



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Normalizované zkoušky pájených spojů

Standardized Test of Brazed Joints

Bakalářská práce

Praha 2017

Studijní program: B2343 VÝROBA A EKONOMIKA VE STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Petr Vondrouš, Ph.D., IWE

Autor: Martin Kubát

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „**Normalizované zkoušky pájených spojů**“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petr Vondrouše, Ph.D., IWE s použitím literatury uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze

Martin Kubát

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Vondroušovi, Ph. D. za rady, připomínky a odborné vedení bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Tomáši Kramárovi, Ph. D. za pomoc s experimentem.

Anotace

Tématem, kterým se zabývá tato bakalářská práce, jsou normalizované zkoušky pájených spojů. Obsah práce je složen z teoretické a praktické části. Teoretická část se zabývá vysvětlením základních pojmů tvrdého a měkkého pájení, materiály, rozdělením pájek, tavidly, ohřevem při pájení plamenem. Dále obsahuje přehled norem vztahujících se k tvrdému pájení. Praktická část obsahuje postup při výrobě hrdla a pájení Cu trubek, která navazuje na experiment, praktickou zkoušku porovnání dvou nejpoužívanějších druhů pájek v chladírenské technice, provedenou v laboratořích strojní fakulty Českého vysokého učení technického v Praze. Při experimentu byly sledovány různé chyby a nedostatky pájených spojů v závislosti na použití určitého druhu pájky a jejich následné vyhodnocení.

Abstract

The bachelor thesis focuses on brazing in area of refrigeration devices and standardized tests of brazed joints. The thesis is composed from theoretical and practical part. Basic terms about soldering and brazing are explained, brazing and brazed materials, international norms are introduced. In experiment brazing of Cu tube is done using two widely used filler materials in area of refrigeration devices, Ag 5CuP and Ag 34Sn. The brazed joints are compared using standardized metallography test, welding defects are discovered and filler materials are evaluated.

Klíčová slova

tvrdé pájení, Ag 5CuP, Ag 34Sn, ČSN EN 1044

Keywords

soldering, brazing, Ag 5CuP, Ag 34Sn, ČSN EN 1044

1 Obsah

2	Úvod.....	7
2.1	Pájení v chladírenské technice.....	7
3	Teorie pájení	8
3.1	Význam pájení.....	8
3.2	Vysvětlení základních pojmů.....	8
3.3	Materiály	10
3.3.1	Obecné rozdělení pájených materiálů.....	10
3.3.2	Měděné trubky - nejpoužívanější materiál v chladírenské technice	10
3.4	Rozdělení pájek podle složení.....	11
3.5	Rozdělení pájek dle metody pájení	12
3.6	Konstrukce spoje	13
3.7	Tavidla pro pájení	14
3.8	Pájení stříbrnými pájkami	14
3.9	Pájení CuP pájkami	16
3.10	Pájení měkkými pájkami	16
4	Přehled norem pro tvrdé pájení.....	18
5	Pracovní postup při pájení	22
5.1	Řemeslná výroba hrdla	22
5.2	Příprava pájených ploch.....	23
5.3	Ohřev při pájení plamenem.....	24
5.4	Proces pájení naměkko a natvrdo	24
6	Praktická zkouška porovnání pájek.	27
7	Závěr.....	37
8	Seznam použité literatury:	38

Seznam obrázků

Obrázek 1. Teplotní rozmezí pájení naměkko a natvrdo	12
Obrázek 2. Jednoduchá sestava tvrdého pájení	13
Obrázek 3. Řez sestavou	13
Obrázek 4. Expandér	22
Obrázek 5. Odstranění otřepu	23
Obrázek 6. Očištění konce tvarovky	23
Obrázek 7. Očištění konce trubky	23
Obrázek 9. Neutrální plamen	24
Obrázek 10. Pájení natvrdo	25
Obrázek 11. Odstranění zbytků tavidla	26
Obrázek 12. Souprava s hořákem na směs propan-kyslík	26
Obrázek 13. Zkušební kus pájka Ag 34Sn	28
Obrázek 14. Zkušební kus pájka Ag 5CuP	28
Obrázek 15. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 5CuP pravá strana	29
Obrázek 16. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 5CuP levá strana	30
Obrázek 17. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 5CuP pravá strana	30
Obrázek 18. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 5CuP levá strana	31
Obrázek 19. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 34Sn pravá strana	31
Obrázek 20. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 34Sn levá strana	32
Obrázek 21. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 34Sn pravá strana	32
Obrázek 22. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 34Sn levá strana	33
Obrázek 23. Celkové pohledy na průřezy Cu trubek \varnothing 18 mm	33
Obrázek 24. Struktura pájky Ag 5CuP	34
Obrázek 25. Struktura pájky Ag 34Sn	34
Obrázek 26. Póry u jednotlivých pájek	35

Seznam tabulek

Tabulka 1. Optimální mezera pro různé typy pájek

Tabulka 2. Minimální hloubky zasunutí

Tabulka 3. Složení pájek

Tabulka 4. Rozměry pájecích mezer

Tabulka 5. Tabulka porovnání faktorů

2 Úvod

2.1 Pájení v chladírenské technice

V oboru chlazení (chladírenské technice) je spojování pomocí pájení nejlepší a nejvýhodnější technikou vyhovující požadavkům pevnosti a houževnatosti pájených spojů. U spojů zde dochází k velkému teplotnímu zatížení a rázům, musí být těsné a vydržet pracovní tlaky okolo 40 barů. Všechny části, ze kterých se skládá chladicí okruh (kondenzátor, výparník, kompresor) mají měděné vývody, tak aby se daly snadno spojit pomocí měděného potrubí s dalšími komponenty, jako jsou ventily (uzavírací, expanzní, redukční atd.) na tomto okruhu. Samotné části a komponenty chladicího okruhu jsou vyrobeny z neměděných materiálů (slitiny železa, hliníku, zinku atd.), ale vývody jsou vždy měděné. Veškeré další spojování se provádí pomocí měděných trubek, kolen, oblouků, spojek atd. Rozvody chlazené vody jsou také pospojovány mědí.

Veškeré spoje se u chladicího okruhu jsou pájeny natvrdo, rozvody chlazené nebo topné vody naměkko (v těchto okruzích je relativně malý pracovní tlak max. 3 bary). Rozvody vody pájené natvrdo jsou pracné a drahé, proto se v praxi nepoužívají.

Měď je nejpoužívanější materiál v klimatizačních zařízeních, nejen pro její výborné mechanické vlastnosti a vynikající tepelnou vodivost, ale také pro její antimikrobiální vlastnosti.

Cílem této práce je vytvoření určitého přehledu o problematice pájení v oboru chlazení a klimatizace s ohledem na normy a terminologii s tím spojenou. Dále popis rozdělení pájek, tavidel a materiálů používaných k různým způsobům pájení a chyby pájených spojů. Vytvoření přehledu norem pro tvrdé pájení a v těchto normách vyhledání všeho, čeho se týká zkoušek pájených spojů. Dalším krokem je příprava vzorků pájených spojů na experiment vytvořených dvěma nejpoužívanějšími typy pájek, a to pomocí postupů řemeslné výroby hrdla na Cu trubkách. Následně provést v praktické zkoušce pomocí metalografické – makroskopické kontroly provést porovnání na řezech vzorků: nedostatečné zatečení, zanesení vměstků, pórovitost, trhliny nebo jakékoliv jiné vady. Z tohoto pozorování určit, která z pájek je vhodnější pro pájení Cu trubek.

Letitý spor s kolegy o výhodnosti jmenovaných pájek se stal určitou motivací pro výběr tématu mé bakalářské práce. Doufám, že dosažené závěry pomohou vnést trochu světla do našeho sporu.

3 Teorie pájení

3.1 Význam pájení

Pájení patří k nejstarším způsobům spojování za tepla. Tato metoda byla používána již Egypťany v dobách před naším letopočtem a na naše území se dostala v druhé polovině devátého století prostřednictvím šperkařů. Rozsáhlé použití této metody, zejména v průmyslové výrobě, se datuje až od roku 1930.

Nejvýhodnější použití pájení je v sériové a hromadné výrobě drobných a středně velkých součástí, kde se vyžaduje vysoká produktivita práce. V úvahu přicházejí výrobky všeobecného a přesného strojírenství, elektrotechnického, chladírenského a spotřebního průmyslu. Výrobky jsou nejčastěji zhotoveny z tenkých plechů, profilů nebo trubek o tloušťkách menší než 2 mm. [4]

Od pájeného spoje se vyžaduje buď jen těsnost, elektrická vodivost, korozivzdornost, nebo mechanická pevnost při statickém, popř. dynamickém namáhání max. do 250 °C, pěkný povrchový vzhled spoje, ale především plynulý přechod. Pro pájení se používají měkké pájky cínové, tvrdé pájky z mědi a jejích slitin a pájky stříbrné. [4]

Pájení poskytuje v mnohých případech proti svařování klasickými metodami (plamen, el. oblouk) řadu technickoekonomických výhod, které vyplývají přímo z technologické podstaty. Při pájení nenastává v místě spoje roztavení základních spojovaných materiálů, ale pouze jejich ohřátí asi 50 °C nad likvidus použité pájky. Teplota pájení je podstatně nižší, než je teplota tavení spojovaných materiálů. Spojení nastane v důsledku vzájemné difuze a rozpustnosti pájky a základních materiálů. [4]

3.2 Vysvětlení základních pojmů

Pro pochopení pájení je nutné uvést základní pojmy spojené s touto tematikou. Jde o jevy probíhající při procesu pájení, které nastávají za určitých podmínek v samotném spoji spojovaných materiálů.

Pájení je způsob metalurgického spojování kovových součástí roztavenou pájkou, přičemž pájené plochy nejsou nataveny, ale jen smáčeny použitou pájkou. Výsledkem je homogenní, těsný, pevný a nerozebratelný spoj. Ke spojení dvou různorodých materiálů pomocí pájky dochází díky působení povrchového napětí.

Povrchové napětí

Je to jev, při kterém se povrch kapalin chová tak, jako by byl tvořen elastickou vrstvou, která se snaží stáhnout povrch kapaliny způsobem, aby měl při daném objemu

kapaliny co nejmenší obsah. Pokud by na kapalinu nepůsobily vnější síly, měla by kulový tvar. Díky působení sil povrchového napětí může existovat smáčivost a vzlínavost.

Smáčivost

Povrchové atomy základního materiálu a tekuté pájky se dostanou do tak malé vzdálenosti, že se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil. Pájky se při pájení taví, a proto se fyzikálně chovají jako tekutiny. Smáčivost je nevratné rozložení roztavené pájky na povrchu pájených materiálů. Dobrá smáčivost pájky je předpokladem pro vzlínání do pájené mezery a její vyplnění. [1]

Vzlínavost

Hladina tekutiny v mezeře je výše než okolní hladina. Tento jev se nazývá kapilární tlak. Jeho účinkem roztavená pájka vzlíná do mezery, a to i proti gravitaci. Rozdíl -h- bude tím větší, čím menší je velikost kapilárního tlaku. Velikost kapilárního tlaku závisí na mezeře, která se výrazně projevuje při mezerách menších než 0,5 mm, nastává tečení pájky v mezeře spoje všemi směry. Optimální mezery pro různé typy pájek jsou uvedeny v tab. 1. [1]

Tabulka 4. Optimální mezera pro různé typy pájek

Typ pájky	Mezera v mm
Měď	0,05
Mosaz	0,2
Alpaka /niklová mosaz/	0,2
Měď-fosfor-(stříbro)	0,2
Stříbrné pájky	0,05 - 0,1
Hliníkové pájky	0,2 - 0,4
Niklové pájky	0,2
Cínové pájky	0,1

Difúze

Vlivem smáčivosti tvoří pájka se základním materiálem slitinu. Vznik slitiny, kdy jeden z materiálů zůstane v pevném stavu, se nazývá difúzí. Přesouváním atomů pájky vzniká difúzní zóna, jejíž velikost ovlivňuje pevnost pájeného spoje. [1]

Pracovní teplota

Nejnižší teplota povrchu materiálu v místě pájení, při které se pájka smáčí, rozšiřuje se a může se spojit s materiálem. K tomu nemusí být pájka vždy plně roztavena, často tato pracovní teplota leží mezi teplotou solidu a liquidu, tedy v rozsahu teploty tavení pájky. Vždy je ovšem vyšší než teplota solidu pájky. [1]

3.3 Materiály

3.3.1 Obecné rozdělení pájených materiálů

Široký rozsah běžně používaných materiálů neumožňuje vytvořit seznam všech druhů, které je možné spojit pájením. Všeobecné kategorie jsou zde uvedené, ale je možné použít další méně obvyklé materiály. Jestliže je určen materiál, který není v seznamu, je nutné poradit se s výrobcem pájky. [12]

- a) Hliník a slitiny hliníku
- b) Pokovené materiály (pozinkované oceli)
- c) Měď a slitiny mědi
- d) Železné kovy (litina, slitiny legovaných i nelegovaných ocelí)
- e) Nikl a slitiny niklu
- f) Drahé kovy (zlato, platina)
- g) Žáruvzdorné kovy a jejich slitiny (žáruvzdorná ocel)
- h) Wolfram a molybden
- i) Nekovové materiály (keramika)

3.3.2 Měděné trubky - nejpoužívanější materiál v chladírenské technice

Vlastnosti měděných trubek

Materiál trubek je fosforem dezoxidovaná měď, která je podle normy ČSN EN 1057 v kvalitě Cu DHP. Trubka se zhotovuje z mědi o čistotě větší než 99,9 %. Bod tání je 1083 °C, tepelná vodivost je 339 W/m.K a hustota 8900 kg/m³.

Trubky se vyrábějí v různých druzích tvrdosti (měkká – F22, polotvrdá – F25, tvrdá – F29). Měděné trubky je možné ohýbat ručně nebo za pomoci ohýbačky. Měkké trubky se ohýbají ručně nebo ohýbačkou za studena. Polotvrdé trubky se ohýbají ohýbačkou za studena. Tvrdé trubky jsou za studena neohýbatelné.

3.4 Rozdělení pájek podle složení

Pájky byly rozděleny do sedmi skupin podle jejich složení, ale ne vždy podle převažujícího prvku.

V případech složených výrobků, jako například tavidlem obalované tyčky, pasty nebo plastické pásy, platí rozdělení pouze pro přidávaný kov, který tvoří součást výrobku. Teploty tavení uvedené v tabulkách se mění uvnitř povoleného rozmezí složení a považují se za přibližné. Jsou proto uvedené pouze pro informaci.

Skupiny pájek:

a)Al: Hliníkové a hořčíkové tvrdé pájky

b)Ag: Stříbrné tvrdé pájky

c)CuP: Tvrdé pájky měď-fosfor

d)Cu: Měděné tvrdé pájky – slitiny s vysokým obsahem mědi

Slitiny Cu-Zn

Speciální slitiny Cu

e)Ni: Niklové a kobaltové tvrdé pájky

f)Pd: Palladiové tvrdé pájky

g)Au: Tvrdé pájky se zlatem

Pájky se vyrábí v podobě:

-Pásy

-Tyčky: Pro tyčky jsou přednostní průměry 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3 mm a 5 mm a přednostní délky 500 mm a 1000 mm.

-Drátu

Povrch pájky musí být zbaven nečistot, které mohou nepříznivě ovlivnit proces pájení. U tyčinek pokrytých tavidlem musí povlak pevně přilnout k povrchu tyčky a nesmí se během manipulace a použití uvolňovat. Případné sváry musí být provedeny tak, aby nezasahovaly do rovnoměrného a nepřerušovaného posuvu svarového kovu při automatickém a poloautomatickém tvrdém pájení. [12]

3.5 Rozdělení pájek dle metody pájení

Metody pájení můžeme rozlišovat především podle způsobu ohřevu pájených součástí a teploty tání pájky.

Při pájení ohříváme pájené předměty, spoje a pájku proudem horkého plynu nebo plamenem. Pro měkké pájení stačí plamen zemního plynu se vzduchem, pro tvrdé pájení je nutný teplejší plamen.

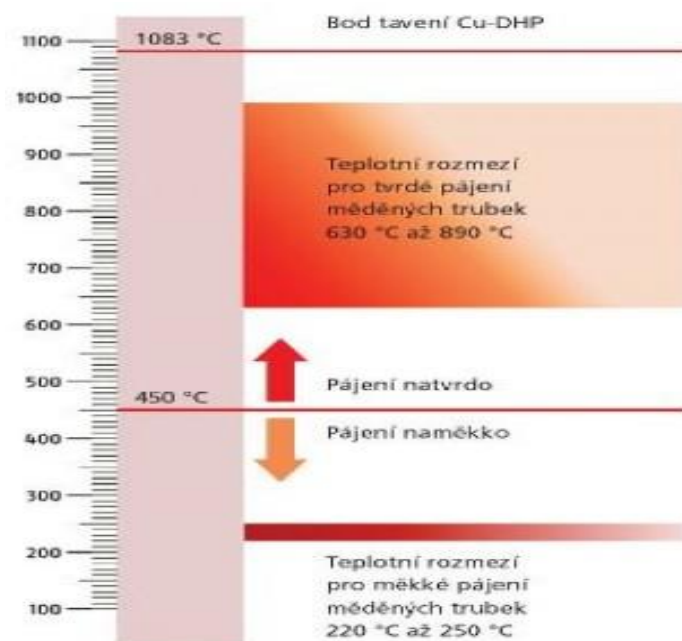
Měděné trubky se pájí ve dvou teplotních rozmezích. Rozdíl je v metodě pájení (natvrdo nebo naměkko) a použité pájky, která se liší teplotou liqidu (obr.1).

Pájení naměkko

- teplota liqidu pájky <450 °C, pájky na bázi Sn a Pb

Pájení natvrdo

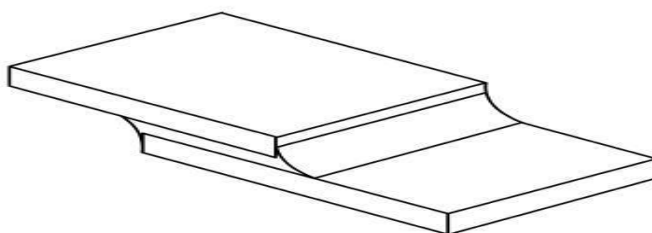
- teplota liqidu pájky >450 °C, pájky Al, Ag, Cu-P, CuZn.



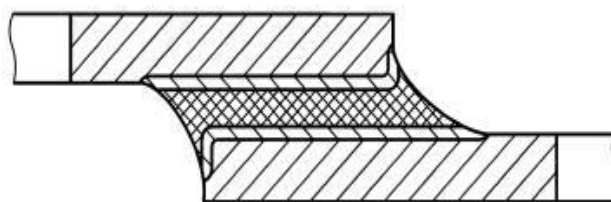
Obrázek 1. Teplotní rozmezí pájení naměkko a natvrdo [5]

3.6 Konstrukce spoje

Konstrukce spoje je důležitá pro konečnou pevnost pájených spojů. V zásadě jsou dva druhy spojů. Všeobecně se používají přeplátované spoje (obr. 2), protože se snadněji vyrábějí a nabízejí zvýšenou pevnost. Tupé spoje se používají tam, kde se snadno dosáhne odpovídající pevnost, např. kde mechanické vlastnosti základních materiálů jsou nižší než pájeného spoje, nebo kde tloušťka-délka přeplátovaného spoje je nežádoucí.







Obrázek 2 Jednoduchá sestava tvrdého pájení



Obrázek 3. Řez sestavou

Vysvětlivky

	Základní materiál
	Základní materiál ovlivněný pájením (tepelně ovlivněná zóna (HAZ))
	Difusní/přechodová fáze
	Pájka

Proces pájení závisí na kapilárním toku roztavené pájky mezi součástmi oddělených úzkou mezerou. Pájka má odlišné složení od pájených součástí (obr.3). Tento rozdíl složení může ovlivnit vlastnosti konstrukce v provozu, např. při zvýšené teplotě nebo při únavovém zatěžování. Mimo to vlastnosti základních materiálů součástí, které se mají spájet, mohou být ovlivněny cyklem pájení. [11]

Montážní mezera a pájecí mezera

Nejkritičtějším rysem při pájení je kontrola pájecí mezery, tj. mezery při teplotě pájení, mezi součástmi, které se mají pájet, a skrz kterou se musí kapilárním způsobem téci pájka. Existuje několik činitelů, které ovlivňují volbu pájecí mezery, a které se musí vzít v úvahu. Je důležité si uvědomit, že kde se spoje vytvářejí mezi odlišnými základními materiály, musí obvykle být jiná montážní mezera než pájecí mezera. [11]

Různé pájky vyžadují různé mezery dokonce i ve stejné skupině, avšak optimální mezera může být také ovlivněna řadou dalších parametrů spoje - základní materiál, geometrie spoje, povrchové opracování lícovaných ploch, použití tavidla nebo ochranné atmosféry, pečlivé řízení teploty pájení a rychlosti ohřevu, metoda pájení. [11]

3.7 Tavidla pro pájení

Tavidla jsou nekovové látky (silikáty, boridy, chloridy, fluoridy atd.) následujícími funkcemi:

- zabraňují vzniku oxidů na povrchu při ohřevu
- odstraňují oxidy v průběhu pájení a zabraňují jejich novému vzniku
- zmenšují povrchové napětí tekuté pájky a tím usnadňují její smáčivost

Tavidlo se v aktivním rozsahu teplot taví, roztéká po materiálu a dochází k redukci oxidů. V této době musí dojít k zatečení pájky, neboť po 3 – 4 minutách je již oxidy nasyceno a dále nepůsobí. U odolných oxidů, např. při pájení CrNi ocelí, tato doba může být i kratší, a je proto třeba dbát na použití vhodného tavidla a druhu ohřevu. Např. málo výkonný zdroj tepla neúměrně prodlužuje dobu ohřevu, naopak agresivní oxidační plamen značně zvyšuje množství oxidů. [4]

Funkce fosforu jako tavidla

Pájky pro tvrdé pájení mědi s obsahem fosforu (CuP) umožňují pájení bez použití tavidla. V pájce obsažený fosfor reaguje s atmosférickým kyslíkem na oxid fosforečný, ten s oxidy mědi na povrchu na metafosforečnan mědi. Metafosforečnan mědi je korozně nezávadný, proto se pájená místa nemusí následně opracovávat. [1]

3.8 Pájení stříbrnými pájkami

Stříbrné pájky jsou vhodné tehdy, pájí-li se materiály citlivé na vysokou teplotu, obtížně pájitelné materiály, při požadavku vysoké kapilarity, nárocích na houževnatost spoje a při použití plamene s nižší výhřevností. Pro ocel, měď a litinu se uplatní pájka s již 20 % stříbra, pro nerezavějící ocel a dále pro tvrdokovy pak pájka s min. 40 – 45 %. [1]

Důležité typy pájek dle EN 1044 (DIN 8513)

AG 206 (L-Ag 20)

Základní stříbrná pájka, max. shoda barvy při pájení mosazi.

AG 203 (L-Ag 44)

Vysoká pevnost, vysoká tažnost, velmi dobré vyplnění mezery.

AG 103 (L-Ag 55 Sn)

Nízká pájecí teplota, max. shoda barvy při pájení nerezavějících ocelí.

AG 104 (L-Ag 45 Sn)

Levnější alternativa k 55% pájce, není-li požadavek na vysokou tažnost a shodu barvy.

AG 502 (L-Ag49)

Ni a Mn legovaná pájka s výbornou smáčivostí na tvrdokovech.

AG 401 (L-Ag72)

Eutektická pájka pro pájení ve vakuu a pro vakuově těsné spoje.

Tavidla pro stříbrné pájky

FH 10 (F-SH1) obsahuje sloučeniny bóru a fluoridy. Redukuje oxidy při teplotě 550 – 800 °C, kde se pohybují pájecí teploty všech stříbrných pájek a CuP pájek.

FH 11 (F-SH1) obsahuje vedle sloučenin bóru a fluoridů také chloridy. Používá se pro pájení slitin mědi s obsahem hliníku – hliníkových bronzů a hliníkem legované mosazi.

FH 12 (F-SH1) je tmavá korozivní pasta pro obtížně pájitelné materiály jako nerezavějící oceli a tvrdokovy, teplota až 850 °C.

Stříbrné pájky bez kadmia

Neobsahují žádné lehce se odpařující látky, jsou šetrné k životnímu prostředí, neohrožují zdraví, nejsou citlivé na přehřátí a tvorbu pórů. Použití pro ocel včetně nerezavějící, měď a slitiny, mosazi, bronzů, nikl, temperované litiny a tvrdokovy. Vhodné pro chlazení až do -200 °C. [1]

3.9 Pájení CuP pájkami

Pro pájení čisté mědi se používají CuP pájky bez tavidla, pro legovanou měď a slitiny se používají tavidla stejná jako pro stříbrné pájky. Pro měď a slitiny mědi je ekonomickou alternativou ke stříbrným pájkám, při obsahu stříbra do 18 % odpovídají pájecí teplotě a kapilaritě stříbrné pájce s cca 40 % stříbra. Ohřev je zde navíc možný i WIG hořákem. Na nenáročné aplikace, topení atd. lze použít bez stříbra. Pro chlazení min. s 2 %, pro plynové instalace s min. 5 %.

S 15 % se používají pro náročné spoje zatížené tepelnými změnami, vibracemi a v elektrotechnice. Pájka s 18 % je eutektická, velmi řídké tekoucí a velmi kapilární. [1]

Dle obsahu stříbra jsou tyto pájky vhodné pro chlazení až do -70 °C. CuP pájky nesmí být použity k pájení železných a niklových materiálů a dále spojů, které jsou ve styku s médii obsahujícími síru. [1]

Důležité typy CuP pájek dle EN 1044 (DIN 8513)

CP 203 (L-CuP6)

tandardní pájka pro méně náročné spoje.

CP 104 (L-Ag5P)

Pájka s vyšší houževnatostí a nižší pájecí teplotou. Vhodná i pro rozvody plynu a pro chlazení.

CP 102 (L-Ag15P)

Pájka s vysokou houževnatostí a nižší pájecí teplotou. Pro náročné spoje s vibracemi, tepelnými změnami, chlazení až do -70 °C.

CP 101 (L-Ag18P)

Pájka s vysokou houževnatostí a nízkou pájecí teplotou. Eutektická slitina. Velmi řídké tekoucí s vysokou kapilaritou. Pro náročné spoje s vibracemi, tepelnými změnami, chlazení až do -70 °C. [1]

3.10 Pájení měkkými pájkami

Pájky na bázi Sn jsou vhodné, dle příslušného tavidla, pro naprostou většinu kovů. Výhodou je minimální ovlivnění pájeného materiálu a dobrá smáčivost. Omezujícím faktorem je zejména pevnost pájeného spoje.

Důležité typy pájek pro měkké pájení dle EN ISO 9453

Nr. 111 (S-Pb50Sn50)

Klempířské práce, okapy, svody.

Nr. 402 (S-Sn97Cu3)

Cu rozvody pitné vody, topenářské instalace, potravinářský průmysl, elektrotechnika.

Nr. 703 (S-Sn97Ag3)

Nerezavějící oceli, rozvody pro pitnou vodu, potravinářský průmysl, elektrotechnika.

Nr. 161 (S-Sn60Pb38Cu2)

Měděné materiály pájené zejména tyčovou páječkou – snižuje nalegovávání hrotu.

Nejpoužívanější typy tavidel dle EN 29454 (DIN 8511)

3.1.1. A (F-SW12)

Kapalina pro pájení mědi a slitin a legovaných i nelegovaných ocelí.

3.2.2. A (F-SW11)

Kapalina speciálně pro pozinkované oceli a nerezavějící oceli.

3.1.1. C (F-SW21)

Vysoce jakostní tavidlo – nekorozivní pasta pro měděné trubkové instalace dle DVGW.

1.1.2. C (F-SW26)

Aktivní nekorozivní pasta na pryskyřičné bázi pro pájení v elektrotechnice.

4 Přehled norem pro tvrdé pájení

Cílem této kapitoly je vytvořit přehled norem pro tvrdé pájení, který bude obsahovat jejich stručný obsah. Díky tomuto přehledu a jeho prostřednictvím (v konkrétních normách), pak můžeme vyhledat potřebné informace k provedení a vyhodnocení zkoušky pájených spojů v našem experimentu.

ČSN EN 1044 (05 5650) Tvrdé pájení - Přídavné kovy

Tato evropská norma specifikuje složení přídavných kovů - pájek určených k tvrdému pájení. Přídavné kovy byly rozděleny do osmi skupin, podle jejich složení, ale ne vždy podle převažujícího prvku.

V případě složených výrobků, jako např. tavidlem obalené tyčinky, pasty nebo plastické pásy, platí norma pouze pro přídavný kov, který tvoří součást výrobku. Interval tavení daný v tabulkách se mění uvnitř povoleného rozmezí složení a považuje se za přibližný. Proto netvoří součást specifikace a je dán pouze pro informaci. Technické dodací podmínky platí pro tvrdé pájky a výrobky obsahující tvrdou pájku s jinými složkami jako je tavidlo a/nebo pojivo.

ČSN EN 1045 (05 5706) Tvrdé pájení - Tavidla pro tvrdé pájení - Klasifikace a technické dodací podmínky

Tato norma uvádí klasifikaci tavidel používaných pro tvrdé pájení kovů a charakterizuje tato tavidla na základě jejich vlastností a použití, stanovuje technické dodací podmínky a zdravotní a bezpečnostní opatření.

ČSN EN 13133 (05 5905) Tvrdé pájení - Zkouška páječe

Tato evropská norma pro zkoušky páječe specifikuje základní požadavky postupu pájení, podmínky zkoušek, hodnocení a osvědčení. Tato norma podrobně nespécifikuje kritéria hodnocení výrobku, protože rozsah aplikace tvrdého pájení je velký. Kritéria hodnocení musí být především v souladu s požadavky smlouvy. Speciální požadavky pro jednotlivá odvětví průmyslu budou v případě nezbytnosti podrobně specifikovány v příslušné výrobové normě. Doporučený obsah protokolu osvědčení o zkoušce páječe je uveden v příloze.

Při zkoušce páječe je vyžadováno, aby páječ předvedl praktické zkušenosti a znalosti postupu pájení, materiálů a bezpečnostních požadavků pro dané oprávnění a postup pájení.

Tato norma se používá pro ruční pájení plamenem, pro zkoušky páječů, jejichž zručnost má přímý vliv na konečnou jakost pájeného spoje. Tato norma není určena pro zkoušky páječů, u nichž není vyžadována zručnost při manipulaci, a pokud není zkouška nezbytná.

Norma se netýká páječů, kteří pracují na pracovišti, kde jim bylo poskytnuto speciální profesionální vzdělání a zkoušky v příslušné oblasti zahrnující proces pájení.

Osvědčení o zkoušce páječe je vydáváno výhradně v odpovědnosti zkušebního orgánu nebo zkušební organizace.

ČSN EN 13134 (05 5906) Tvrdé pájení - Zkouška postupu pájení

Tato evropská norma specifikuje základní pravidla (zkušební postupy, zkušební vzorky) pro zkoušku a schválení postupu pájení pro všechny materiály, kovy i nekovy. Speciální požadavky pro jednotlivá odvětví průmyslu budou v případě nezbytnosti podrobně specifikovány v příslušné výrobní normě. Doporučený protokol o schválení postupu pájení (BPAR) - Osvědčení postupu pájení.

ČSN EN ISO 18279 (05 5911) Tvrdé pájení - Vady v pájených spojkách

Tato evropská norma popisuje klasifikaci vad, které se mohou vyskytnout v spojkách pájených natvrdo. Navíc je zde uvedena směrnice pro stupně jakosti a jsou popsány navržené mezní hodnoty vad. Pro požadavky nepokryté touto normou musí být uvedeny odkazy na jiné prameny, např. zákonné předpisy, zásady pro praktické použití a technické dodací podmínky. Nejsou podány žádné informace, jak mají být vady hodnoceny v jednotlivých případech, protože to závisí na požadavcích pro určitý pájený spoj. Tyto vady nejsou vždy zjistitelné použitím pouze nedestruktivního zkoušení. Norma se zabývá pouze vadami, které se mohou vyskytnout v souvislosti s pájením bez vlivu jakéhokoliv dodatečného provozního zatížení. Zabývá se pouze typem, tvarem a polohou těchto vad, nezabývá se podmínkami jejich výskytu nebo příčinami. Pro požadavky na pájené spoje, které jsou závažné a podstatné pro určitou funkci komponenty, musí být proveden odkaz na odpovídající dokumentaci, např. výrobní dokumentaci nebo postupové listy.

ČSN EN ISO 17672 (05 5650) Tvrdé pájení - Pájky

Tato evropská norma specifikuje složení přídavných kovů - pájek určených k tvrdému pájení. Přídavné kovy byly rozděleny do osmi skupin, podle jejich složení, ale ne vždy podle převažujícího prvku.

V případě složených výrobků, jako např. tavidlem obalené tyčinky, pasty nebo plastické pásky, platí norma pouze pro přídavný kov, který tvoří součást výrobku. Interval tavení daný v tabulkách se mění uvnitř povoleného rozmezí složení a považuje se za přibližný. Proto netvoří součást specifikace a je dán pouze pro informaci. Technické dodací podmínky platí pro tvrdé pájky a výrobky obsahující tvrdou pájku s jinými složkami jako je tavidlo a/nebo pojivo.

ČSN EN 14324 (05 5901) Tvrdé pájení – Směrnice pro aplikaci pájených spojů

Tento dokument podává směrnici na použití tvrdého pájení a výrobu spojů pájených natvrdo. Tato norma dává úvod do pájení a základ pro pochopení a aplikaci pájení pro různá použití. V důsledku široké oblasti použití pájení norma nedává podrobnou směrnici, která může být specifická pro jednotlivé výrobky. Pro takovéto informace musí být proveden odkaz na vhodnou výrobovou normu, a pro aplikace, kde není, musí být odpovídající kritéria jasně stanovena před prováděním pájení.

Tato norma zahrnuje konstrukce spoje a montáž, materiálové aspekty, jak pro základní materiály a pájky, tak i postup pájení a proměnné postupu, zpracování před a po pájení a kontrolu.

ČSN EN 12797 (05 5920) Tvrdé pájení - Destruktivní zkoušky pájených spojů

Tato evropská norma popisuje postupy destruktivních zkoušek a typy zkušebních kusů nutných k provedení zkoušek na pájených spojích.

Obvykle se na pájené spoje požaduje určitá úroveň pevnosti, ale nemusí být výslovně stanovena a má často menší význam, než jiná kritéria, např. těsnost. Z toho plyne, že zkouška na měření pevnosti nemusí být důležitá pro hodnocení spoje pro určitou aplikaci, kde má pevnost menší význam. Tato situace může být ještě komplikovanější, protože pájené spoje jsou téměř vždy projektovány se zřetelem na zatížení ve smyku, a rozměry spoje ovlivňují smykovou pevnost v mnohem větším měřítku než pevnost v tahu.

Popsané metody destruktivních zkoušek jsou následující:

- a) zkouška smykem
- b) zkouška tahem
- c) metalografická kontrola
- d) odlupovací zkoušky
- f) zkoušky lámavosti

Výsledky zkoušek se používají:

- 1) pro stanovení základních dat týkajících se působení pájek
- 2) pro nalezení optimálního projektu pájení (včetně mezer) a postupu pájení
- 3) pro porovnání výrobních výsledků s výsledky dosaženými ve výzkumu

Všeobecné principy:

Při prověřování spojů destruktivními zkouškami mohou být zjištěny vady. Ty mohou snížit jakost nebo charakteristiky provedení spojů nebo pájené sestavy.

Destruktivní zkoušky mohou být potřebné pro stanovení účinků pájecího procesu nebo jakéhokoliv dalšího tepelného zpracování na vlastnosti spoje (tj. základní materiál, pájka, vnitřní napětí).

Většina pájených spojů se projektuje v uspořádání s přeplátovanými díly komponent. V důsledku kapilární povahy pájených spojů se většina vad vyskytuje v oblasti pájení s hlavními osami rovnoběžnými s rovinou pájení. Jakékoliv další vady jsou pravděpodobně způsobeny napětím v pájce nebo základních materiálech nebo byly již přítomny před pájením. Podává se výčet tipů vad, které se mohou zjistit při použití destruktivních zkoušek.

- a) Nedostatečné zatečení ve vrstvě a do kapiláry
- b) Podélné trhliny
- c) Příčné trhliny
- d) Pórovitost a vměsky
- e) Eroze
- f) Nadměrné tečení pájky
- g) Nesprávné sestavení dílů

ČSN EN 12799 (05 5922) Tvrdé pájení - Nedestruktivní zkoušení pájených spojů

Tato evropská norma popisuje postupy nedestruktivních zkoušek a typy zkušebních kusů potřebných pro provedení zkoušek na pájených spojkách.

Popsané metody nedestruktivního zkoušení jsou následující:

- a) vizuální kontrola
- b) zkoušení ultrazvukem
- c) radiografické zkoušení
- d) kapilární zkoušení
- e) přetlakové zkoušení
- f) termografie

Pájené spoje, které se používají pro tyto zkoušky, mohou být buď zkušební vzorky vyrobené pro získání údajů o projektovaných pájených spojích, nebo vyrobené jako součást schvalovací zkoušky postupu.

5 Pracovní postup při pájení

5.1 Řemeslná výroba hrdla

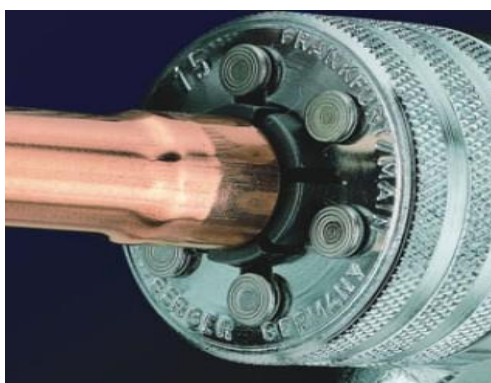
Ke zhotovení hrdla lze použít rozpínací nástroj - expandér. U rozpínacího nástroje je pro každý průměr trubky vhodný nástavec. Potřebná hloubka zasunutí závisí na vnějším průměru trubky.

Při pájení natvrdo činí minimální hloubka zasunutí trojnásobek tloušťky stěny, minimálně však 5 mm.

Pro pájení naměkko a natvrdo jsou hloubky zasunutí vytvořené expandérem uvedeny v tabulce 2. Při výrobě hrdla je tato velikost maximální hloubkou hrdla. Expandér (obrázek 4) vytvoří mnohem větší hloubku zasunutí než je minimální hloubka.

Tabulka 2. Hloubky zasunutí vytvořené expandérem

Průměr	Hloubka zasunutí (mm)
12	10
15	12
18	14
22	17
28	20
35	25
42	29
54	34



Obrázek 4. Expandér [5]

Pracovní postup při výrobě hrdla:

- Tyčové trubky před hrdlovým spojením žiháme
- Expandérem rozšíříme konec trubky
- Místo spojení pájíme

5.2 Příprava pájených ploch

Příprava pájených ploch, především jejich čistota, je velice důležitou součástí obou metod pájení. Má velký vliv na smáčivost při teplotě pájení a tím na celou kvalitu spoje.



Obrázek 5. Odstranění otřepu [5]

Konec trubky uvnitř a vně se zbaví, otřepu, viz obr. 5, a u měkkých měděných trubek se provede kalibrace. Je to důležitý předpoklad pro správnou kapilární pájecí spáru. Jestliže se měkké trubky nekalibrují, trubka nemá správný tvar vůči tvarovce. Pokusíme-li se pak trubku a tvarovku zasunout do sebe, nemá mezera mezi trubkou a tvarovkou správnou hodnotu kapilární mezery a nedojde ke správnému vyplnění pájeného spoje pájkou. [5]



Obrázek 6. Očištění konce tvarovky [5]



Obrázek 7. Očištění konce trubky [5]

Konec trubky se zvnějšku a tvarovka zevnitř mechanicky očistí. K čištění jsou vhodná nekovová čisticí rouna viz obr.7, jemná ocelová vata, smirkové plátno (zrnitost 240 nebo jemnější) anebo prstencové či kulaté kartáče s drátěnými štětinami. Jestliže se konec trubky a tvarovka mechanicky neočistí, spoj nelze úspěšně provést.

5.3 Ohřev při pájení plamenem

Nejběžnějším druhem ohřevu při pájení je plamen. Typ plynů a nastavení plamene záleží na potřebné pájecí teplotě, typu pájky, typu pájeného materiálu a tloušťce stěny. Málo výkonný zdroj tepla neúměrně prodlužuje dobu ohřevu, vznikají další a další oxidy a přesycené tavidlo ztratí účinnost. Oxidaci působí i plamen s přebytkem kyslíku a zatěžuje navíc páječe hlukem.

Pro tvrdé pájení je obvyklý ohřev kyslíko-acetylenovým plamenem, zejména pak u pájek s vyšší pracovní teplotou (mosaz, pájky s nízkým obsahem stříbra) a při velké tloušťce. Plamen neutrální obr.8, nebo s mírným přebytkem acetylenu. Výjimkou je výplňové pájení pozinkovaných rozvodů, kdy se nastavuje plamen s mírným přebytkem kyslíku. Pro tvrdé hliníkové pájky je též používán plamen s mírným přebytkem acetylenu, vhodnější je pak ale pájení směsí propan-kyslík nebo propan-butan. Stejně směsi jsou pak vhodné i pro měkké pájení. [1]



Obrázek 8. Neutrální plamen [5]

Teplota plamene

Kyslík – Acetylen cca 3 200 °C

Kyslík – Propan cca 2 500 °C

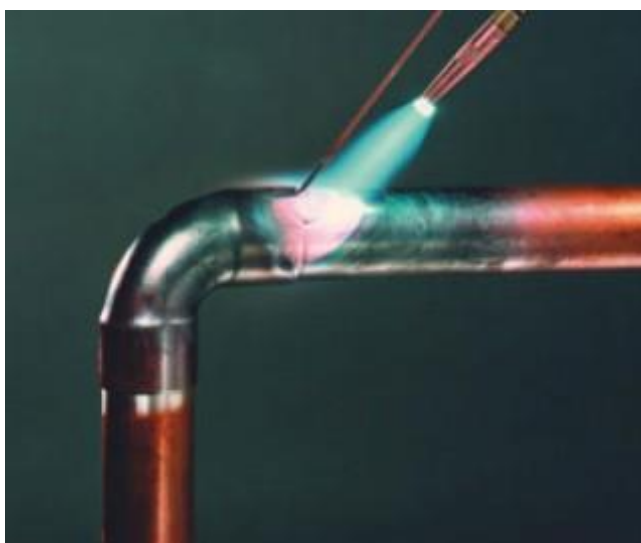
5.4 Proces pájení naměkko a natvrdo

Tavidlem se potře pouze konec trubky. Tak se tavidlo nedostane dovnitř trubky. Aby bylo pájené místo opticky čisté, doporučuje se odstranit po nasunutí trubky a tvarovky přebytečné tavidlo resp. pájecí pastu (které zůstane na trubce). Při tvrdém pájení spoje měď-měď pájkou obsahující fosfor není tavidlo nutné.

Při zapálení plamene se nesmějí v jeho blízkosti nacházet snadno vznětlivé předměty a místnost by se měla větrat.

Plamen hořáku se neměl zapalovat běžnými zapalovači, ale speciálním kamínkovým zapalovačem. U mnohých hořáků je přímo v tělese hořáku zabudovaný piezoelektrický zapalovač.

Pro pájení naměkko se intenzita plamene přizpůsobí průměru trubky. Při pájení natvrdo existují různě velké hořákové vložky, které se volí podle průměru trubky. K pájení natvrdo se kvůli lepšímu rozdělení tepla používají víceotvorové popř. skupinové hořáky (žádné svařovací trysky). Pájí se neutrálně nastaveným plamenem. [5]



Obrázek 9. Pájení natvrdo [5]

Očištěný a tavidlem natřený konec trubky se nasune až na doraz do tvarovky a rovnoměrně zahřívá rozptýleným plamenem. Při příliš velkém zahřátí tavicí přísada shoří a pak nemůže smáčet, ale ukapává.

Při pájení natvrdo se správná pracovní teplota dosáhne při tmavočerveném žáru.

Pájka se přiloží na pájené místo do rozptýleného plamene a odtavuje se vlivem plamene, přechází do kapilární spáry, až ji zcela vyplní.

Při tvrdém pájení trubek velkých průměrů se postupuje po obvodu a pájka se roztavuje v zónách. [5]



Obrázek 10. Odstranění zbytků tavidla [5]

Na závěr se místo spojení očistí vlhkým hadrem, aby se odstranily zbytky tavidla. Zbytky tavidla k tvrdému pájení lze rovněž odstranit drátěným kartáčem. V instalacích vody se zbytky tavidla na vnitřní straně trubek odstraňují vypláchnutím celého potrubního systému. [5]

Kvůli vyšším pracovním teplotám se při pájení natvrdo používají jiné tepelné zdroje než při měkkém pájení:

- Souprava s víceotvorovým hořákem na směs acetylen-kyslík
- Souprava s hořákem na směs propan-kyslík obr. 10



Obrázek 11. Souprava s hořákem na směs propan-kyslík [5]

6 Praktická zkouška porovnání pájek.

Cílem praktické zkoušky je porovnat pomocí různých faktorů pájky Ag 34Sn a Ag 5CuP. Za tímto účelem provést metalografickou – makroskopickou kontrolu porovnání na řezech vzorků pájených sestav se zaměřením na nedostatečné zatečení, zanesení vměstků, pórovitost, trhliny nebo jakékoliv jiné vady. Z tohoto porovnání určit, která z pájek je vhodnější pro pájení Cu trubek.

Metalografická kontrola

Kvalita pájených spojů a základní informace o reakcích materiálu byly zjišťovány makroskopickou a mikroskopickou kontrolou pájeného spoje. Pro tento účel byly vyrobeny zkušební kusy speciálně určené pro metalografické vyhodnocení, tj. zkušební kusy se standardní mezerou určenou expandérem. Tato technika podává pouze informace o povrchu řezů, které jsou hodnoceny.

Příprava zkušebních vzorků

Zvláštní péče byla věnována řezání, aby se zajistilo, že se nezmění struktura. Řezy a jejich relativní polohy byly onačeny a v těchto místech provedeny (na každém pájeném spoji dva).

Řezy se musely brousit a leštit pro dosažení povrchu požadovaného pro makroskopickou a mikroskopickou kontrolu. Řezy pro naši kontrolu musely být ploché a bez rýh, děr a skvrn tak, aby se mohly pozorovat s nebo bez leptání.

Postup:

Byl použit postup pro makroskopická kontrola. Řez se hodnotil při různých zvětšení. Na řezu se sledovali nedostatečná zatečení, zanesení vměstků, pórovitost, trhliny nebo jakékoliv jiné vady.

Výsledky zkoušky a údaje o zkoušce

Umístění na pájené sestavě:

Tyto zkušební kusy (obrázek 12 a 13) byly vyrobeny čistě pro tento experiment, ale stejné spoje o této velikosti jsou nejvíce a nejčastěji používány v oboru chlazení a klimatizace, kde se používají k propojení jednotlivých částí chladicího okruhu u chladících zařízení.



Obrázek 12. Zkušební kus pájka Ag 34Sn



Obrázek 13. Zkušební kus pájka Ag 5CuP

Pájka pro tvrdé pájení:

Byly použity dva druhy pájky Ag 34Sn a Ag 5CuP se složením uvedeným v tabulce 3.

Tabulka 5. Složení pájek

Pájka	Složení v %					Interval tavení (°C)	Standardní specifikace	
	Ag	Cu	Zn	Sn	P		BS 1835	DIN 8513
Ag 34Sn	34	36	27	2,25		630-730		L-Ag34Sn
Ag 5CuP	5	89			6	644-815	CP 4	L-Ag 5P

Základní materiál:

Základním materiálem byly měděné trubky pro chladírenskou a klimatizační techniku o \varnothing 12 mm a \varnothing 18 mm, chemické složení dle EN 1652(Cu min.99,90%, P 0,015 - 0,040%).

Podrobnosti postupu pájení:

Na vzorcích byla nejprve vyrobena hrdla podle postupu, který je popsán v kapitole 5.1 Řemeslná výroba hrdla, pomocí rozpínacího nástroje - expandéru. Byly použity vhodné nástavce pro \varnothing 12 mm a \varnothing 18 mm, které vytvořily hloubku zasunutí 10 mm a 14 mm. Tyto expandované konce trubek byly žíhány naměkko (u menšího průměru je tato úprava nutná, jinak hrdlo při roztahování praskne).

U tvrdého pájení bylo postupováno dle kapitol 5.2 až 5.4. Po očištění pájených ploch nebylo použito žádné nátěrové tavidlo (pájka Ag 34Sn má tavidlo obsaženo v obalu pájky – kadmium, a pájka Ag 5CuP obsahuje tavidlo v podobě fosforu). Při sestavování sestavy se konce trubek nasunuly až na doraz hloubky hrdla a rovnoměrným zahříváním trubky byla pájka nanášena do pájených spojů rozptýleným plamenem při tmavočerveném žáru. Pozornost byla kladena na dostatečné zahřátí – při velkém zahřátí tavicí přísada může shořet a pájka nemůže smáčet, ukapává.

Pro pájení natvrdo byla použita souprava s hořákem na směs propan-kyslík.

Počet zkušebních řezů:

Byly provedeny čtyři zkušební řezy u každého pájeného spoje jeden, na obou průměrech byly použity oba druhy pájky.

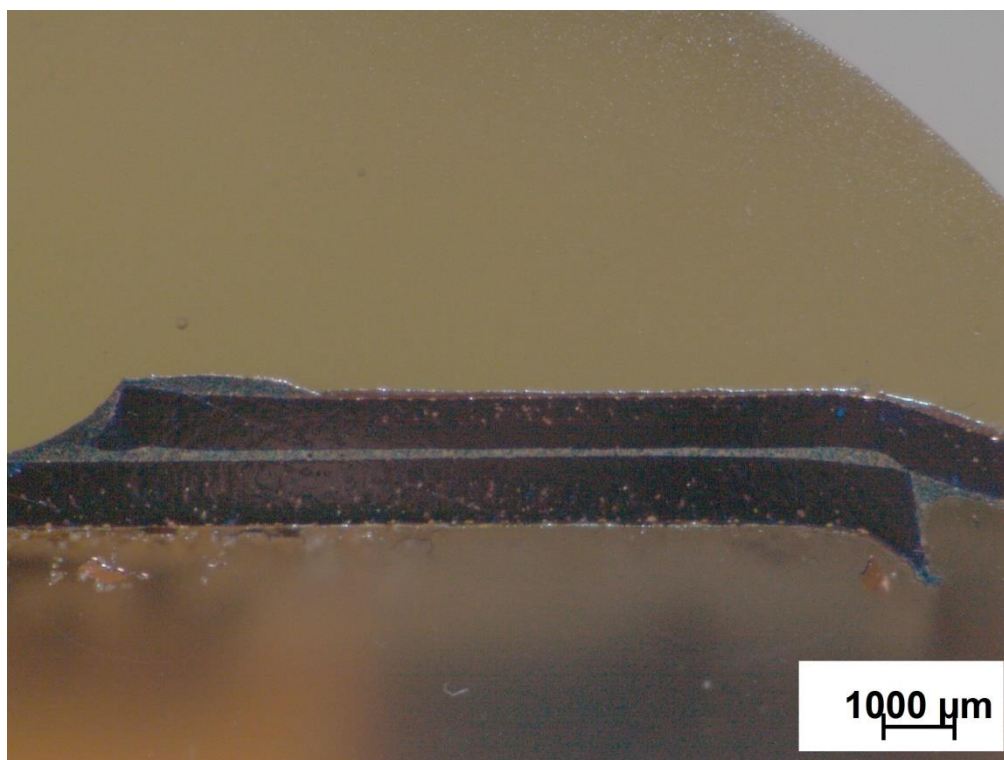
Příprava povrchu, včetně každého leptání:

Vzorky byly leštěny a broušeny až do dosažení povrchové úpravy požadované pro makroskopickou kontrolu. Nebylo nutné použít leptání.

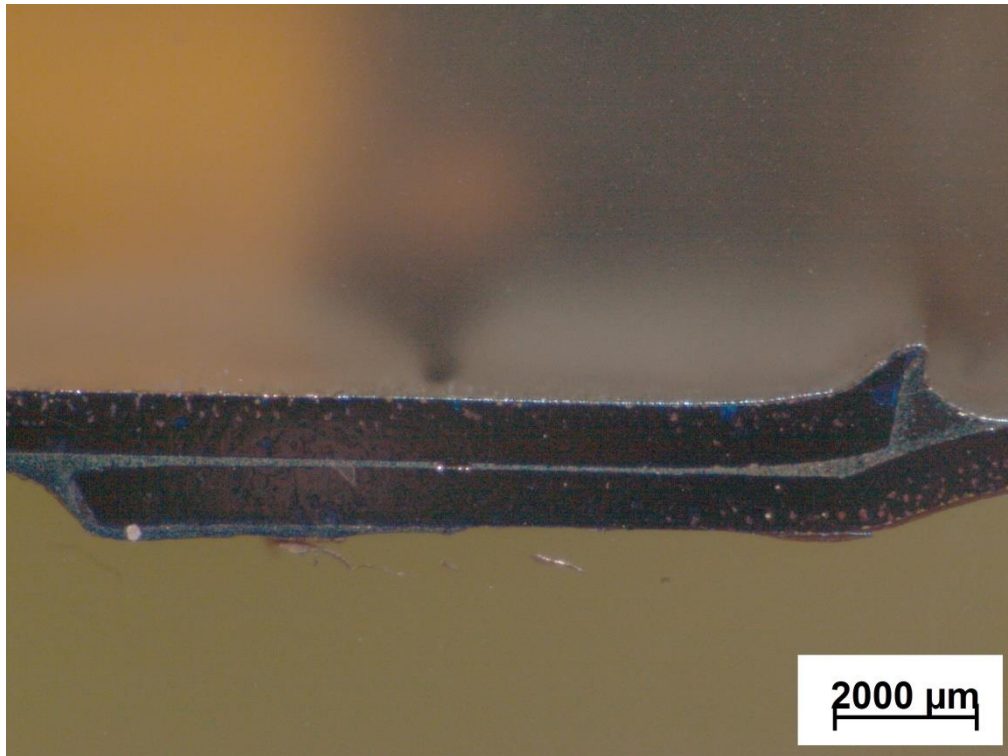
Výpočty:

Ke zkoušce bylo použito optické srovnání, nebyla potřeba aplikovat žádný vzorec.

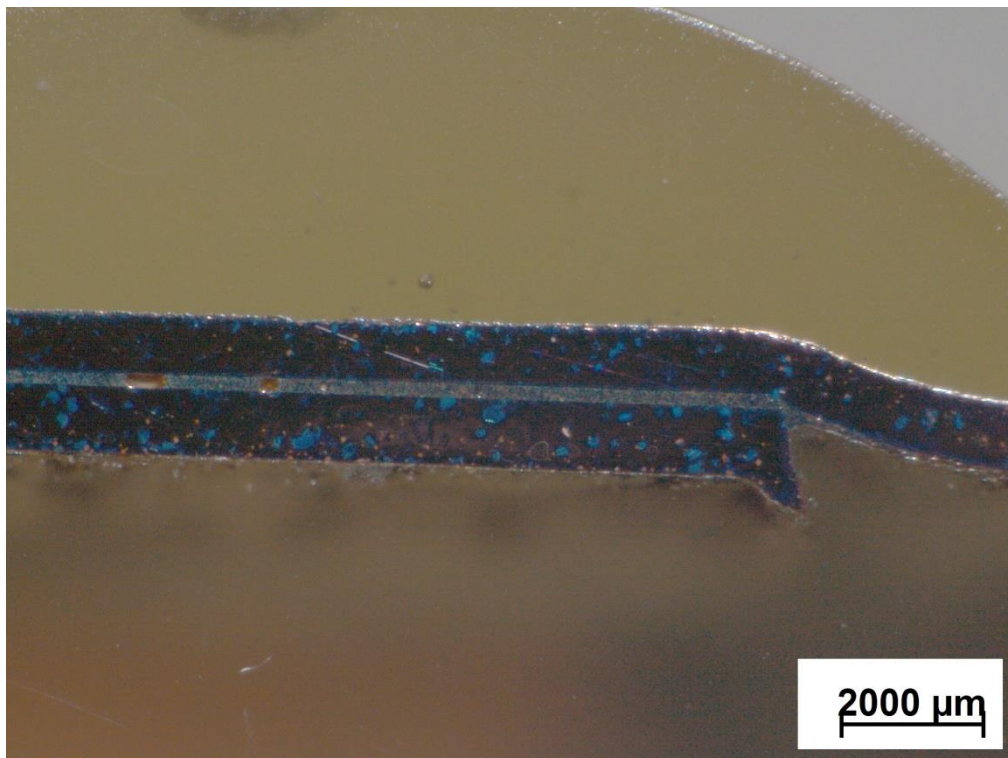
Fotografie:



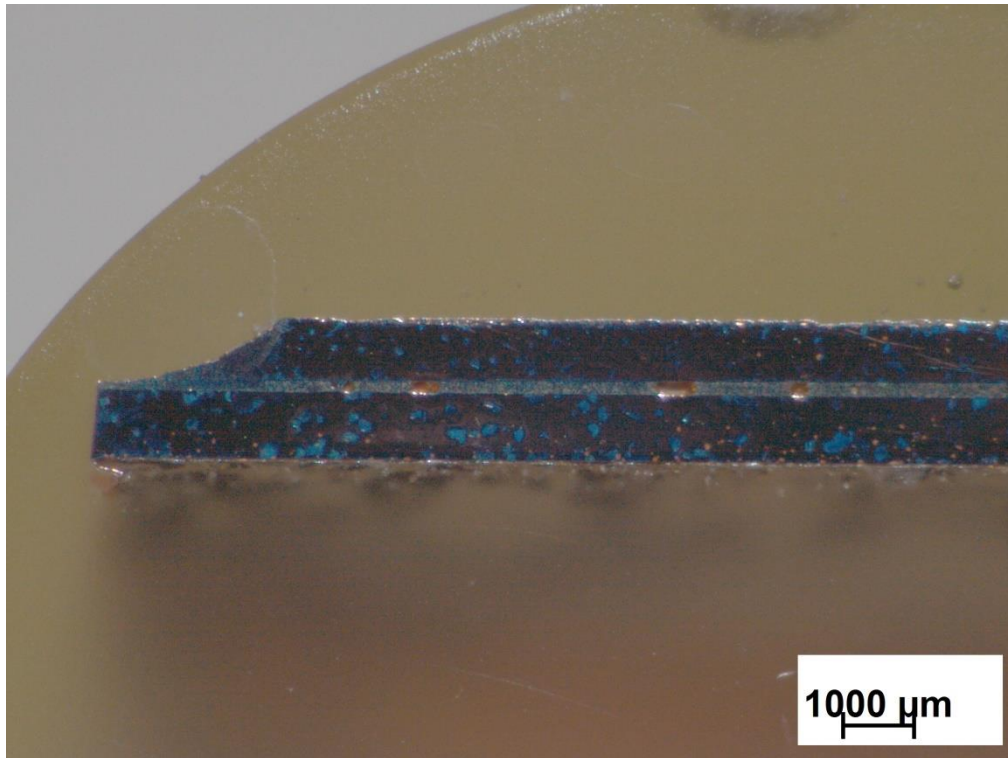
Obrázek 14. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 5CuP pravá strana



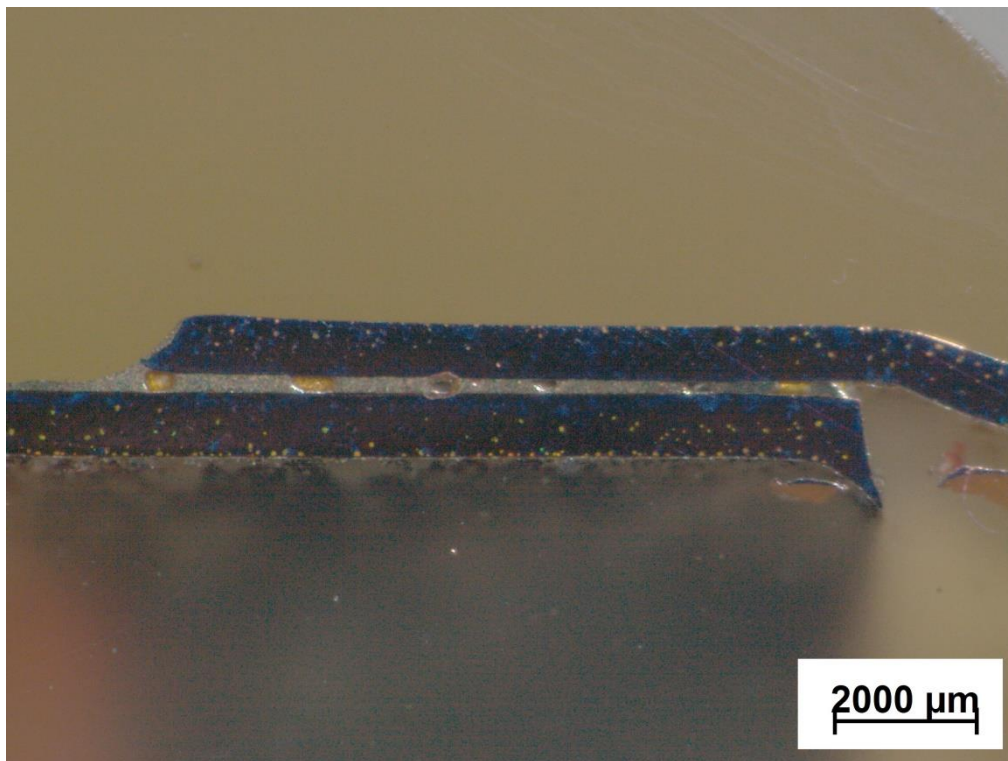
Obrázek 15. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 5CuP levá strana



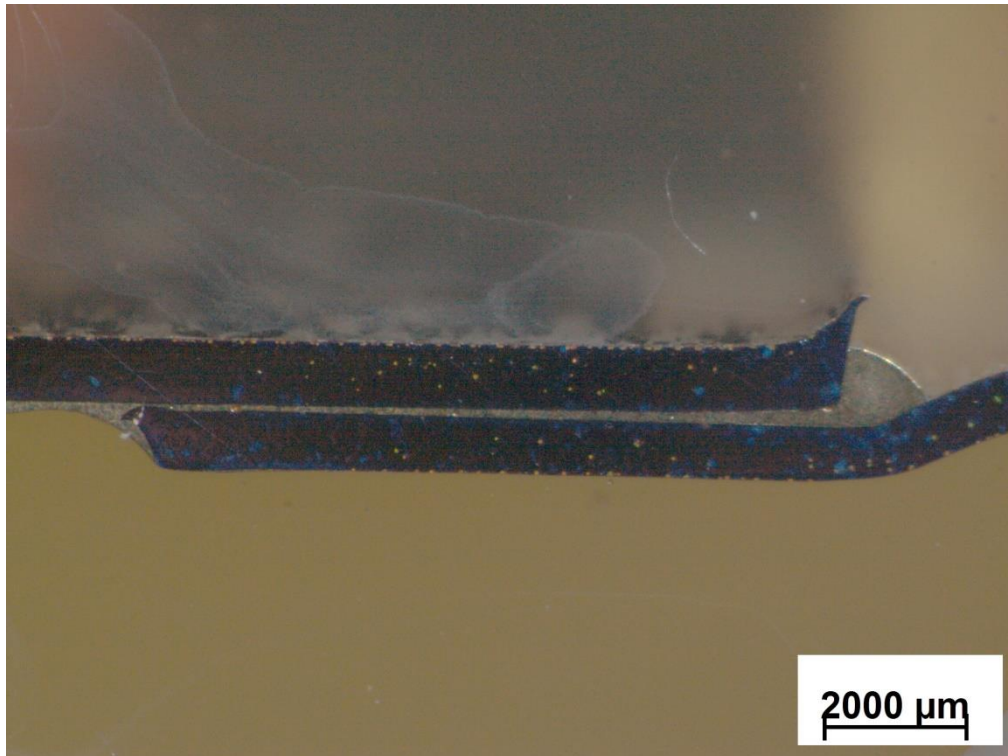
Obrázek 16. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 5CuP pravá strana



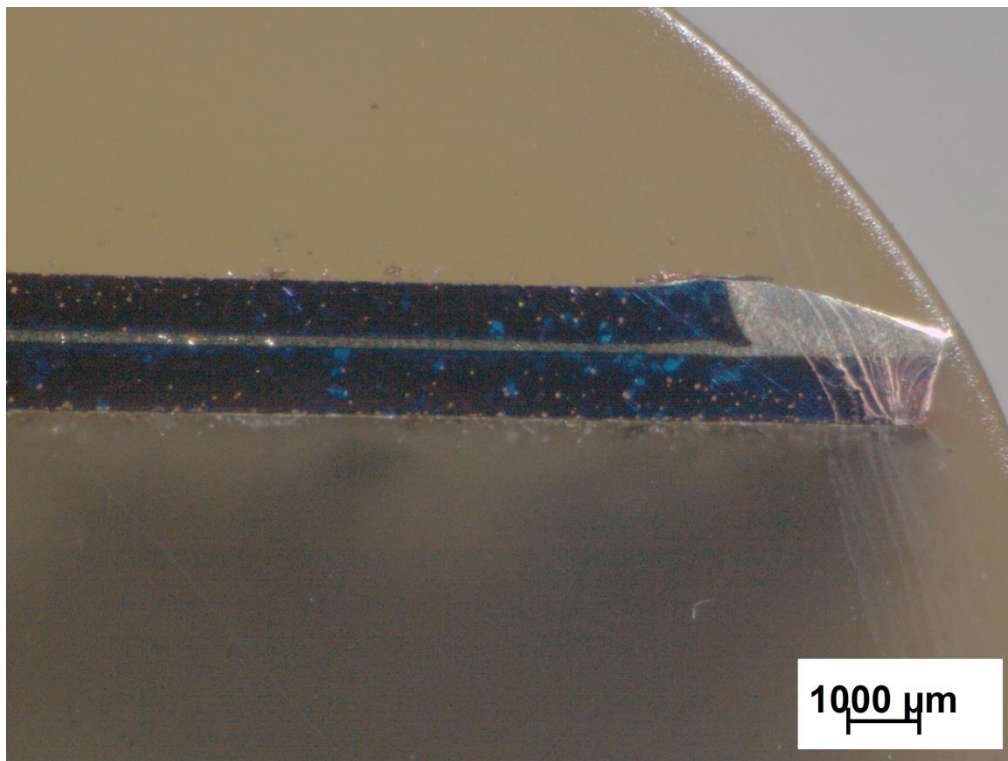
Obrázek 17. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 5CuP levá strana



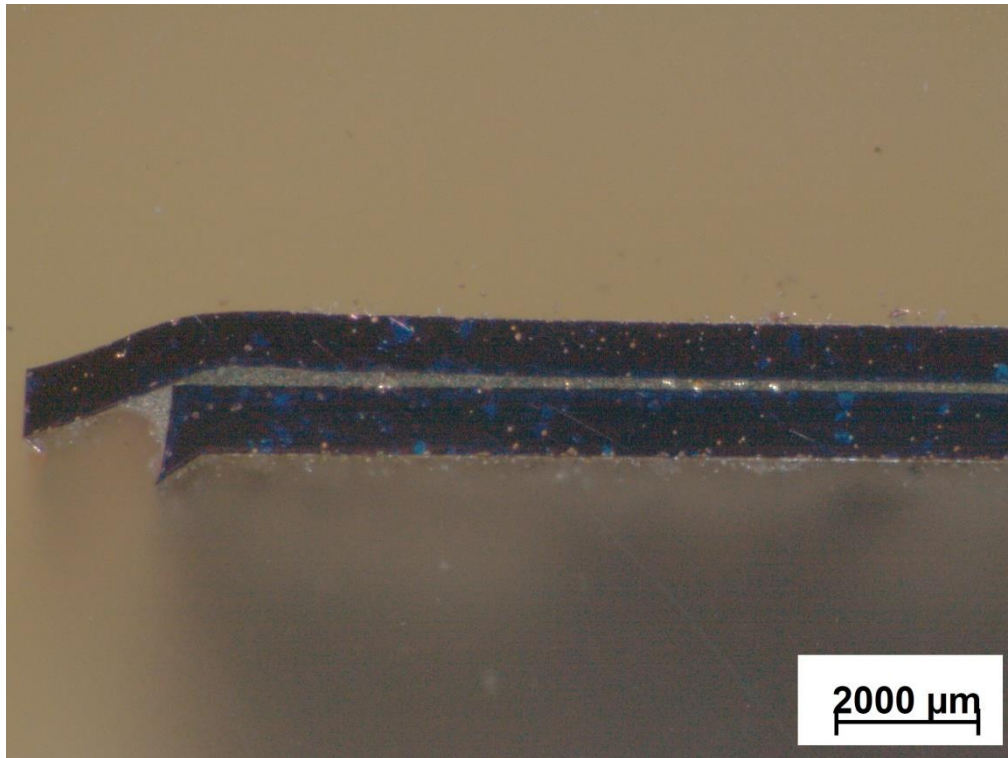
Obrázek 18. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 34Sn pravá strana



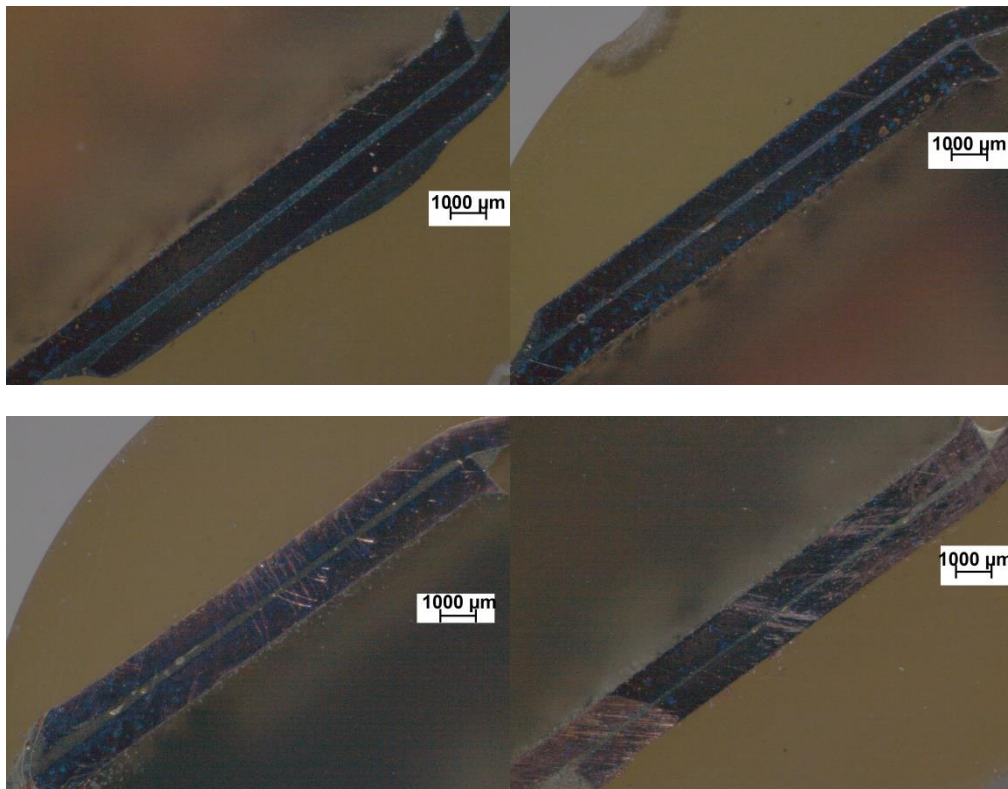
Obrázek 19. Cu trubka \varnothing 12 mm pájka Ag 34Sn levá strana



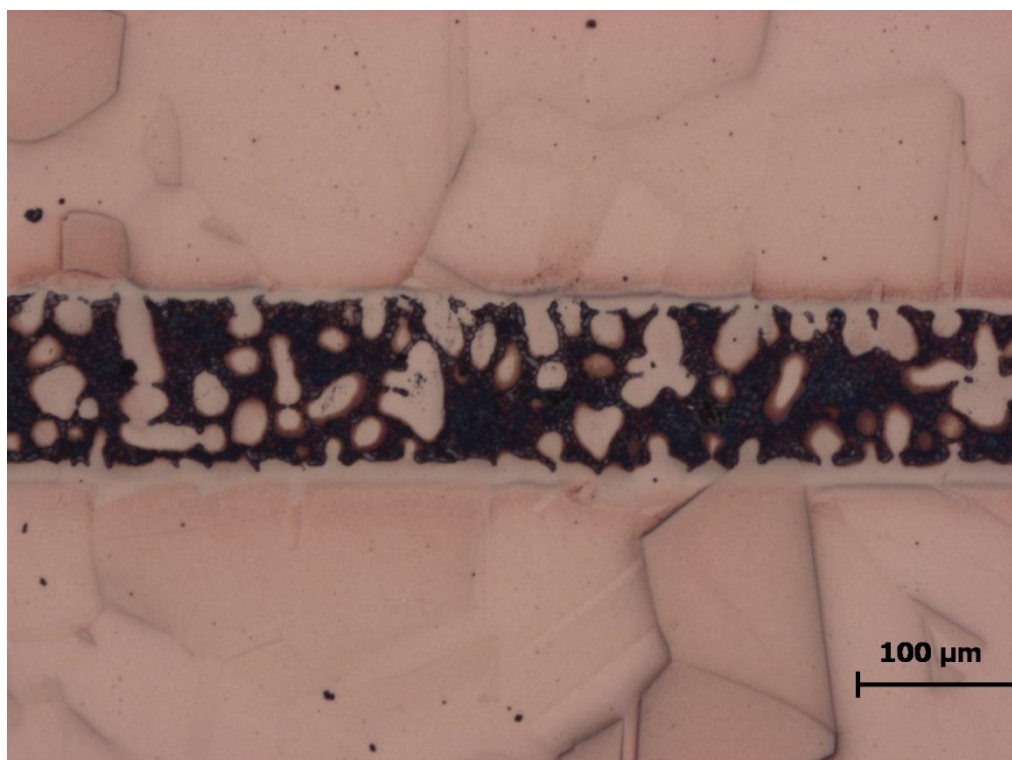
Obrázek 20. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 34Sn pravá strana



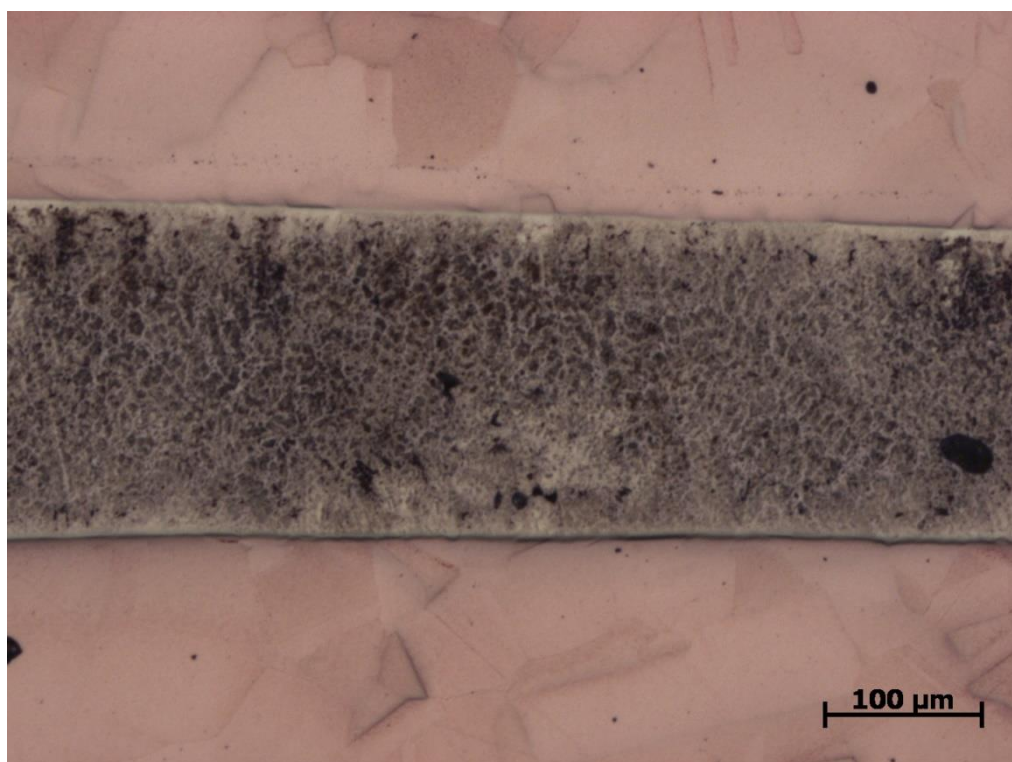
Obrázek 21. Cu trubka \varnothing 18 mm pájka Ag 34Sn levá strana



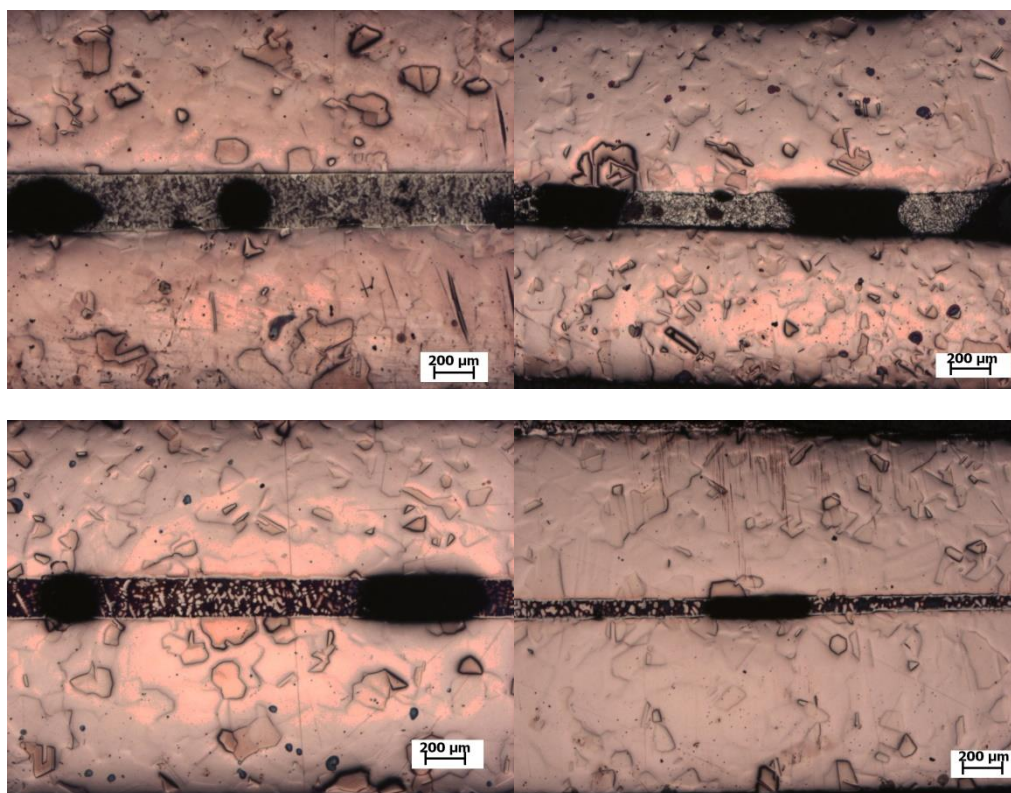
Obrázek 22. Celkové pohledy na řezy Cu trubek \varnothing 18 mm



Obrázek 23. Struktura pájky Ag 5CuP



Obrázek 24. Struktura pájky Ag 34Sn



Obrázek 25. Póry u jednotlivých pájek

Všechna pozorování:

Na vzorcích byly naměřeny pájecí mezery o rozměrech uvedených v tabulce 4. Optimální mezera pro porovnávané pájky se složením měď-fosfor-(stříbro) (Ag 5CuP) by měla být 0,2 mm a pro převážně stříbrné (Ag 34Sn) 0,05-0,1 mm. Naše naměřené hodnoty tomuto intervalu odpovídají.

Tabulka 4. Rozměry pájecích mezer [μm]

pájka	Ag 5CuP		Ag 34Sn		Ag 5CuP		Ag 34Sn	
vzorek [mm]	Ø 12	Ø 12	Ø 12	Ø 12	Ø 18	Ø 18	Ø 18	Ø 18
pravá strana	130	130	100	400	180	250	270	230
levá strana	120	115	220	150	150	430	310	140

Při srovnání smáčivosti a roztékavosti (zatečení) mají obě pájky (Ag 34Sn, Ag 5CuP) výborné vlastnosti. Na obrázcích 14-22 je vidět, že v obou případech pájky zatekly do celého spoje a zaplnily mezery v celé své délce bez jakéhokoli přerušení. Nedošlo k protečení nebo nějakému výronu pájek.

Na obr.18 byly u pájky Ag 34Sn pozorovány ve spoji malé zbytky nerozpuštěného tavidla (zanesení vměstků) na rozdíl od pájky Ag 5CuP, kde pozorovány nebyly. Tyto zbytky vytvořily prostor pro dutiny, póry. Ve větším množství byly pozorovány u menšího průměru 12 mm. Pro porovnání pájek je výhodnější Ag 5CuP.

Pórovitost byla vidět u obou pájek při větším zvětšení. Výskyt pórů je relativně malý. Množství a velikost pórů by na pevnost a těsnost spoje neměla vliv a to díky velké délce překrytí-hloubce hrdla pájeného spoje. Na obrázku 25 lze pozorovat největší póry, první dva snímky jsou pájeny Ag 5CuP a druhé dva Ag 34Sn.

Žádný vzorek neobsahoval trhliny.

Další faktory porovnání pájek:

Shoda barvy se základním pájeným materiálem je u pájky Ag 5CuP je větší než u pájky Ag 34Sn. Je způsobena jejich složením. Pájka Ag 5CuP je tvořena z 89 % Cu, proto je její povrch podobný základnímu materiálu Cu trubce, na rozdíl od lesklého povrchu pájky Ag 34Sn, kde je mědi 36 %. Výhodněji v tomto ohledu vychází pájka Ag 5CuP.

Důležitým faktorem je cena. Cena pájky Ag 5CuP za 1kg je cca 2100kč, cena za stejné množství pájky Ag 34Sn je cca 6400kč. Rozdíl v ceně za 1kg je velký, v tomto případě je výhodnější pájky Ag 5CuP.

Spotřeba pájky na pájený spoj je u Ag 34Sn trochu větší a to jen díky váze obalu pájky (tavidla-kadmia), které je přičteno k celkové váze pájky.

Odstranění tavidla po pájení je u pájky Ag 34Sn složitější a pracnější než u pájky Ag 5CuP.

Tabulka 5. Tabulka porovnání faktorů

Faktory porovnávání	Pájka	
	Ag 34Sn	Ag 5CuP
Smáčivost (zatečení)	+	+
Vměstky	-	+
Pórovitost	-	-
Trhliny	+	+
Shoda barvy	-	+
Cena	-	+
Spotřeba na pájený spoj	-	+
Odstranění tavidla	-	+

Jméno laboratoře:

Zkouška byla provedena v laboratoři Ústavu strojírenské technologie na ČVUT za pomoci pana Ing. Tomáše Kramára, Ph. D.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit určitý přehled o problematice pájení v oboru chlazení a klimatizace s ohledem na normy a terminologii s tím spojenou. Bylo popsáno rozdělení pájek, tavidel a materiálů používaných k různým způsobům pájení. Byl vytvořen přehled norem pro tvrdé pájení a v těchto normách bylo vyhledáno vše co se týkalo zkoušek pájených spojů.

Pomocí postupů řemeslné výroby hrdla na Cu trubkách a tvrdého pájení byly na experiment připraveny vzorky pájených spojů dvou nejpoužívanějších pájek v chladírenské technice (Ag 34Sn a Ag 5CuP). Vzorky byly porovnány v praktické metalograficko – makroskopické zkoušce a byly srovnány jednotlivé vady (nedostatečné zatečení, zanesení vměstků, pórovitost, trhliny nebo jakékoliv jiné vady a nedostatky).

Obě pájky se hodí k tvrdému pájení námi připravených vzorků a mají velmi dobré vlastnosti, což bylo potvrzeno naším experimentem. Srovnáním výsledků byla jako vhodnější pro pájení Cu trubek určena pájka Ag 5CuP. Rozhodujícím faktorem bylo porovnání barev se základním materiálem a cena. Tato pájka vyzněla lépe i v ostatních případech jako u spotřeby pájky na pájený spoj nebo při odstraňování tavidla po pájení.

Díky výsledkům této práce mohu s jistotou podloženou našim experimentem potvrdit, že pájka Ag 5CuP je vhodnější pro pájení Cu trubek v mnoha ohledech. Dostal jsem do rukou argumenty, které náš spor vyřeší.

8 Seznam použité literatury:

[1] KUBÁLEK JAROSLAV, Pájení kovů, *Časopis KONSTRUKCE* 4/2012 ,Publikováno: 27.11.2012 Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2012, 4,ISSN 1803-8433

[2] NEUMANN, Heinz, 2014. *Teorie svařování a pájení*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 9788074941719.

[3] RUŽA, Viliam. Mechanické vlastnosti na tvrdo spájkovaných spojov. *Strojárstvo : mesačník o strojárstve*. Žilina: MEDIA/ST, 2006, 10(11), 78 -79. ISSN 13352938

[4] RUŽA, Viliam. *Pájení*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1978.

[5] Odborná instalace měděných trubek - Učebnice . Dostupné z WWW :
<<http://medenerozvody.cz> >

Citované normy

[6] ČSN EN 1044 (05 5650) Tvrdé pájení - Příkladné kovy

[7] ČSN EN 1045 (05 5706) Tvrdé pájení - Tavidla pro tvrdé pájení - Klasifikace a technické dodací podmínky

[8] ČSN EN 12797 (05 5920) Tvrdé pájení - Destruktivní zkoušky pájených spojů

[9] ČSN EN 12799 (05 5922) Tvrdé pájení - Nedestruktivní zkoušení pájených spojů

[10] ČSN EN 13133 (05 5905) Tvrdé pájení - Zkouška páječe

[11] ČSN EN 13134 (05 5906) Tvrdé pájení - Zkouška postupu pájení

[12] ČSN EN 14324 (05 5901) Tvrdé pájení – Směrnice pro aplikaci pájených spojů

[13] ČSN EN ISO 17672 (05 5650) Tvrdé pájení – Pájky

[14] ČSN EN ISO 18279 (05 5911) Tvrdé pájení - Vady v pájených spojích