme spájkovať ale aj drahé kovy, tantal, sklo alebo keramiku takže nemusíme používať len kovové materiály.

Každý materiál ale musí mať rozličné nastavenie pece. Napr. oxidy menej reaktívnych kovov ako železo, nikel a kobalt majú tendenciu sa rozpadnúť pri veľmi vysokom vákuu a teplote. Napriek tomu zliatiny ako nerezová oceľ, uhlíkové oceli a veľa nástrojovej oceli môžu byť úspešne spájkované vo vákuu na relatívne vysokých tlakoch.

Zliatiny na báze titánu a zirkónu môžu byť spájkované vo vákuu len s použitím špeciálne definovanej spájky, pretože majú tendenciu kontaminovať sa už pri malom množstve kyslíku alebo vlhkosti. Tieto zliatiny musia byť spájkované vo vysokom vákuu a čistej peci.

Hliník a veľa jeho zliatin tiež môžu byť spájkované vo vákuu, avšak hliníkové zliatiny musia byť vždy spájkované v predpísaných peciach navrhnutých pre extrémne rovnomernej teplote pri teplotách približne 650 C.

Spájkovanie vo vákuu prebieha v peciach, v ktorých sa dá takéto prostredie vytvoriť. Tieto pece avšak nedokážu iba vytvoriť vákuum, ale môžu v peci upraviť atmosféru ktorú potrebujeme pre danú operáciu. Najčastejšie používanými atmosférami sú dusíková a vodíková. [4]



Obr. 10: Vkladanie súčiastok do pece [4]

5.Praktická časť

V praktickej časti bakalárskej práce sa budem venovať testovaniu rôznych faktorov, ktoré môže ovplyvniť proces tvrdého spájkovania. Testovacím prvkom bude keramická doštička na ktorej bude nanosená tlstá vrstva a na túto sa následne spájkujú súčiastky vyrobené s kantalového pásika postriebrene tvrdými spájkami. Spájkovanie bude prebiehať pomocou kyslíkovodíkovej zväračky.

5.1 Kyslíkovodíková zväračka

Samotné spájkovanie bude vykonané pomocou kyslíkovodíkovej zväračky firmy Luigi dal Trozzo. Tento prístroj slúži a zváranie a spájkovanie malých a stredne veľkých predmetov, vyžadujúcich zvýšenú koncentráciu plameňa, bez toho aby boli okolité časti nadmerne tepelne zaťažované. Energia potrebná pre tavenie materiálu je získavaná zo spaľovania zmesi generovaného kyslíku a vodíku pri elektrolýze z destilovanej vody. Zmes plynov O₂ a H₂ je obohatená aromatizovaným alkoholom, ktorý vďaka pôsobeniu kyseliny bóritej znižuje výskyt oxidov v mieste spájkovania.

5.1.1 Zloženie prístroja

Prístroj sa skladá z nasledujúcich častí:

1. Podstavec
2. Veko s rukoväťami pre prenášanie
3. Booster zložený s:
 - 3a. Valec boosteru obsahujúci aromatizovaný alkohol a kyselinu boritú
 - 3b. Úchytka k jeho demontáži pri doplňovaní aromatizovaného alkoholu
 - 3c. Trubičky pre pripojenie gumových hadíc
4. Tryska, s ktorej vychádza horľavá zmes
5. Regulátor (potenciometer) prúdu vybavený otočným gombíkom a reguláciou
6. Hrdlo nádrže s elektrolytom
7. Hlavný vypínač s reguláciou
8. Svetelné kontrolky
9. Poistka

Na obr. 11 vidíme znázornenú kyslíkovodíkovú zväračku a jej viditeľné prvky. Podľa prvku 3c vidíme, že sa jedná o dvojtrubicovú zväračku. Na stanici môžu teda pracovať až 2 osoby naraz. V mojom prípade som na prístroji pracoval sám, preto druhá trubica obsahuje ventil, ktorý zabráni aby ňou unikala horľavá zmes.

Okrem popísaných viditeľných častí sa prístroj ďalej skladá s 2 transformátorov, usmerňovača, vane s elektrolytom, snímača tlaku, elektrického ventilu ovládaného snímačom tlaku, elektrického ventilátora a filtra proti spätnému plameňu.



Obr. 11: Kyslíkovodíková zväračka

Ovládací panel sa skladá z:

A: Hlavného vypínača – v pozícii O je vypnutý prívod plynu, v pozícii I je prístroj zapnutý.

B: Regulátora elektrického prúdu – napätie medzi elektródami je regulované otáčaním gombíka regulátora. Poloha MIN odpovedá napätiu medzi elektródami v hodnote 1,5 V, ktoré nie je schopné disociovať vodu, pokiaľ poloha MAX odpovedá napätiu 3 V.

C: Kontrolky výšky hladiny – žltá kontrolka MIN sa rozsvieti, pokiaľ hladina elektrolytu klesne pod minimálnu povolenú úroveň –C1-. Žltá kontrolka MAX sa rozsvieti, pokiaľ hladina elektrolytu stúpne nad maximálnu povolenú úroveň –C2-. Zelená kontrolka LIVELLO svieti, pokiaľ je hladina elektrolytu medzi minimálnou a maximálnou úrovňou –C3-.

D: Ampérmetra – ukazuje hodnoty prúdu.

Ukážka ovládacieho panelu s označením jeho častí je znázornená na obr. 12.



Obr. 12: Ovládací panel kyslíkovodíkovej zväračky

5.1.2 Popis pracoviska

Prístroj tohto typu musí spĺňať určité požiadavky na umiestnenie. Základom je prívod striedavého napätia s hodnotou 220V v blízkosti prístroja a pevná vodorovná podložka, na ktorú prístroj umiestnime. Ďalšou dôležitou podmienkou je postavenie prístroja tak, aby bol s každej strany aspoň 20 cm od prekážky, ktorá by mu bránila v chladení. Prístroj, ktorý som používal ja, bol umiestnený vo vetracom boxe, ako vidíme na obr. 13. Zváračka (A) spĺňala tak všetky podmienky pre umiestnenie prístroja a zároveň priestor spĺňal aj požiadavky pre ochranu zdravia používateľa, nakoľko sa pracovalo s vysoko toxickým tavivom. Preto musel byť priestor v okolí odvetrávaný. Na obr. 13 vidíme aj ďalšie veci potrebné k spájkovaniu, ako napríklad mikroskop s umelým prsvietením (B) potrebný pri spájkovaní malých častí, zapalovač (C), pinzeta na manipuláciu s materiálom (D) a tavivo so sklenou tyčinkou pre jeho nanášanie (E). Samotné spájkovanie prebiehalo na šamotovej podložke (F), ktorá bola na keramickej doske (G). Celý priestor bol vetraný odsávacím zariadením (H).



Obr. 13: Pracovisko pre tvrdé spájkovanie

5.1.3 Spustenie prístroja

Pred samotným spustením prístroja bolo potrebné najprv zapáliť a zaaretovať zapalovač tak aby horel stálym plameňom. Ako prvé bolo potrebné nasadiť hrot na hrdlo trysky zväračky tak ako vidíme na obr. 14. Veľkosť hrotu trysky by sme mali zvoliť podľa tabuľky č. 6, pričom ako dôležité parametre volíme výkon zväračky a počet použitých trubíc. V mojom prípade bola tryska vyrobená s keramiky a nebola priamo od dodávateľa. Jej veľkosť bola 0,7 mm.



Obr. 14: Hrot nasadený na tryske zvaračky

Po tomto úkone som mohol spustiť zvaračku pomocou ovládacieho panela (obr. 12). Prístroj som spustil pomocou hlavného vypínača tak že som ho prepol do polohy 1. Ďalším krokom bolo nastavenie pracovného prúdu otočením regulátora elektrického prúdu (B). Ten sme podľa veľkosti hrotu trysky podľa tabuľky č. 6 nastavili na 50 A. Na tryske som otočil ventil tak aby tryskou vychádzala horľavá zmes. Ak by som toto nevykonal, prístroj by mi po čase vypla tlaková poistka. Po niekoľkých sekundách, keď už zmes tryskou prechádzala v dostatočnom množstve som hrot priložil k plameňu zaaretovaného zapalovača. S takto zapálenou tryskou som sa mohol pustiť do samotnej práce.

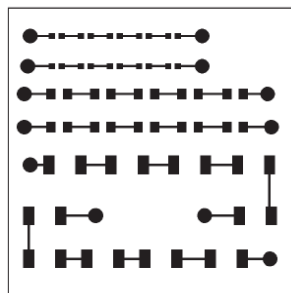
Tabuľka č. 6: Veľkosť trysky podľa pracovného výkonu

Veľkosť trysky [mm]	Pracovný prúd [A]	Počet použitých trubíc [ks]	Použitý typ zvaračky [trubice]
0,60	10 - 20	1	všetky
0,60	30 - 40	2	2, 4
0,60	50 - 60	3	4
0,60	50 - 60	4	4
0,70	30 - 40	1	všetky
0,70	50 - 80	2	2, 4
0,70	70 - 120	3	4
0,70	120 - 160	4	4
0,80	50 - 70	1	všetky
0,80	80 - 120	2	2, 4
0,80	130 - 180	3	4
0,80	190 - 240	4	4
1,00	80 - 120	1	2, 4
1,00	130 - 200	2	4
1,00	210 - 240	3	4
1,20	120 - 180	1	4
1,20	190 - 240	2	4
1,40	190 - 240	1	4

5.2 Testovanie tvrdého spájkovania

5.2.1 Spájkovanie SMD súčiastok

Pôvodný zámer testovania tvrdého spájkovania bolo spájkovanie odporov vo forme SMD čipov na keramickú doštičku, na ktorej bola natlačená tlstoovrstvá pasta s vodivým motívom. Na začiatku tohto pokusu bolo potrebné navrhnuť si vzor pre tlstoovrstvú pastu. Vzor som navrhoval pomocou návrhového prostredia Eagle. Veľkosti SMD čipov som volil 0804, 1206 a 2512. Zapájané boli v sérii po piatich a z každého druhu bolo na doštičke 10 kusov čipov. Navrhnutý motív testovacej štruktúry je na obr. 15.



Obr. 15: Návrh testovacej štruktúry

Motív som potom pomocou sieťotlače vodivou pastou natlačil na keramickú doštičku. Po zasúšení a vypálení doštičiek bolo všetko pripravené pre samotné spájkovanie. Toto však skončilo aj po niekoľkých pokusoch neúspechom pretože čipy sa pomocou spájky nespájali s pripravenými plochami na doštičkách a zároveň keramika pod vysokými teplotami, ktorými pôsobíme lokálne, praskala. Jediné čo sa podarilo bolo prichytenie striebornej spájky na keramiku.

Dôvodom prečo sa tento pokus nevydaril bolo, že materiály, ktoré som používal majú vlastnosti prispôbené špeciálne pre mäkké spájkovanie. Povrchová úprava kontaktov čipu nie je prispôbená pre tvrdé spájky a keramika nedokáže zniesť lokálne tepelné zaťaženie, ktoré je vyvíjané pri tvrdom spájkovaní a preto sa praská tak ako vidíme na obr. 16. Experimentálne som teda overil, že tvrdé spájkovanie je nevhodné pre povrchovú montáž SMD súčiastok.



Obr. 16: Prasknutá keramika po veľkom tepelnom zaťažení

5.2.2 Spájkovanie nízkych odporov

V druhej praktickej časti som sa venoval postriebreniu kantalového pásika a následného spájkovania pomocou mäkkej spájky. Týmto som sa snažil o výrobu nízkych odporov s povrchovou úpravou vhodnou na mäkké spájkovanie.

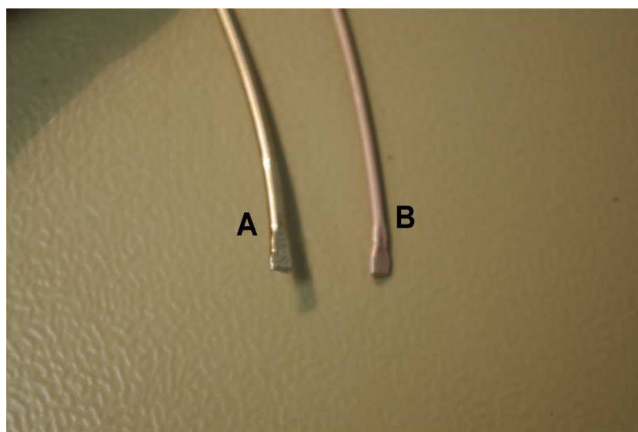
Na začiatku tejto úlohy bolo potrebné zohnať kantalový pásik vhodných rozmerov a následne ho pomocou klieští nastrihať na súčiastky rovnakých rozmerov a zároveň rozmerov vhodných pre spájkovanie na spájkovacie plošky keramiky pre čip rozmeru 2512. Kantalový pásik ktorý som používal ja mal šírku 3 mm a strihal som ho na súčiastky dlhé 6,5 mm. Takto zhotovená súčiastka sa však pomocou mäkkého spájkovania nedá spájkovať pretože jej povrchová úprava nie je pre tento druh spájkovania vhodná. Tieto súčiastky sa teda museli opatriť vrstvou, ktorá by takéto spájkovanie umožňovala a tú sme nanášali práve pomocou tvrdých spájok.

Používal som 2 druhy strieborných spájok od firmy Safina, s ktorých bola jedna mosadzná a druhá fosforová. Ich presné zloženie a označenie sa nachádza v tabuľke č. 8. Mosadzná spájka má jemne medené sfarbenie zatiaľ čo fosforová spájka má zlatistú farbu ako vidíme na obr. 17.

Tabuľka č. 8: Používané spájky

Spájka	Označenie	Technická norma	Zloženie [Hm %]				Pracovná teplota [°C]
			Ag	Cu	Zn	P	
Ag15CuP	B-Cu80AgP-635/700	ČSN 05 5660	15	80	-	5	710 - 800
Ag45CuZn	B-Ag45CuZn-680/740	ČSN 05 5670	45	30	25	-	750 - 790

Spájky boli vo forme drôtu, preto som ich pomocou klieští nastrihal na drobné zrnká max. 1 mm veľké. Keď už bolo všetko toto pripravené, začalo sa samotné spájkovanie.



Obr. 17: Spájky: A - fosforová, B - mosadzná

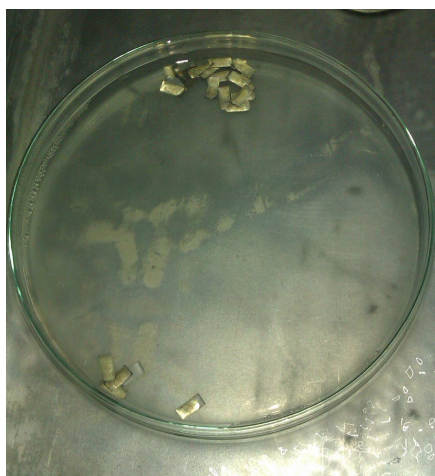
Na šamotovú podložku sme položili odstrihnutý kúsok kantalového pásika. Naniesli sme tavivo a pomocou plameňa zahriali súčiastku čím sa zároveň tavivo aktivovalo. Pôvodne som používal Borax vo forme prášku, avšak toto tavivo nie je vhodné pre spájkovanie s druhom spájok, ktoré som používal. Bolo treba zaobstarať tavivo, ktoré je pre tieto spájky určené a tým je AS-Pasta, ktorú špeciálne pre tieto spájky vyrába tiež firma Safina.

Jej zloženie nájdeme v tabuľke č. 9. Toto tavivo je vysoko toxické, preto sa museli používať ochranné prostriedky a celý priestor v okolí spájkovania musel byť odvetrávaný.

Tabuľka č. 9: Použité tavivo

Názov	AS-Pasta
Označenie	Tavidlo EN 1045 - FH12
Zloženie	[%]
Fluorid draselný	18,5
Fluorid amonný	6,5
Kyselina boritá	22,5
Tetraboritan disodný	23,5

Po nanesení správneho taviva sme opäť postupovali tak, že sme plameňom predhriali súčiastku a aktivovali sme tavivo. Tavivo bolo aktivované vtedy keď sa pasta najprv zoškvrčila a následne rozliala po povrchu. Vtedy som pomocou pinzety zobral malý kúsok spájky a priložil k povrchu súčiastky. Spájka sa roztavila a zmáčala povrch všade, kde bolo nanesené a aktivované tavivo. Po spájkovaní sa súčiastky dali očistiť od tavivových zvyškov do vody vo vibračnej nádobe ako vidíme na obr. 18.



Obr. 18: Čistenie vo vibračnej nádržke

Po očistení mali súčiastky povrchovú úpravu vhodnú pre mäkké spájkovanie. Povrch súčiastky vidíme na obr. 19. Hore vidíme súčiastku spájkovanú fosforovou spájkou a dole spájkou mosadznou.



Obr. 19: Povrch postriebrených a očistených súčiastok

Takto upravené súčiastky som následne spájkoval mäkkou spájkou na keramickú doštičku, ktorú som používal v úlohe č.1. Na spájkovanie som používal trubičkovú spájkou Sn60Pb40 s teplotou tavenia 183 °C a ako tavivo som používal tekuté tavivo 959T, ktoré som nanášal pomocou štetca. Spájkovanie prebiehalo na vyhrievanej doske, z dôvodu veľkého tepelného odvodu keramikou. Po spájkovaní som zmeral odpor spájkovaných súčiastok. Vyrábam som ale veľmi nízke odpory, preto sa musel tento odpor merať pomocou Kelvinovho mostíka. Ako zdroj prúdu som použili laboratórny zdroj Manson HSC 3600 a napätie som meral pomocou multimetra Unit UT 805-A. Na určenie rezistivity bolo potrebné zistiť aj parametre akými sú hrúbka a šírka súčiastky a vzdialenosť medzi hrotmi, ktorými som meral napätie. Hrúbku súčiastok som zmeral pomocou posuvného meradla, šírka bola rovnaká ako šírka kantalového pásika 3 mm a vzdialenosť hrotov som volil 1 mm. Rezistivitu som potom vypočítal podľa vzorca:

$$\rho = \frac{U}{I} \cdot \frac{S}{x} \quad [\mu\Omega \cdot m] \quad [7]$$

Kde: ρ – rezistivita
 U - napätie namerané medzi hrotmi
 I – prúd privádzaný na súčiastku zdrojom
 S – obsah prierezu súčiastky
 x – vzdialenosť medzi hrotmi

Všetky namerané aj vypočítané hodnoty sú v tabuľke č.10. Priemerná hodnota rezistivity súčiastky s mosadznou spájkou bola 0,4423 $\mu\Omega \cdot m$ a priemerná hodnota súčiastok s fosforovou spájkou bola 0,6457 $\mu\Omega \cdot m$.

Po zmeraní som zmeral na niekoľkých kusoch aj pevnosť spájkovanej súčiastky v strihu. Súčiastka dokáže odolať tlaku 5 až 9 kg. Tým sme zároveň overili, že mäkké spájky dokážu zmáčať takto upravené súčiastky, čo môžeme vidieť aj na obr. 20, kde môžeme vidieť zvyšky spájky na odtrhnutej súčiastke, ktoré nadifundovali do tvrdej spájky.

Tvrdom spájkovaním sa teda dajú vytvoriť súčiastky potrebné pre aplikácie, v ktorých potrebujeme veľmi nízky odpor.

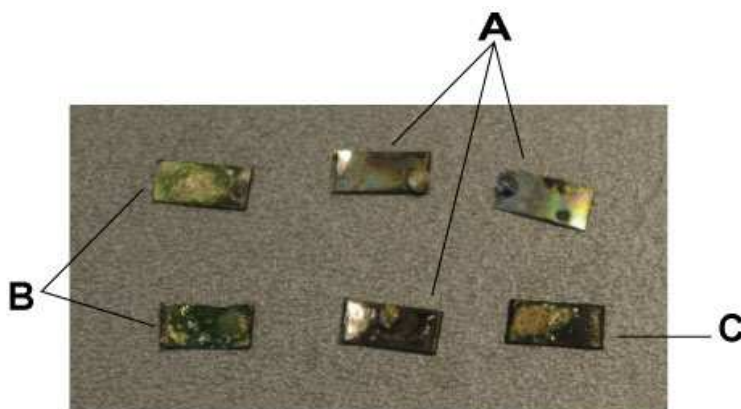


Obr. 20: Zvyšky mäkkej spájky na koncoch súčiastky

Tabuľka č. 10: Namerané a vypočítané hodnoty

Doska	Ag45CuZn						Ag15CuP					
	Vzorka	I	U	L	S	ρ	Vzorka	I	U	L	S	ρ
		[A]	[mV]	[mm]	[mm ²]	[$\mu\Omega \cdot m$]		[A]	[mV]	[mm]	[mm ²]	[$\mu\Omega \cdot m$]
1	1	1,4	0,34	0,44	1,32	0,3206	1	1,4	0,77	0,38	1,14	0,6270
	2	1,2	0,47	0,42	1,26	0,4935	2	1,4	0,54	0,38	1,14	0,4397
	3	1,4	0,61	0,35	1,05	0,4575	3	1,4	0,64	0,48	1,44	0,6583
	4	1,4	0,46	0,41	1,23	0,4041	4	1,4	0,92	0,33	0,99	0,6506
	5	1,4	0,56	0,32	0,96	0,3840	5	1,4	1,22	0,33	0,99	0,8627
	6	1,4	0,6	0,34	1,02	0,4371	6	1,4	0,77	0,38	1,14	0,6270
	7	1,4	0,54	0,34	1,02	0,3934	7	1,4	0,75	0,48	1,44	0,7714
	8	1,2	0,42	0,4	1,2	0,4200	8	1,4	0,79	0,37	1,11	0,6264
	9	1,3	0,46	0,35	1,05	0,3715	9	1,4	0,45	0,42	1,26	0,4050
	10	1,4	0,67	0,32	0,96	0,4594	10	1,4	1,08	0,29	0,87	0,6711
2	1	0,9	0,27	0,34	1,02	0,3060	1	1,4	0,77	0,4	1,2	0,6600
	2	1,3	0,54	0,31	0,93	0,3863	2	1,4	0,43	0,48	1,44	0,4423
	3	1,7	0,8	0,36	1,08	0,5082	3	1,4	0,49	0,48	1,44	0,5040
	4	1,8	1,3	0,32	0,96	0,6933	4	1,4	0,81	0,33	0,99	0,5728
	5	1,8	1,08	0,34	1,02	0,6120	5	1,4	1,41	0,3	0,9	0,9064
	6	1,4	0,67	0,34	1,02	0,4881	6	1,4	0,96	0,42	1,26	0,8640
	7	1,2	0,43	0,33	0,99	0,3548	7	1,4	0,78	0,48	1,44	0,8023
	8	0,9	0,35	0,31	0,93	0,3617	8	1,4	0,56	0,38	1,14	0,4560
	9	1,5	0,8	0,39	1,17	0,6240	9	1,4	0,85	0,37	1,11	0,6739
	10	1,2	0,4	0,37	1,11	0,3700	10	1,5	1,02	0,34	1,02	0,6936

Niektoré súčiastky avšak skončili ako požadované kazové kusy, ktorými som chcel demonštrovať chyby, vďaka ktorým sa povrch nezmača, alebo povrch zoxидуje. Najväčšou chybou, s ktorou sa pri tvrdom spájkovaní môžeme stretnúť je nenanesenie taviva. Súčiastku bez taviva nebolo možné zmačať roztavenou spájkou. Táto sa sformovala do tvaru malej guľôčky, ktorá sa prilepila na kantalový pásik, alebo ju plameň odúkol na šamotovú podložku. Ďalšou chybou bolo, keď sme nedostatočne aktivovali tavivo. Spájka sa potom nerozliala po celom povrchu súčiastky a vznikalo na nej aj veľa oxidov. Poslednou väčšou chybou bolo príliš veľké tepelné zaťaženie. Tavivo sa pri takomto spájkovaní odparilo, zmačanie povrchu bolo veľmi zlé a súčiastka obhorela. Ukážky zle spájkovaných súčiastok sú na obr. 21.



Obr. 21: Chybné spájkované súčiastky; A – bez taviva B – neaktivované tavivo C – veľké tepelné zaťaženie

6. Záver

Táto práca obsahuje nové poznatky a sú tu uvedené nové skúsenosti s tvrdým spájkovaním. Toto je v elektrotechnike dôležité pre niektoré aplikácie, v ktorých sa nedá použiť mäkkého spájkovania.

V prvej časti sa nachádza teoretický prehľad spájkovania s bližším zameraním na tvrdé spájkovanie. Nájde tu prehľad materiálov používaných v tvrdom spájkovaní, či už sa jedná o spájky, tavivá alebo materiály vhodné k tvrdému spájkovaniu. Materiály sú zároveň usporiadané v tabuľkách pre jednoduchší prehľad. Ďalej v tejto časti nájdeme popisy techník spájkovania a podrobný teoretický návod pre spájkovanie plameňom. Taktiež obsahuje popis špeciálnych metód používaných v tomto odvetví.

Druhou časťou tejto práce je využitie teoretických poznatkov a ich experimentálne overenie v praxi. Praktická časť je venovaná postriebreniu súčiastok, vďaka čomu vznikla povrchová úprava vhodná pre spájkovanie mäkkými spájkami. Vďaka tomuto sa dajú vyrobiť veľmi malé odpory ktoré je možné do obvodu pripevniť mäkkým spájkovaním. Ďalej táto časť overuje významné faktory ovplyvňujúce kvalitu spojov spájkovaných tvrdými spájkami.

Celkový prínos tejto práce je teda vytvorenie popisu metód spájkovania, vytvorenie návodu pre spájkovanie plameňom a jeho následné overenie v praxi pre niektoré aplikácie s popisom faktorov ovplyvňujúcich kvalitu tvrdo spájkovaného spoja. Osobným prínosom bolo získanie teoretických a praktických skúseností s tvrdým spájkovaním. V pokračovaní tejto práce by som sa chcel venovať zložitejším operáciám s tvrdým spájkovaním, napríklad spájkovaniu puzdier čipov pomocou sklenených spájok alebo spájkovanie vývodov na keramiku s vysokým teplotným zaťažením.

7. Použitá literatura

- [1] EXNAR, Petr. *Technika, technologie* [online]. Liberec : [s.n.], 2002 [cit. 2011-12-13]. Speciální nízkotající skla jako pájky pro spojování různých materiálů, s. . Dostupné z WWW: <<http://www.glassrevue.com/news.asp@nid=1453&cid=6.html>>.
- [2] Flux (metallurgy). In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 5.7.2006, last modified on 28.2.2004 [cit. 2011-12-14]. Dostupné z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_\(metallurgy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_(metallurgy))
- [3] Globalsecurity. SOLDERING, BRAZING, BRAZE WELDING, AND WEARFACING. In *14250_ch6.pdf* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2011-12-14]. Dostupné z WWW: <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/navy/nrtc/14250_ch6.pdf>.
- [4] HERRING, Daniel. Vacuum Applications : Brazing. In *Vacuum Applications (Part Two: Brazing)* . Illinois : [s.n.], 2011. s. 23.
- [5] HLAVATÝ, Ivo. Pájení laserem. *Svařování*. 2009, 93, s. 3-5. Dostupný také z WWW: <<http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-19-93laser.pdf>>.
- [6] MECHANICS : BRAZING TUTORIAL. In *Tutorial*. [s.l.] : [s.n.], 2008. s. 21.
- [7] Pájení. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 22.1.2006, last modified on 23.11.2011 [cit. 2011-12-14]. Dostupné z WWW: <[http:// http://cs.wikipedia.org/wiki/Pájení](http://http://cs.wikipedia.org/wiki/Pájení)>.
- [8] SCHOTT. *Schott.com* [online]. 2001 [cit. 2011-12-14]. Solder glasses. Dostupné z WWW: <http://www.us.schott.com/epackaging/english/glass/technical_powder/solder.html#>>.
- [9] SKRBK, Břetislav; VODIČKOVÁ, Věra; NOSEK, Vladimír. *PORUŠENÍ TVRDE PÁJENÉHO SPOJE FAILURE OF BRAZED JOINT*. Hradec nad Moravicí : [s.n.], 2004. 6 s
- [10] Solder. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 21.11.2001, last modified on 4.8.2005 [cit. 2011-12-14]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Solder>>.
- [11] STŘEDNÍ UMĚLECKOPRŮMYSLOVÁ ŠKOLA TURNOV. *Konstrukce strojů* [online]. Turnov : 2005, 10.8.2005 [cit. 2011-12-12]. SPR. Dostupné z WWW: <<http://konstrukce.webz.cz/sups/5tuko3.html>>.
- [12] SZENDIUCH, Ivan. Pájení : pájecí materiály, pájecí metody a další. In . Vestec : [s.n.], 18.10.2011. s. 138.