



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

HODNOCENÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ PÁJECÍ STANICE

MANUAL SOLDERING STATION - EVALUATION OF SELECTED PARAMETERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ivo Němec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Starý, Ph.D.

BRNO 2020



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Ivo Němec

ID: 186543

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Hodnocení vybraných parametrů pájecí stanice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Teoreticky porovnejte pájecí stanice pracující s rozdílnými principy řízení topného tělesa. Navrhněte metodiku měření ohřevu definované tepelné kapacity pájeného spoje. Prakticky proměřte teplotně časové závislosti pájecích stanic během pájení. Sledujte životnosti pájecího hrotu při použití bezolovnaté pájky. Dosažené výsledky vyhodnoťte a uveďte doporučení pro praxi.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Konzultant: Ing. Martin Abel

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá zkoumáním rozdílných principů řízení topných těles v pájecích stanicích a vlivu bezolovnaté pájecí slitiny na životnost pájecích hrotů. V práci je shrnut popis dílčích prvků pájecích stanic a vysvětlení jejich funkcí. Dále jsou popsány vady pájecích hrotů, v důsledku použití bezolovnatých pájecích slitin. V neposlední řadě jsou uvedeny evropské směrnice upravující povinnost použití bezolovnatých pájecích slitin v elektronických a elektrických výrobcích.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezolovnatá pájka, SAC305, pájecí stanice, vysokofrekvenční vyhřívání, pájecí hrot, IoT

ABSTRACT

This bachelor thesis work deals with the investigation of different principles of heating elements control in soldering stations and the influence of lead-free solder alloy on the life of soldering tips. The thesis summarizes the description of the sub-elements of the soldering stations and explains their functions. The defects of the soldering tips due to the use of lead-free solder alloys are also described. Last but not least, European directives governing the use of lead-free solder alloys in electronic and electrical products are mentioned.

KEYWORDS

Lead-free solder, SAC305, soldering station, high frequency heating, soldering tip, IoT

Němec, Ivo. *Hodnocení vybraných parametrů pájecí stanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2020, 55 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Starému Ph.D. za přidělení této práce, pedagogickou a odbornou pomoc.

Dále bych rád poděkoval Ing. Martinu Abelovi za poskytnutí odborné literatury a cenné rady.

Obsah

Úvod	5
1 Legislativa	6
1.1 Legislativa v Evropě a České republice	6
1.2 2002/95/EC RoHS	6
1.3 2002/96/EC WEEE.....	7
2 Pájecí stanice	8
2.1 Napájecí zdroj.....	8
2.2 Funkce pájecí stanice.....	9
2.2.1 Internet věcí (IoT).....	10
2.3 Pájedlo	11
2.3.1 Pájedlo s odporovým výhřevným elementem	12
2.3.2 Pájedlo s vysokou obnovou tepla	13
2.3.3 Pájedlo s indukčním vyhříváním	14
2.4 Pájecí hrot a jeho životnost	16
2.4.1 Teplo.....	17
2.4.2 Korozie	18
2.4.3 „Odsmásčení“	19
2.4.4 Opotřebení a obrušování.....	19
2.4.5 Vliv bezolovnaté pájky na pájecí hrot	20
3 Experimentální část	22
3.1 Rychlost přetavení pájky	22
3.1.1 Testování plochých pájecích hrotů	24
3.1.2 Testování kónických pájecích hrotů	29
3.2 Rychlost přetavení pájecí pasty	33
3.3 Určování teplotní kapacity	42
3.4 Testování životního cyklu pájecího hrotu	44
4 Závěr	48
Literatura	50
Seznam symbolů a zkratk	53
Seznam obrázků	53
Seznam tabulek	55

ÚVOD

V dnešní době je kladen důraz evropskou směrnicí na bezolovnaté pájení. Až na pár výjimek, kdy se v některých odvětvích může využívat olovnatá pájka (armáda, zdravotnictví, kosmonautika, letectví) pro pájení, musí firmy dodržovat směrnici RoHS o škodlivých látkách, tj. jejich výrobky nesmí obsahovat toxické látky. S příchodem bezolovnatého pájení, vzniká spousta technologických požadavků na zkvalitnění pájecího procesu. Olovnaté pájky jsou nahrazeny bezolovnatými slitinami, nejčastěji se jedná o slitiny pájek SAC (Sn-Ag-Cu), SC (Sn-Cu), SA (Sn-Ag). Snahou odborníků zabývajících se rozvojem bezolovnatých pájecích slitin je, se přiblížit vynikajícím schopnostem olovnaté pájky, čehož je do jisté míry dosaženo.

Dílenské vybavení, které bylo dostatečné pro olovnaté pájení, se s příchodem bezolovnatých pájecích slitin ukázalo jako nedostatečné a musela proto přijít jistá změna. Bezolovnaté pájecí slitiny mají vyšší bod tavení a jsou náchylné ke vzniku nekvalitního pájeného spoje, který vzniká v důsledku špatného přetavení.

V první kapitole je stručné seznámení se zavedenými normami upravující nakládání s výrobky obsahující toxické látky. Obsahem jsou směrnice, které upravují používání nebezpečných látek v elektronických a elektrických zařízeních (RoHS) a o použitých elektrických a elektronických zařízeních (WEEE).

V druhé kapitole je seznámení s pájecí stanicí a jejími komponenty. Jsou zde uvedeny principy jednotlivých systémů vyhřívání pájecích hrotů a jejich výhody a nevýhody v závislosti s použitím bezolovnaté pájecí slitiny.

Zvláštní pozornost je věnována vadám a údržbě pájecích hrotů při použití bezolovnaté pájky. Bezolovnatá pájecí slitina je prokazatelně agresivnější vůči pájecímu hrotu než olovnatá pájecí slitina.

1 LEGISLATIVA

Zákaz používání olova v elektronických a elektrických zařízeních je celosvětovou snahou ke lepší životní prostředí. Olovo obsažené v přístrojích nelze dnes recyklovat. V roce 2003 bylo vyprodukováno přes 6 milionů tun elektronického odpadu. Použitá zařízení jsou volně umístována na přírodní skládky, kde se vlivem kyselých dešťů uvolňuje toxické olovo do spodních vod. Pokud následně vnikne olovo do lidského těla, hrozí velmi vážné zdravotní potíže. Olovo (Pb) jako prvek se využívá v průmyslu velice dlouho dobu. Každoročně se spotřebuje přibližně 5 milionů tun olova, z čehož 81 % připadá na olověné bateriové akumulátory. V oblasti pájení je procentuální zastoupení 0.7 % pájkami a 0.49 % elektronickými pájkami. První pokus o vyloučení olova z elektronické pájky začal v 1990 u Kongresu Spojených států. Návrh byl zakázat všechny slitiny obsahující olovo, včetně elektronických pájek a uvalit daň na primární a sekundární olovo použité v průmyslu. Ovšem tento zákon se po intenzivním lobování amerického elektronického průmyslu nedotknul olověných pájek. První země, kde tento zákon začal efektivně fungovat bylo Japonsko. Hlavní japonské firmy např. Sony, Toshiba, Matsushita, Hitachi, NEC se zavázaly přejít k použití bezolovnaté pájce do konce roku 2001. Do roku 2004 přešlo 100 % japonských výrobců na bezolovnatou pájku. [1]

1.1 Legislativa v Evropě a České republice

V roce 2003 vydala Evropská unie dvě další směrnice týkající se ochrany životního prostředí. Tyto směrnice upravují dosavadní zavedené normy. Směrnice se týkají elektronických a elektrických výrobků. První směrnice nese označení 2002/95/EC (Restriction of Certain Hazardous Substances RoHS) a druhá 2002/96/EC (Waste Electrical and Electronic Equipment WEEE). Tyto směrnice mají obecně pomoci k prevenci v oblasti odpadu elektronických a elektrických zařízení a zvýšení jejich opětovné recyklace a použití. [1,25]

1.2 2002/95/EC RoHS

V roce 2000 byl předložen Evropskou komisí návrh směrnice č. 2002/95/EC (označován jako „RoHS 1“) a byla vyhlášena roku 2003. Výrobci musí do 1. července 2006 stáhnout z Evropského trhu zařízení, která obsahují větší než povolené množství některých nebezpečných látek. Cílem nařízení je, aby výrobky dodávané na trh obsahovaly minimální možné množství nebezpečných látek (olovo, rtuť, kadmium, šestimocný chrom, polybromované bifenyly a polybromované difenylethery). Jedinou výjimku tvoří případy, u nichž neexistuje vhodná náhrada za uvedené materiály. Nařízení vlády se vztahuje na všechna elektrozařízení, která náleží do 11 skupin (malé a velké spotřebiče pro domácnost, spotřební elektronika, osvětlovací zařízení aj.). Tato směrnice se netýká zařízení určených výhradně pro vojenské účely. V české legislativě je tento zákon označován jako č. 185/2001 Sb., o odpadech společně se zákonem 2002/96/EC a byly schváleny v prosinci roku 2004. V dnešní době jej již směrnice aktualizována na RoHS 3, kde jsou na seznam omezených látek přidány některé ftaláty [1,25,29]

1.3 2002/96/EC WEEE

Tato směrnice je součástí českého zákona č.185/2001 Sb., o odpadech. Týká se zpětného odběru, zpracování, využití a odstraňování použitých elektrických a elektronických zařízení. Směrnice má sedm bodů, které jsou uvedené v následující tabulce Tab. 1.1.

Tab. 1.1: Směrnice o použitých elektrických a elektronických zařízeních (převzato z [1])

1.	Veškeré náklady za sběr a další manipulaci s těmito použitými zařízeními nese jejich výrobce.
2.	Výrobce může své povinnosti spojené se zpětným odběrem použitých zařízení organizovat a financovat buď individuálně, nebo v rámci kolektivního systému.
3.	Každý spotřebitel může vrátit nefunkční a použitý výrobek na sběrná místa bez jakéhokoliv poplatku.
4.	Výrobce musí spotřebitele na štítku informovat o tom, že toto zboží má být vráceno na sběrná místa a mělo by být odděleno od ostatního odpadu.
5.	Výrobce musí při uvádění nového výrobku na trh poskytnout finanční záruku zpětného odběru zboží a zároveň i jeho zpracování. To může udělat několika způsoby: buď účastí v některém systému financování, nebo pojištěním na recyklaci anebo vkladem na blokováný bankovní účet
6.	Výrobce elektrického a elektronického zboží má zajistit, aby co největší část výrobku byla recyklovatelná
7.	Každý členský stát EU musí vytvořit systém zpětného odběru zmíněných použitých výrobků a zajistit, aby do konce roku 2006 připadaly na jednoho občana alespoň čtyři kilogramy tohoto vytříděného odpadu.

Výrobce je tedy povinen, zajistit na vlastní náklady sběr i recyklaci použitého či nefunkčního výrobku. Není povinnost výrobek recyklovat v samém státu, kde byl prodán, ale je důležité, aby byly dodrženy přesně dané postupy Společenství (nařízení č. 259/93). Výrobky určené pro zpětný odběr a recyklaci, musí být označeny symbolem pro nekomunální odpad (Obr. 1.1), které se pak shromažďují ve speciálních sběrnách. Tato směrnice byla novelizována s účinností od 01.01.2020 [1,30]



Obr. 1.1: Symbol pro nekomunální odpad (převzato z [1])

2 PÁJECÍ STANICE

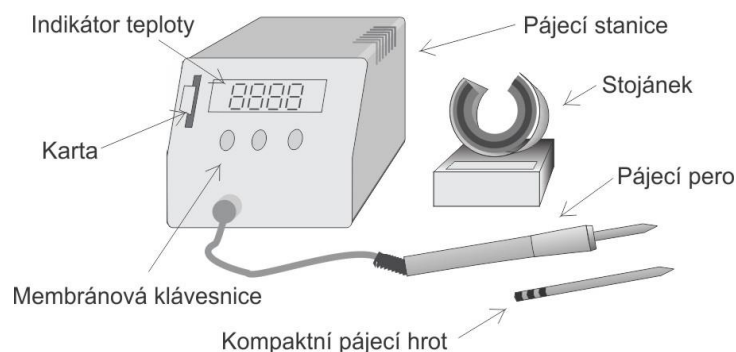
Na Obr. 2.1 je znázorněna pájecí stanice s jejím příslušenstvím. Hlavní částí každé pájecí stanice je potřebně výkonný zdroj a pájedlo. V pájedlu se výkon mění na teplo za pomoci topného tělesa, které je dále předáváno pájecímu hrotu, se kterým již přímo provádíme pájení. Existují dva způsoby vyhřívání pájecího hrotu. Nejrozšířenější způsob je vyhřívání pomocí odporového elementu, druhá možnost je využití vysokofrekvenčního napětí. Samotná kontrola teploty může být v pájedle implementována, ale také nemusí. Můžeme se setkat s jednoduchými pájecími pery, které se přímo zapojí do síťového napětí, přičemž je pájecí hrot neustále vyhříván určitým výkonem. Právě přesná zpětná vazba z termočlánku nám umožňuje dosáhnout námi požadovanou přesnou teplotu pájecího hrotu. V dnešní době existuje mnoho výrobců pájecích stanic různých kvalit, ať už se jedná o napodobeniny značkových pájecích stanic až po profesionální použití. Mezi hlavní světové výrobce se řadí firmy (Weller, Hakko, Pace, Metcal, JBC, Ersa atd). [1,6]

Dále můžeme v dnešní době rozlišovat pájecí stanice vhodné pro bezolovnaté pájení a nevhodné pro bezolovnaté pájení. S vyšší teplotou tání bezolovnaté pájky (SAC305 má teplotu tání 217 °C [8]), je také potřeba většího výkonu pájecí stanice a kvalitnější obnovy tepla v pájecím hrotu. Doporučená teplota pájecího hrotu pro bezolovnaté slitiny SAC a SnCu je podle výrobce Kester 371 °C až 426 °C. [9]

2.1 Napájecí zdroj

Základ každé pájecí stanice tvoří napájecí zdroj. Síťové napětí se zde transformuje na menší napětí (24 V nebo 12 V) [1]. Neusměrněné napětí je přivedeno přímo na vyhřívací část pájecího hrotu. Usměrněné napětí napájí regulační obvod pájecí stanice. Samotnou regulaci teploty zajišťuje vnitřní regulační obvod. Regulační obvod analogové pájecí stanice se nejčastěji skládá z integrovaného obvodu a triaku. V případě digitální pájecí stanice regulaci výkonu může zajišťovat i výkonový mosfet tranzistor. Termočlánek je připojený do regulačního obvodu, který následně reguluje výkon dodávaný do pájedla. Některé levnější pájecí stanice využívají k „regulaci“ teploty pouze triak bez zpětné vazby. Takto je ale pouze regulovaný výkon pájedla nikoliv teplota.

Je velice důležité, aby napájecí napětí pájedla bylo odrušeno od veškerého rušivého napětí. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, mohlo by jednoduše dojít k poničení elektrostaticky citlivé součástky. Proto má dnes drtivá většina pájecích stanic terminál na připojení na zemní bod, který se může připojit na uzemněnou pracovní podložku nebo pomocí speciální síťové zástrčky. [1]



Obr. 2.1: Pájecí stanice a její příslušenství (převzato z [1])

Existují i atypické pájecí stanice, kde není součástí napájecí zdroj. Celý systém regulace je schován buďto miniaturní krabičce s displejem (Weller WSM1C), nebo je celý regulační systém ukryt v kompaktním pájedlu (Mini TS100). Zařízení poté stačí připojit k dostatečně dimenzovanému zdroji napětí. Výhody těchto zařízení jsou bezesporu jejich kompaktnost a skladnost. Například pájecí pero Mini TS100 stačí připojit pouze k dostatečně dimenzované Li-Pol baterii. [26-27]

Další kategorií jsou kombinované pájecí stanice. Ty obsahují několik kanálů pro příslušenství. Například kombinovaná pájecí stanice Weller WR3000M má 3 univerzální kanály, kam můžeme připojit kompatibilní příslušenství. Můžeme si tak snadno vytvořit pájecí stanici se třemi pájedly nebo jedním pájedlem, odpájecími kleštěmi a horkovzdušnou pistolí. [28]

2.2 Funkce pájecí stanice

Dnešní základní pájecí stanice obsahují kromě zapínacího tlačítka a indikátoru teploty i spoustu jiných funkcí, které mají za úkol ulehčit uživateli práci nebo poskytnout zvýšenou kontrolu nad pájecím procesem. Modernější digitální pájecí stanice již disponují LCD displejem, kde může uživatel přehledně pozorovat, jakou teplotu má nastavenou na pájecím hrotu. Další vlastností jsou paměti, kdy si můžeme do jednotlivých pamětí pájecí stanice, uložit jednotlivé teploty. Takže pokud potřebujeme zrovna odpájet součástku DPAK, můžeme si pohodlně pomocí jednoho tlačítka přepnout požadovanou teplotu pájecího hrotu. Profesionální pájecí stanice již disponují plnou řadou pokročilých funkcí. Mezi ně patří indikátor dodávaného výkonu do pájecího hrotu, zámek pro nastavení teploty, který se zejména využívá ve výrobcích, kvůli zabránění manipulace s nastavenou teplotou pájecího hrotu operátorem. Dále velice důležitou funkcí je kalibrace teploty. Uživatel má možnost pomocí měřiče teploty pájecího hrotu zjistit aktuální teplotu hrotu a tu pak porovnat s nastavenou teplotou na pájecí stanici. Pokud se tyto teploty liší, je nutná kalibrace. Odesílání kalibračních dat může například probíhat pomocí infračerveného portu (Hakko FG-100B Obr. 2.2) nebo ručním zadáním do pájecí stanice. [1,5]



Obr. 2.2: Měřič teploty Hakko FG-100B (převzato z [5])

2.2.1 Internet věcí (IoT)

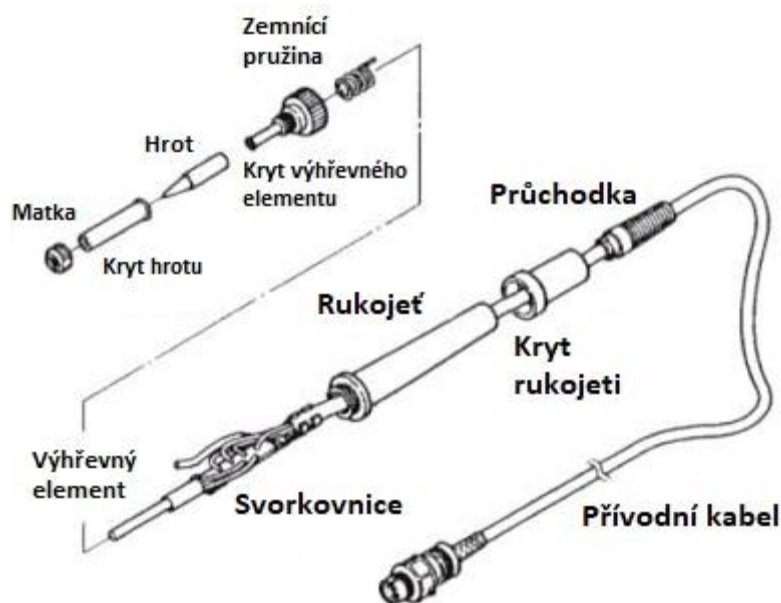
V dnešní době je stále kladen větší důraz na sledovatelnost výrobních procesů. Díky nástupu Průmyslu 4.0 (Industry 4.0) jsou veškeré vývojové kroky výrobku digitálně zaznamenány. Je tedy možné, plně sledovat výrobní cestu výrobku až po samotnou expedici včetně stanišť, kde je prováděna manuální práce s výrobkem. [4]

Internet věcí se pomalu dostává i k pájecím stanicím. Pájecí stanice FN-1010 od firmy Hakko již funkcí IoT disponuje. Zařízení je možné připojit USB konektorem, ethernetovým kabelem nebo rozhraním RS232C. Díky tomuto propojení je možné sledovat v reálném čase práci operátora s pájecí stanicí. Monitorovací program umožňuje sledovat: použitý typ hrotu se sériovým číslem, počet přiložení pájedla na pájený spoj, dodávaný výkon, aktuální teplotu pájecího hrotu, nastavenou teplotu pájecího hrotu, celkovou dobu zapnuté pájecí stanice, kalibrační historii atd. Samozřejmostí je, že některé parametry mohou být na dálku upravené, jako jsou teplota pájecího hrotu, offset pájecího hrotu, režim spánku, heslo atd. [7]

Jednou z hlavních funkcí pro využití v Průmyslu 4.0 je sledování teploty pájecího hrotu a dodávaného výkonu v reálném čase. Z výsledných grafů lze později jednoduše určit, zda operátor zbytečně tepelně nenamáhal součástku, anebo naopak zda byl spoj dostatečně prohřátý. Tato data může průběžně kontrolovat např. mistr výroby a poté případně okamžitě zasáhnout do výrobního procesu nebo jej upravit. [1,7]

2.3 Pájedlo

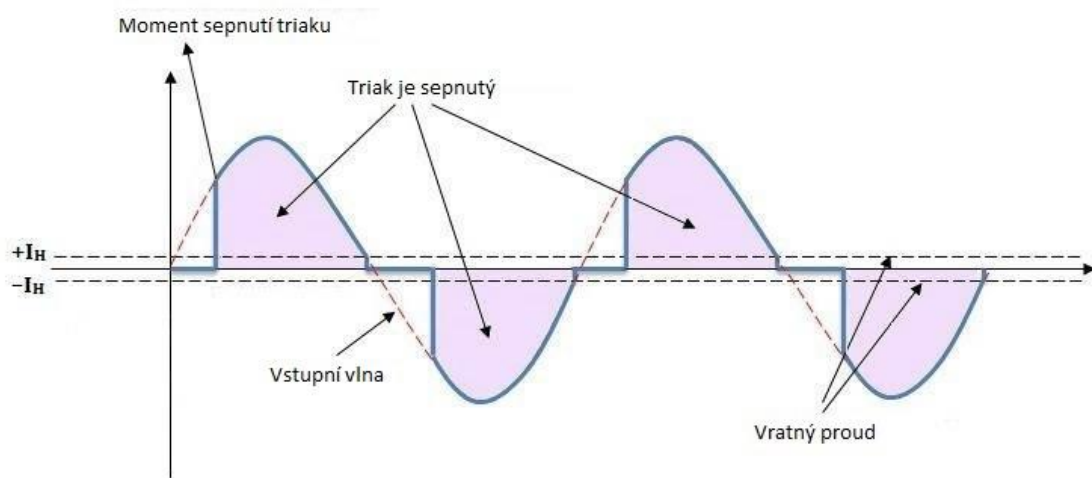
Pájedlo je hlavní pracovní nástroj při pájecím procesu. Jak můžeme vidět na Obr. 2.3, ruční pájedlo se skládá z přívodního kabelu, průchodky chránící přívodní kabel vůči ohýbání, rukojeti, ve které je umístěna svorkovnice s kabely vyhřívání a termočlánku. Dále je uvnitř pájedla umístěn výhřevný element, který se liší podle toho, jakou pájecí stanici používáme. Pro klasické analogové a digitální pájecí stanice je výhřevný element odporový drát Ni-Cr nebo keramické topné tělísko. Pro vysokofrekvenční pájedla je zdrojem tepla feromagnetické tělísko ovinuté cívkou, která je připojena na vysokofrekvenční zdroj napětí [1]. V případě klasických pájecích hrotů bez rychlé obnovy tepla je na výhřevný element nasunut samotný pájecí hrot fixovaný krytem. Výhřevný element předává teplo pájecímu hrotu, pomocí kterého můžeme pájet. Existují speciální pájedla s funkcí přívodu dusíku k pájecímu hrotu. Tato funkce zlepšuje smáčivost a roztíratelnost pájky nebo také přehřívání pájecího hrotu a jeho oxidaci [11]. Dále existují pájedla s automatizovaným podavačem cínu pro zlepšení produktivity pájení nebo pájedla s odvodním systémem pájecích par. [12-13]



Obr. 2.3: Schéma ručního pájedla (převzato z [10])

2.3.1 Pájedlo s odporovým výhřevným elementem

Nejrozšířenější systém vyhřívání pájecího hrotu je bezesporu pomocí odporového drátu. Napětí z transformátoru pájecí stanice je přivedeno přímo na odporový drát v pájedlu. Ten může být nejčastěji navinut na keramickém jádru. Zde se odporový drát zahřívá a předává teplo pájecímu hrotu. o stabilitu teploty se zde stará regulační obvod a termočlánek, který funguje jako zpětná vazba a zásadní prvek v nastavení přesné teploty pájecího hrotu. Napětí z termočláneku je nadále zpracováno v regulačním obvodu pájecí stanice. Samotnou regulaci výkonu provádí například triak. Na Obr. 2.4 je uveden příklad regulace výkonu pomocí triaku, který ořezává sinusový signál podle toho, jak moc velký výkon potřebujeme dodat do výhřevného elementu. Řídící napětí do řídicí mřížky triaku je zpracováno regulačním obvodem pájecí stanice. [14]



Obr. 2.4: Regulační princip triaku (převzato z [14])

Pájecí hrot může být nasunut na výhřevný element (Obr. 2.5) pevně fixovaný krytem výhřevného elementu nebo pevně přichycen šroubem. Nevýhodou tohoto systému je vznik nežádoucího tepelného odporu, tzn. teplo se vlivem nedokonalého přechodu pájecího hrotu a výhřevného elementu ztrácí a pájecí hrot nemá požadovanou teplotu. Také reakční doba na změny teploty je těmito přechody prodloužena. Tento systém je spíše vhodný pro olovnaté pájení. Olovnatá pájka Sn63/Pb37 má teplotu tání při 183 °C. Doporučená teplota pájecího hrotu bez rychlé obnovy tepla je podle výrobce Hakko přibližně 330 °C, ovšem pro pájecí hroty s rychlou obnovou tepla stačí teplota okolo 300 °C. Zde je patrný jasný rozdíl mezi obyčejným vyhříváním pájecího hrotu a hrotu s rychlou obnovou tepla. Pájecí stanice s nižším výkonem (50–80 W) na olovnaté pájení jsou dostačující, ovšem nejsou příliš vhodné na přechod k bezolovnatému pájení. S příchodem bezolovnatého pájení začala být tato technologie nedostačující z hlediska reakční doby na změnu teploty pájecího hrotu a výkonu. Proto vznikly kompaktní pájecí hroty s rychlou obnovou tepla. [1,19]



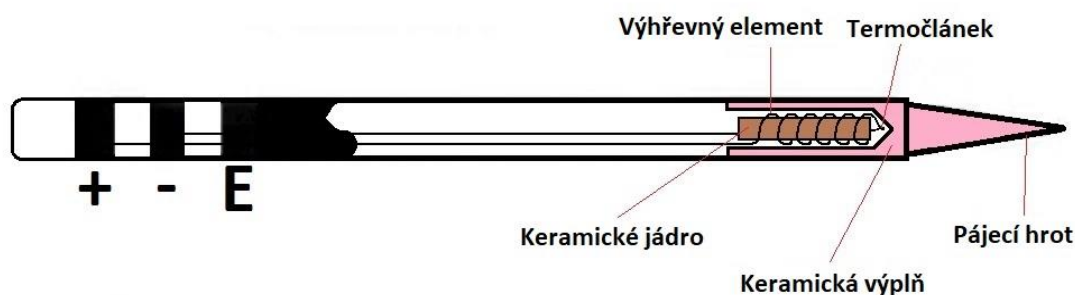
Obr. 2.5: Pájecí pero s odporovým výhřevným elementem (převzato z [16])

2.3.2 Pájedlo s vysokou obnovou tepla

Jak je výše zmíněno, s příchodem bezolovnatého pájení se zvýšily požadavky na zkvalitnění pájení. Nejčastěji používaná pájecí slitina pro bezolovnaté pájení SAC305 má přibližnou teplotu tání $217\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8]. Doporučená teplota pájedla pro bezolovnaté slitiny SAC305 je přibližně $370\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro pájecí hroty s rychlou obnovou tepla se doporučená hodnota pohybuje okolo $340\text{ }^{\circ}\text{C}$. [19]

Průřez pájecího hrotu s rychlou obnovou tepla je znázorněn na Obr. 2.6. Výhoda systému s vysokou obnovou tepla spočívá v tom, že je pájecí hrot spolu s termočlánkem a výhřevným elementem kompaktně spojen v jeden celek, takže zde odpadá problém s tepelným odporem přechodu pájecího hrotu a výhřevného elementu. Tento systém je schopný velice rychle reagovat na změny teploty a rychleji je kompenzovat, a proto je tedy za potřebí menšího výkonu k dosažení námi požadované teploty. [1,19]

Pájecí hroty s vysokou obnovou tepla se vyrábějí jako kompaktní celek, takže stačí pouze požadovaný pájecí hrot nasunout do pájedla a zařízení je připravené k použití. Samozřejmostí je zde i uzemnění pájecího hrotu, aby se předešlo poškození součástek citlivé na elektrostatický náboj. Nákupní cena pájecího hrotu s vysokou obnovou tepla je s porovnáním s klasickými hroty vyšší, ale v této ceně se promítne kvalita a spolehlivost tohoto systému. [1]

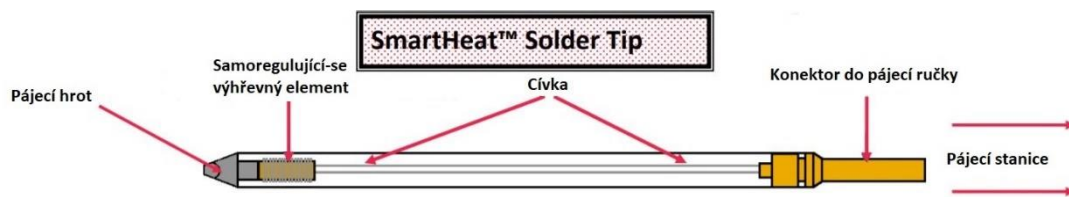


Obr. 2.6: Průřez pájecího hrotu s rychlou obnovou tepla (převzato z [15])

2.3.3 Pájedlo s indukčním vyhříváním

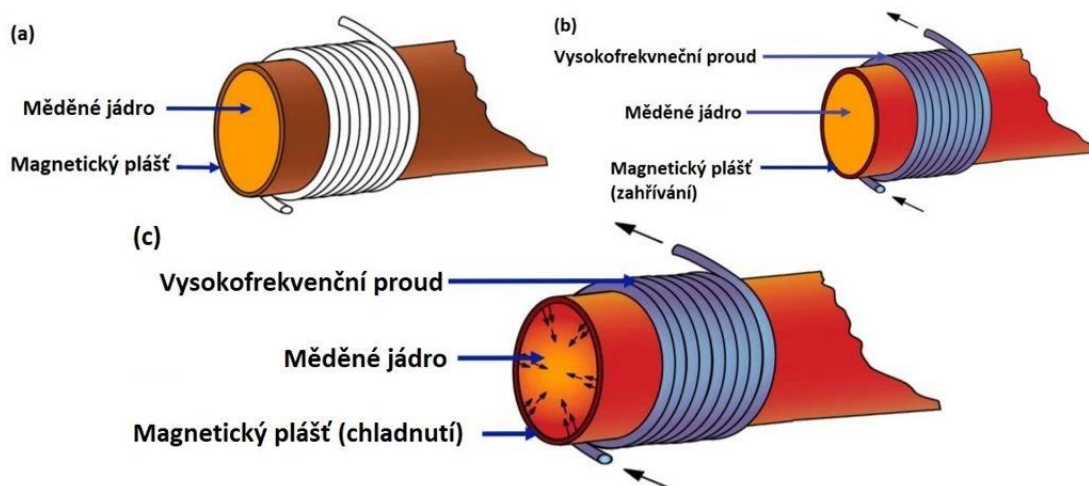
Tento systém poprvé využila firma Weller. Dodává na trh pájedla s klasickým odporovým vyhříváním ale s upraveným hrotem. Ten má v sobě magnetické tělísko, které udržuje kontakt napájecích vodičů výhřevného elementu. Jakmile pájecí hrot přesáhne určitou hodnotu teploty, magnetické tělísko se změní na paramagnetické (ztrácí své magnetické schopnosti) a kontakt pro napájení výhřevného elementu se rozpojí. Takto se velice přesně reguluje teplota [1].

Další, kdo se ujal tohoto systému je americká firma Metcal. Vytvořila pájecí hrot, kde funkci výhřevného elementu zajišťuje feromagnetický materiál. Ten je ovínut cívku, která je připojena na vysokofrekvenční napětí. Na Obr. 2.7 je znázorněn pájecí hrot indukčním vyhříváním firmy Metcal. [1,17]



Obr. 2.7: Pájecí hrot s indukčním vyhříváním (převzato z [17])

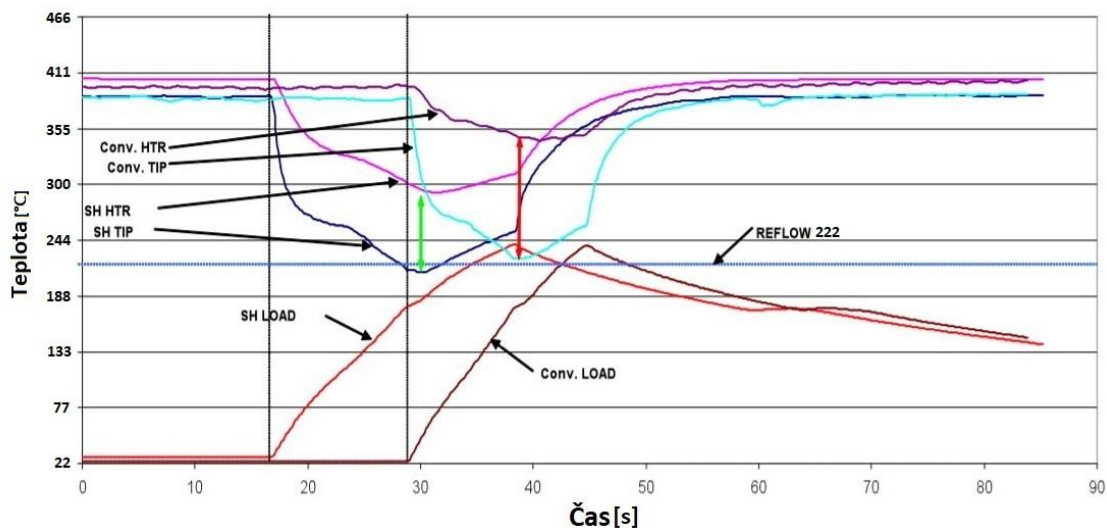
Princip pájecího hrotu s indukčním vyhříváním spočívá v udržování Curieovy teploty v daném materiálu výhřevného elementu. Látky nad Curieovou teplotou ztrácejí své feromagnetické vlastnosti a stávají se paramagnetickými (ztrácejí své magnetické vlastnosti). Například hodnota Curieovy teploty pro železo činí 768 °C. Na Obr. 2.8 je znázorněn systém vyhřívání pájecího hrotu indukčním systémem. Výhřevný element je tvořen měděným jádrem, jehož plášť tvoří magnetická látka. Na magnetický plášť je navinuta cívka, kterou prochází vysokofrekvenční proud z pájecí stanice. Tento vysokofrekvenční proud způsobuje na magnetickém plášti skin efekt, který následně zahřívá měděné jádro viz. Obr. 2.8(b). Jakmile dosáhne magnetický plášť dané teploty, tedy Curieovy teploty, ztrácí plášť své magnetické schopnosti a stává se paramagnetickým. Pokud je plášť paramagnetický, je eliminován skin efekt a plášť se ochlazuje viz Obr. 2.8(c). Jakmile teplota pláště klesne pod Curieovu teplotu, stává se plášť opět feromagnetickým, a se začne zahřívát. Magnetický plášť je speciálně vytvořen pro určité teploty, pokud potřebujeme pájet při teplotě 330 °C, je magnetický plášť zhotoven ze speciální slitiny s Curieovým bodem 330 °C. Jelikož tento systém dokáže velice rychle reagovat na Curieovu teplotu, udržuje pájecí hrot od této teploty ± 1.1 °C. V tomto případě je teplota pájecího hrotu téměř konstantní. Další výhodou tohoto systému je, že teplo není akumulováno v pájecím hrotu, ale je podle potřeby vytvářeno [1,17,18].



Obr. 2.8: Princip indukčního vyhřívání pájecího hrotu (převzato z [17]): (a) základní systém; (b) zahřívání systému; (c) chladnutí systému

Vysokofrekvenční signál je generován pájecí stanicí o kmitočtu 13,56 MHz a 470 kHz (výkon 40 W a 35 W). Pájecí stanice a pájedlo je propojeno koaxiálním kabelem. Samozřejmostí je i ESD ochrana pájedla, takže lze i tímto systémem pájet součástky citlivé na elektrostatický výboj [1].

Indukční vyhřívání pájecího hrotu má určité změny oproti odporovému vyhřívání. Především zde sehraje roli absence možnosti si nastavit přesně definovanou teplotu podle uživatele. Na jeden pájecí hrot se váže jedna teplota, takže pokud by uživatel potřeboval náhle teplotu zvýšit, musí zaměnit hrot, který má vyšší Curieovu teplotu. Oproti tomu mohou pájecí stanice s indukčním vyhříváním poskytnout velice přesnou a stabilní pracovní teplotu pájecího hrotu, což je určitě výhodou pro výrobní provoz, kdy operátor nemá jak nedopatřením např. zvýšit teplotu pájecího hrotu. Další výhodou je bezesporu kalibrace teploty, která se u indukčního vyhřívání neprovádí. To nám opět zvyšuje přesnost pájecího procesu. Naopak u pájecích stanic s odporovým vyhříváním je kalibrace teploty nutná z důvodu časové degradace termočlánku nebo požívání různých pájecích hrotů. Pájecí stanice s odporovým vyhříváním jsou spíše vhodné pro pozice, na kterých je potřeba častěji měnit pájecí hroty za jiné a taktéž měnit jejich pracovní teplotu. Z hlediska časové odezvy na pájený spoj je pájecí stanice s indukčním vyhříváním o krok lepší než stanice s odporovým vyhříváním. Na Obr. 2.9 je porovnáván indukční pájecí hrot od firmy Metcal a konvenční pájecí hrot s odporovým vyhříváním. Z obrázku je patrné, že teplota indukčního pájedla klesne rychleji, neboť teplo není v pájedle shromažďováno. Tím je docíleno rychlejší zpětné vazby a systém je schopný rychleji reagovat na změnu teploty. Také si zde můžeme povšimnout, že teplota výhřevného elementu se oproti teplotě pájecího pera značně liší. U odporového vyhřívání pájecího pera bez rychlé obnovy tepla může za tuto rozdílnou teplotu především vzduchová mezera mezi vyhřívacím elementem a pájecím hrotem. U pájecích hrotů s rychlou obnovou tepla je tento jev do značné míry eliminován, kdy výhřevný element, termočlánek a pájecí hrot je umístěn jako celek v kompaktním pájecím hrotu. [1,17]

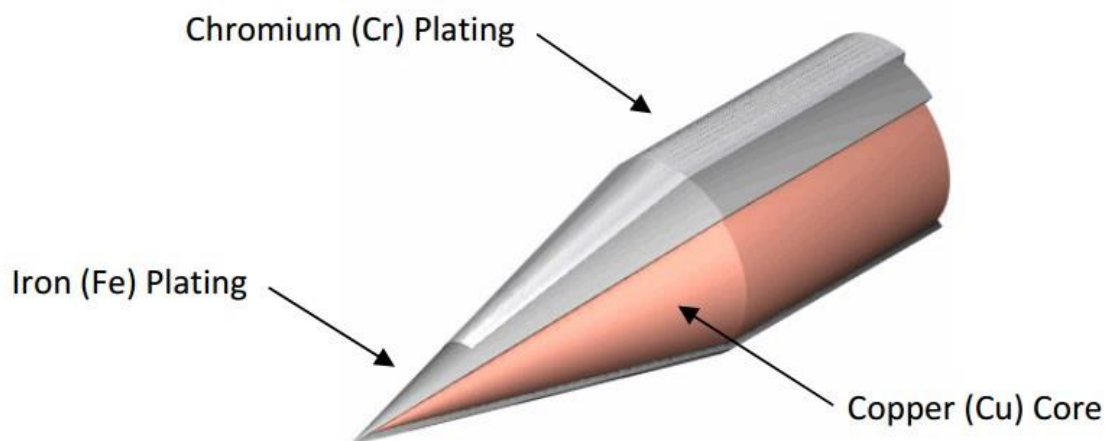


Obr. 2.9: Časová odezva indukčního a odporového pájedla (převzato z [17])

2.4 Pájecí hrot a jeho životnost

Pájecí hrot je nedílnou součástí každé pájecí stanice. Je to hlavní prvek, kterým se provádí kontaktní pájení. Existuje velké množství pájecích hrotů, které se jsou speciálně vytvořeny pro určitou manipulaci při pájení. Vždy by se mělo využívat přiměřené velikosti pájecího hrotu, vůči pájenému bodu. V dnešní době můžeme pájecí hroty kategorizovat do skupin: klasické pájecí hroty, pájecí hroty s rychlou obnovou tepla a pájecí hroty s indukčním vyhříváním.

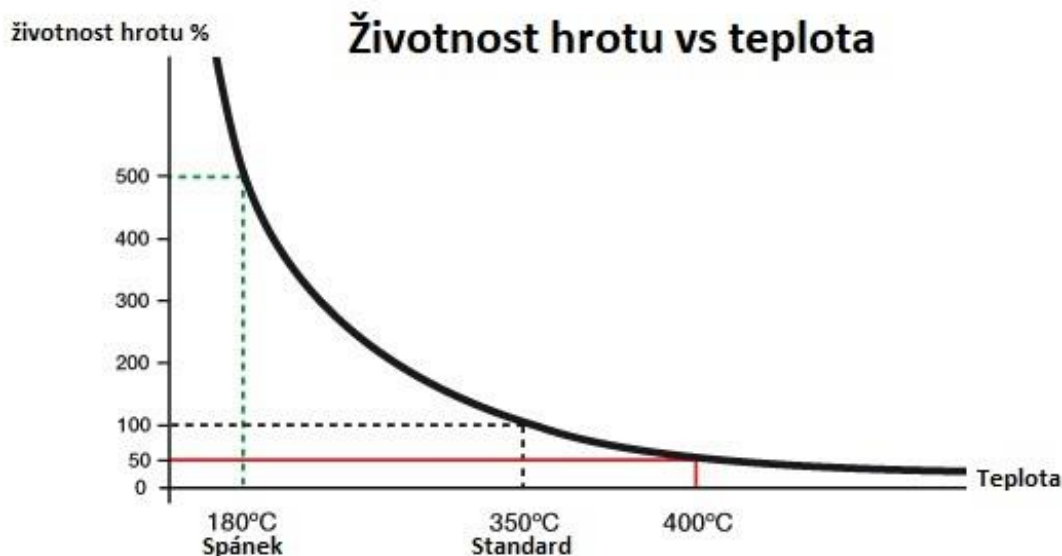
Na Obr. 2.10 je zobrazen průřez pájecím hrotem. Samotný pájecí hrot má jádro z mědi. Měď je snadno zpracovatelná a velice dobře vede teplo. Následuje vrstva železa, jenž tvoří základní pracovní vrstvu. Tloušťka vrstvy železa se pohybuje od 76 μm do 254 μm . Na vrstvě železa je kvůli ochraně kvůli korozi nanášena vrstva chrómu v tloušťce od 0,5 μm do 2 μm . Železo je snadno dostupné a cenově přijatelné a slouží jako pokovení pájecího hrotu. Je to také zároveň kritická část pájecího hrotu, protože péče o tento povlak určuje životnost pájecího hrotu a kvalitu pájení. i přes sebelepší péči o pájecí hrot má pokovení svoji životnost, tedy v důsledku vad na železném povrchu může dojít k nesmáčení pájky na pájecím hrotu. Již z výroby nám přijde pájecí hrot, který má na špičce pájecího hrotu nanášenou pájku. Toto pokrytí hrotu pájkou slouží, aby nám hrot nezačal oxidovat. Vrstva pájky tvoří ochranný povlak hrotu, pod který se nemůže dostat kyslík, který by jinak reagoval s pokovením hrotu a vznikala koroze. Pájka používaná k pájení, by měla být vždy od certifikovaného výrobce. Nekvalitní pájky mohou obsahovat nečistoty, které se během procesu pájení nahromadí na pájecím hrotu a tím sníží efektivní přenos tepla. Vady pokovení se mohou kategorizovat do čtyř skupin: namáhání nebo popraskání, koroze, „odsmáčení“ a opotřebení nebo otěr. [1,9,24]



Obr. 2.10: Průřez pájecího hrotu (převzato z [21])

2.4.1 Teplo

Životnost pájecího hrotu je pro pájecí proces velice důležitá. Existuje mnoho návodů, tipů a doporučení k prodloužení životnosti pájecího hrotu. Základní chybou, jíž se uživatelé dopouštějí je nastavení příliš vysoké teploty při procesu pájení. Doporučená pracovní teplota pájecího hrotu podle výrobce Hakko pro olovnaté pájecí slitiny je v rozmezí 303 °C až 330 °C. Pro bezolovnaté pájecí slitiny je pracovní teplota přibližně 340 °C až 380 °C. Zde záleží, jaký typ vyhřívání v pájecím peru využíváme, protože u pájecích hrotů s efektivnějším přenosem tepla, je pracovní teplota menší [20]. Vyšší teplota ovlivňuje pravděpodobnost oxidace a chemickou korozi kovů. Tavidlo v trubičkové pájce je více aktivnější, což má za následek urychlení funkce tavidla. Dále nám vyšší teplota způsobuje rychlejší degradaci pokovení pájecího hrotu, který je následně více náchylnější k popraskání. Takovýto hrot ztrácí časem schopnost smáčení se v pájce. Na Obr. 2.11 je znázorněn předpokládaný průběh životnosti pájecího hrotu v závislosti na nastavené teplotě pájecího hrotu. Z obrázku si můžeme všimnout, že obvyklá životnost pájecího hrotu je při nastavené teplotě 350 °C. Pokud budeme teplotu neúměrně zvyšovat na dobu nezbytně nutnou, hrozí rapidní zkrácení životnosti. Dnes již většina digitálních pájecích stanic obsahuje funkci „sleep mode“, kdy pájecí stanice pozná neaktivitu pájecího pera a nastaví automaticky teplotu hrotu na buď námi definovanou teplotu nebo automaticky zvolenou pájecí stanicí. [19,21]



Obr. 2.11: Životnost pájecího hrotu v závislosti na teplotě (převzato z [21])

2.4.2 Koroze

Dalším častým problémem je koroze pájecího hrotu. Koroze na pájecím hrotu vytváří film oxidů, které ztěžují přenos tepla z pájecího hrotu na pájený spoj. Uživatel potom chybně vyvine větší tlak na pájecí hrot, v očekávání že se přenos tepla zlepší. Koroze na pájecím hrotu souvisí s tavidlem použitým s pájkou. Železná vrstva pájecího hrotu reaguje s tavidly obsažené v trubčkové pájce. Tavidlo má za úkol zlepšit „smáčitelnost“ pájeného spoje. Bohužel čím víc je tavidlo aktivnější, tím více je pravděpodobnější že bude reagovat s železnou vrstvou na pájecím hrotu a zeslabovat jej. Řešením je udržovat pájecí hrot čistý bez tavidlových zbytků a staré pájky. Hrot můžeme čistit například houbičkou pro pájecí hroty, která musí být pouze navlhčená. Pokud by byla houbička nasáklá vodou více než je přípustné, bude nám vznikat při každém otírání pájecího hrotu tepelný šok pájecího hrotu, kdy se hrot prudce ochladí o mokrou houbičku. Tato chyba opět snižuje životnost pájecího hrotu. Čistící houbička se musí udržovat v čistotě. Tavidlové zbytky, které se do ní otírají, se mohou znovu dostat na pájecí hrot a tento čistící proces by neměl význam. Alternativou k čistícím houbičkám jsou drátkové čističe hrotů. Jsou vyrobeny z mosazných nebo nerezových špon pokryté tavidlem. Výhoda drátkových čističů je, že jsou méně korozně a tepelně agresivní vůči pájecímu hrotu. [1,23]

2.4.3 „Odsmásnění“

Jedná se o nejobvyklejší formu vady pokovení pájecího hrotu. Schopnost „smásnění“ znamená schopnost pájky přilnout k pájecímu hrotu. Primární příčinou odsmásnění je oxidace pájecího hrotu. Oxidace na pájecím hrotu funguje jako tepelný izolant a zároveň se na této vrstvě železného oxidu nesmáčí pájka. Pájka se poté na pájecím hrotu buď vůbec nesmáčí nebo vytváří kuličky. Odsmásnění přímo souvisí s oxidací pájecího hrotu. Oxidace je přirozený jev při pájení. Tavidlo obsažené v trubičkové pájce reaguje s železnou vrstvou na pájecím hrotu. Je důležité vybírat tavidlo, které nebude příliš agresivní. [1]

Pokud chceme udržovat pájecí hrot v dobré kondici je nutné dodržovat několik způsobů, jak oxidaci minimalizovat. Nikdy bychom neměli nechávat pájecí hrot bez pájky. Vždy po očištění od staré pájky, nanese se na pájecí hrot pájka novou. Tato vrstva pájky vytvoří ochranný povlak, který brání přístupu vzduchu na železnou vrstvu pájecího hrotu. Dodržovat teplotní meze pro pájecí hrot. Vyšší teploty urychlují chemické procesy na pájecím hrotu. Je vhodné vždy pájet při nižších teplotách, tak můžeme výrazně prodloužit životnost pájecího hrotu. Také tím předejdeme poškození pájecích plošek na desce plošných spojů. Pokud zrovna pájedlo nepoužíváme, je vhodné vypnout jeho napájení, nebo pokud máme pájecí stanici, která disponuje funkcí „sleep mode“, tak tuto funkci aktivovat. Dále je vhodné udržovat v dobré kondici prostředky, kterými čistíme pájecí hroty. Jak již bylo řečeno, na čistících houbičkách pro pájecí hroty, ulpívají tavidlové zbytky a stará pájka. Je proto nutné tuto houbičku čistit, aby se nám tyto nečistoty opět nedostaly na pájecí hrot. S čistící houbičkou souvisí i voda, kterou tuto houbičku vlhčíme. Voda by neměla být tvrdá nebo s obsahem chemikálií. Tyto chemikálie mohou vytvářet přivařený, nesmáčitelný povrch. Řešením je použití deionizované nebo destilované vody. [1]

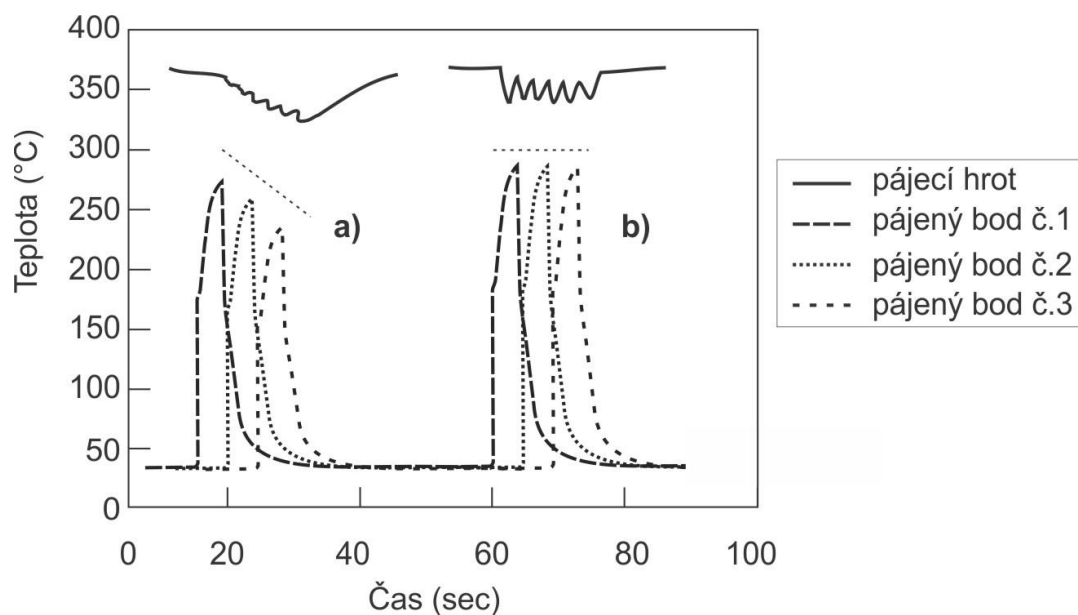
2.4.4 Opotřebení a obrušování

Opotřebení je u pájecího hrotu obvyklý druh vady. Při každém přiložení pájecího hrotu na pájený spoj vzniká tření mezi pájecím hrotem a pájeným materiálem. Takto vzniká mírné obrušení pokovené vrstvy pájecího hrotu. Tomuto opotřebení se nelze vyhnout a je to tedy normální jev. Záleží na výrobcu, jak tlustou vrstvu železného pokovení dodává na pájecím hrotu a také na postupech operátora. Drobné hroty, například určené pro pájení SMD součástek, mají železnou vrstvu tenčí, než hroty určené pro pájení vývodových (THT) součástek. Tloušťka železné vrstvy souvisí s tepelnou odezvou. Pájecí hroty s tenkou železnou vrstvou mají rychlejší reakční dobu na změnu teploty na pájecím hrotu než hroty s tlustou železnou. Pokud se tato železná vrstva spotřebuje úplně, objeví se na pracovní ploše pájecího hrotu dutinka. Nikdy bychom neměli používat k čištění pájecího hrotu brusné materiály. Smirkový papír, pilníky nebo brusné plátno. Všechny tyto materiály obrušují nepřiměřeně pájecí hrot a postupem času jej mohou zničit. Vždy by se mělo využívat doporučených a přímo tomu určených čistících prostředků. [1]

2.4.5 Vliv bezolovnaté pájky na pájecí hrot

Hlavní nevýhoda bezolovnatých pájecích slitin je vyšší teplota tavení. Tato teplota je zhruba o 20 až 45 °C vyšší než u Sn/Pb pájek. Tato vyšší teplota má vliv na životnost pájecího hrotu. Jak je již výše zmíněno, vyšší teploty nejsou pro pájecí hrot příliš ideální a neustálé velké tepelné zatížení, zkracuje pájecímu hrotu životnost. S vyšší teplotou souvisí oxidace. Bezolovnaté pájky oxidují na pájecím hrotu 4 až 5 x více než pájky olovnaté. Tato oxidace může vypadat tak, že nám pájecí hrot zčerná. Na pájecím hrotu se vytvoří materiál, který brání v efektivním přenosu tepla na pájený spoj. [1,25]

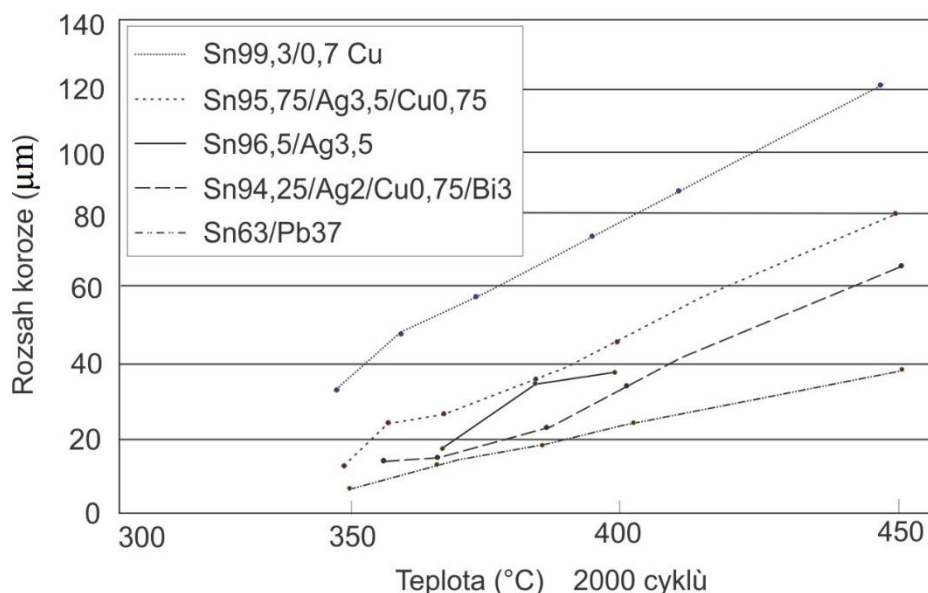
Jelikož bezolovnaté pájecí slitiny potřebují vyšší pracovní teplotu pájecího hrotu, je nutné tuto teplotu hlídat a udržovat. Pokud budeme uvažovat pájení ve výrobě, je velice důležité udržovat konstantní teplotu pájecího hrotu. Pokud tato podmínka není splněna, hrozí, že se nám pájka nepřetaví a vznikne špatný spoj, který může ohrožovat funkčnost pájeného výrobku. V závislosti na spolehlivosti pájení bezolovnatou pájkou, byl proveden pokus firmou Hakko. Byla použita dvě pájecí pera s výkonem 50 W a bezolovnatá pájka SAC305 (Sn96,5/Ag3/Cu0,5). První pájecí pero využívalo běžný pájecí hrot (bez rychlé obnovy tepla). Druhé pájecí pero disponovalo pájecím hrotem s rychlou obnovou tepla. Předmětem pájení byla deska s vývodovými součástkami ve třech sekcích. Čas mezi jednotlivými sekcemi byl stanoven na 3 vteřiny. Na Obr. 2.12 je znázorněn průběh měřených teplot pájených bodů a pájecích hrotů během jednotlivých cyklů. Je zde zřetelně vidět, že pájecí pero s běžným pájecím hrotem, není schopné rychle dorovnat teplotu pájecího hrotu během druhého a třetího pájeného spoje jak pájecí hrot s rychlou obnovou tepla. Takto je způsoben nekvalitní pájený spoj, který může být kritický pro funkčnost výrobku. Zároveň zde můžeme pozorovat, že není potřeba zvyšovat neúměrně teplotu pájecího hrotu, ale je potřeba dodat pájenému místu dostatečnou energii pro správné zapájení vývodu. [1]



Obr. 2.12: Rozdíl mezi obyčejným pájecím hrotem a hrotem s vysokou obnovou tepla (převzato z [1])

Další příčinou zkrácení životnosti pájecího hrotu s použitím bezolovnaté pájky je v podstatě to, že bezolovnatá pájka je oproti olovnaté tvrdší. Takováto struktura bezolovnaté pájky působí negativně na železnou vrstvu pájecího hrotu, která je více namáhána. Kombinace většího namáhání a vyšší teploty způsobuje oxidaci pájecího hrotu. Tento jev byl opět zkoumán společností Hakko, kdy byly použity pro test pájky různého složení (olovnaté i bezolovnaté). Na Obr. 2.13 je vidět míra koroze po 2000 cyklech. Hlavní roli zde hraje teplota. Nejlepších výsledků dosahuje olovnatá pájecí slitina Sn63/Pb37, kdy po cyklování je měřená koroze v řádech jednotek μm . Naopak nejhůře dopadla bezolovnatá pájecí slitina Sn99,3/Cu0,7. Měřená koroze po testu dosahoval přibližně 120 μm . Nejčastěji využívaná bezolovnatá pájecí slitina SAC305 měla naměřenou hodnotu koroze po testu přibližně 80 μm . Míru koroze určuje procentuální obsažení cínu v pájecí slitině. Cín snadno reaguje s povrchem hrotu, a proto vzniká koroze. [1]

Bezolovnaté pájecí slitiny slouží jako aktuální náhrada olovnatých pájecích slitin. Snaha výrobců je se přiblížit se vynikajícím vlastnostem olovnatých pájek. Bohužel zatím není nalezena náhrada za olovo, které olovnatým pájkám propůjčovalo vynikající vlastnosti. Nejčastěji využívaná bezolovnatá pájecí slitina SAC305 se vlastnostem olovnatým pájecím slitinám jenom přibližuje. Bohužel u bezolovnatých pájecích slitin je řada nevýhod, které je nutné eliminovat větším úsilím v pájecím procesu. Je zde potřeba vyvinout větší péči o pájecí hrot a celkovou manipulaci s pájecím hrotem. Pájecí hroty by měli mít odpovídající velikost a s tvar pro určenou aplikaci. Důležité je nenastavovat na pájecích stanicích neúměrně vysoké teploty, které snižují životnost pájecímu hrotu. Dále je vhodné volit pájecí stanice s dostatečným výkonem a tepelnou regulací. Tak zajistíme optimální přenos tepla na pájený spoj, bez větších teplotních výkyvů. [1]



Obr. 2.13: Vliv složení pájecí slitiny a intenzita koroze (převzato z [1])

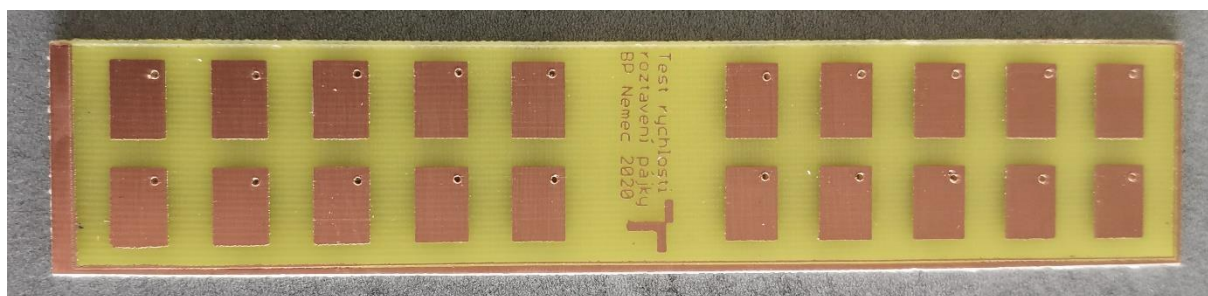
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část této práce se zabývá sledováním vlastností pájecích stanic s rozdílným vyhříváním pájecího hrotu. Využívané pájecí stanice během experimentální části byly Hakko FX-100 (výkon pera až 50 W) s indukčním vyhříváním pájecího hrotu a Hakko FN-1010 (výkon pera až 100 W) s odporovým vyhříváním pájecího hrotu, rychlou obnovou tepla a podporou IoT.

Měření probíhalo ve čtyřech etapách. První měření testovalo rychlost přetavení bezolovnaté pájky na pájecích ploškách. Pro tento test byly vyrobeny speciální pájecí kupony. Cílem tohoto testu bylo objasnit, který výhřevný systém dokáže dodat největší množství energie do pájeného bodu za co nejkratší časový úsek. Druhá část měření představovala zkoumání rychlosti přetavení bezolovnaté pájecí pasty, kdy byl pájecí hrot umístěn v určité vzdálenosti od místa natisknuté pájecí pasty. V tomto testu se zkoumala teplotní kapacita pájecích hrotů a její vliv na rychlost přetavení. Třetí měření mělo za úkol objasnit velikost teplotní kapacity pájecích hrotů. Z dosažených výsledků poté doporučit, který systém vyhřívání je vhodnější pro praxi. Poslední měření simulovalo ruční pájecí proces, pro zjištění životnosti pájecího hrotu. Pro tyto účely byla využita pájecí stanice Hakko FX-100 s indukčním vyhříváním hrotu a bezolovnatá trubičková pájka Kester SAC305 s tavidlem ROL0. Po skončení testu byl proveden mikrovýbrus, kvůli přehledu poškození povrchové úpravy hrotu.

3.1 Rychlost přetavení pájky

Pro tento test musely být vyrobeny speciální pájecí kupony. Byla využita jednostranně plátovaná deska DE-104 s tloušťkou substrátu 1,5 mm a 35 μ m měděné vrstvy. Desky po procesu vyvolávání a leptání byly nastříhány na výsledné kupony Obr. 3.1. Pro sledování teploty pájky na pájecích ploškách musely být zhotoveny otvory skrz pájecí plošku a substrát. Průměr vrtáku pro otvory na termočláanky byl zvolen 1,2 mm. Takto navrhané pájecí plošky byly připravené na pokrytí bezolovnatou trubičkovou pájkou Kester Sn96,5Ag3Cu0,5 s tavidlem ROL0 s hmotnostním podílem 2,2 %. Pro dosažení stejných parametrů na každé pájecí plošce, byla trubičková pájka odměřena na váze. Hmotnost aplikované pájky činila 300 mg. Připravený kupon pro provedení měření je znázorněn na Obr. 3.2.



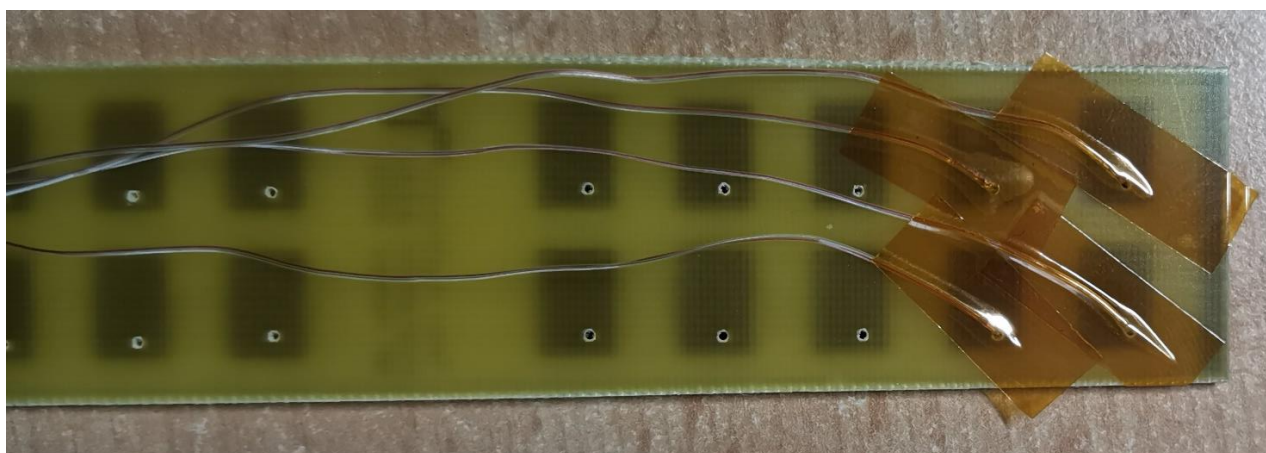
Obr. 3.1: Nachystaný kupon pro trubičkovou pájku



Obr. 3.2: Kupon s bezolovnatou trubičkovou pájkou Kester SAC305

K měření teploty na pájecích ploškách, sloužily termočlánky typu K (SRTC-TT-K-40-36) od firmy Omega Engineering (USA). K jejich uchycení slouží již předvrtané díry do pájecích plošek. Termočlánky umístěné do děr byly fixovány kaptonovou páskou pro stabilitu a neměnnou pozici během testování, tak jak je zobrazeno na Obr. 3.3. Takto nachystané pájecí kupony byly připraveny na provedení samotného testu.

Pro toto měření byly využity pájecí stanice Hakko FX-100 s indukčním vyhříváním pájecího hrotu a Hakko FN-1010 s rychlou obnovou tepla a podporou IoT. Ačkoliv si na stanici nastavíme požadovanou teplotu pájecího hrotu, je zřejmé, že při samotném procesu pájení není stanice schopna na hrot okamžitě teplotu vyrovnávat. Pro sledování tohoto jevu, byl na pájecí hrot každé testované pájecí stanice umístěn termočlánek typu K (SRTC-GG-K-36-36) se skelným opředěním. Pro zlepšení přenosu tepla, byla na hrot aplikována malá vrstva pájky Obr. 3.4. Sledovaný parametr byl čas, za který každý z termočláneků dosáhne teplotu 232 °C. Tato teplota byla zvolena záměrně, neboť pájecí slitina Sn96,5Ag3Cu0,5 má teplotu tání v rozmezí 217-220 °C. Každý pájecí hrot měl během testu nastavenou teplotu 400 °C. Kontrola reálné teploty na pájecím hrotu stanice FN-1010 byla ověřena pomocí měřiče teploty Hakko FG-100B a provedena kalibrace. U indukční pájecí stanice Hakko FX-100 není kalibrace možná, neboť teplota je určena magnetickým pláštěm výhřevného elementu.



Obr. 3.3: Fixované termočlánky kaptonovou páskou



Obr. 3.4: Připevněný termočlánek na pájecím hrotu

3.1.1 Testování plochých pájecích hrotů

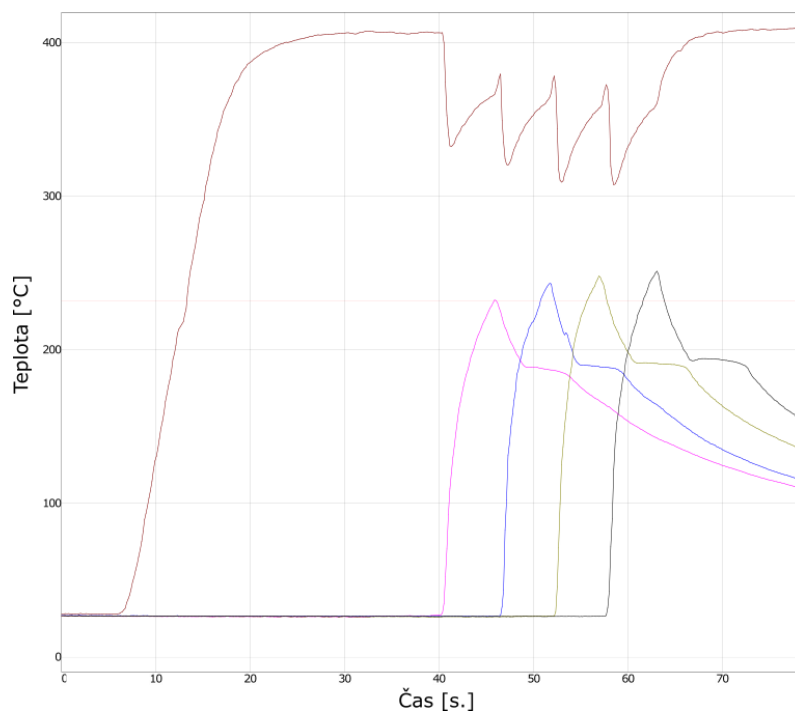
Před začátkem každého testu, byla na každý hrot aplikovaná trubičková pájka pro zlepšení přenosu tepla na pájecí plošku. Měření probíhalo tak, že po nahřátí pájecího hrotu na teplotu 400 °C započalo samotné pájení plošek. Každý testovaný pájecí hrot, absolvoval v rámci jednoho testovacího cyklu, celkem čtyři procesy přetavení trubičkové pájky na pájecích ploškách. Veškeré teploty na pájecích ploškách i na pájecím hrotu, zaznamenával profilometr SlimKIC2000. Dodatečné informace poskytl program pro ovládání pájecí stanice FN-1010. Přes tento program je možné i mimo jiné sledovat teplotu samotného výhřevného elementu, nikoliv teplotu samotného pájecího hrotu. Pro test byly využity pájecí hroty: plochý T36-D24 a kónický T36-D08 pro pájecí stanici FN-1010, plochý T31-02D08 a kónický T31-02D24 pro indukční pájecí stanici FX-100. Tyto využité pájecích hroty, jsou vyobrazeny na Obr. 3.5.



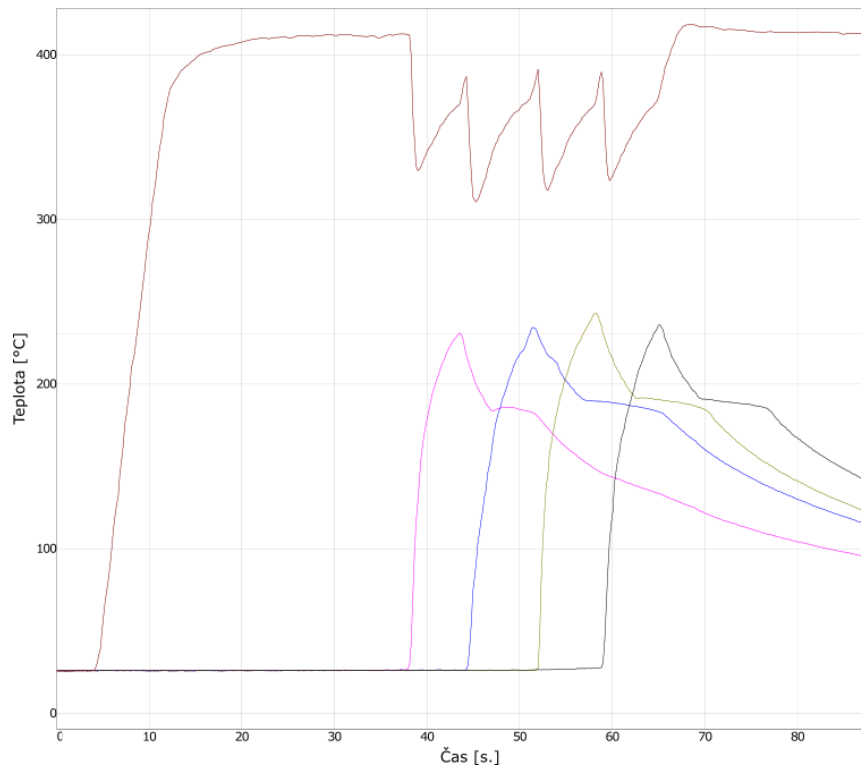
Obr. 3.5: Využité pájecí hroty během testů: T31-02D24 a T36-D08 (vlevo), T31-02D08 a T36-D24 (vpravo)

Naměřené hodnoty z plochých pájecích hrotů jsou zobrazeny na Obr. 3.6, Obr. 3.7 a Obr. 3.8. Určitou zajímavostí je teplota pájecího hrotu v nečinném stavu. Při kontrole teploty na měřiči FG-100B měl pájecí hrot indukční stanice FX-100 odchylku ± 2 °C a pro stanici FN-1010 odchylku ± 4 °C po provedení kalibrace. Ovšem při provádění testů byla teplota kontinuálně zhruba o 8 až 10 °C vyšší. Tato výchylka byla pravděpodobně způsobena neoptimálním umístěním termočlánu a vrstvou roztavené trubičkové pájky. Přítomnost těchto elementů způsobuje odběr tepla z pájecího hrotu a pájecí stanice se snaží vyrovnávat teplotu pájecího hrotu reakcí zvýšené dodávky energie.

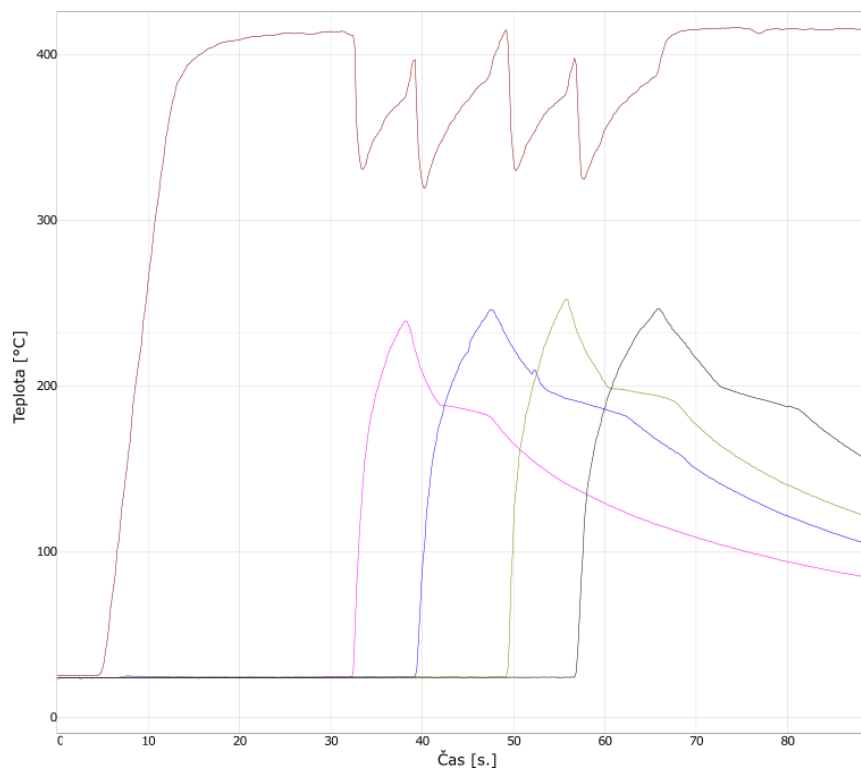
Indukční pájecí stanice Hakko FX-100 disponuje funkcí BOOST, která se snaží agresivněji vyrovnávat teplotu na pájecím hrotu, pokud dochází k velkému tepelnému odběru. Reálná teplota na pájecím hrotu může být mírně zvýšena. Tato funkce byla taktéž využita v testu. Měření bylo prováděno postupně. Nejdříve se získala data z první pájecí plošky a po dosažení námi sledované teploty 232 °C, byl hrot přemístěn na druhou pájecí plošku. Pájecí hrot byl vždy přikládán na střed pájecí plošky, tak aby bylo zajištěno rovnoměrné rozprostření tepla. Snímací termočlánu se nacházely na samotném okraji pájecí plošky.



Obr. 3.6: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010

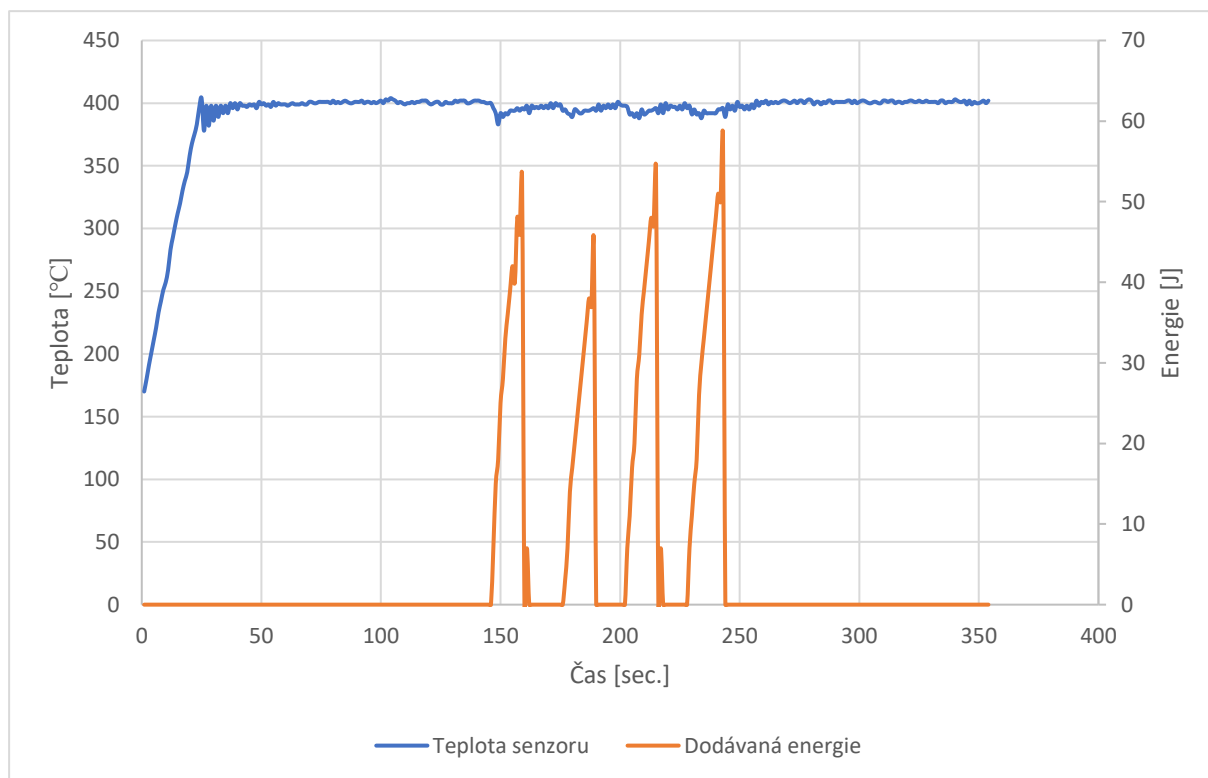


Obr. 3.7: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Normal mode



Obr. 3.8: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Boost mode

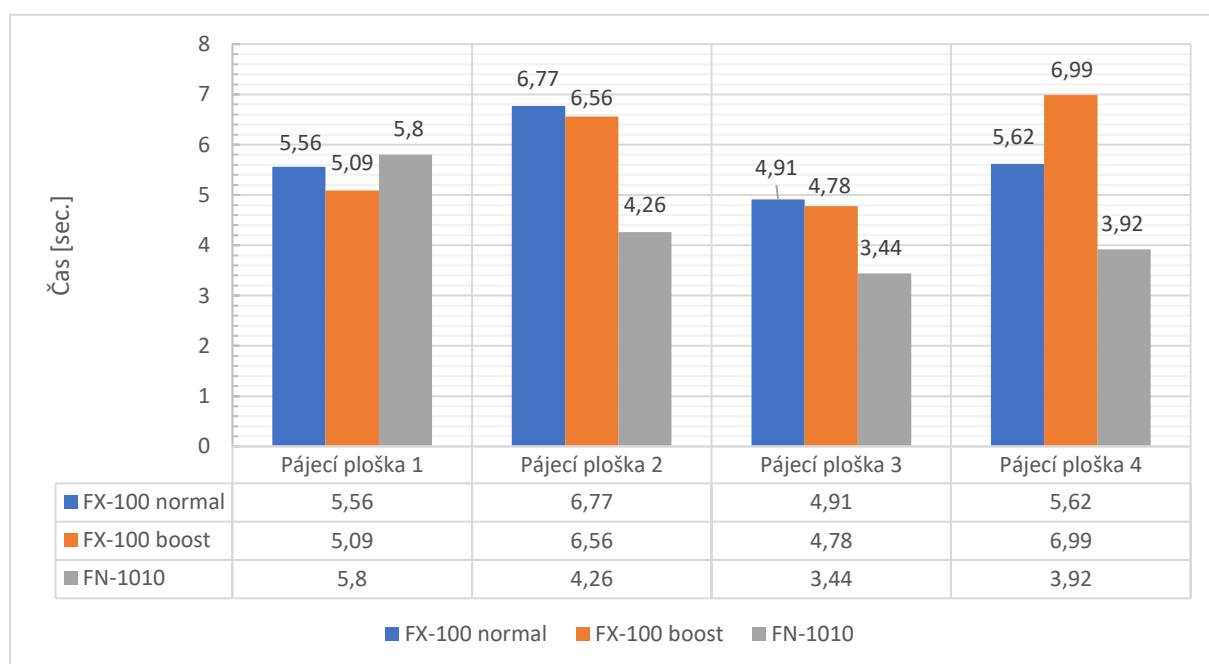
Z výše uvedených průběhů můžeme pozorovat průběhy teplot na pájecích ploškách a samotném pájecím hrotu. Časy přetavení veškerých plošek s použitím plochých pájecích hrotů, jsou uvedeny na Obr. 3.10. Z naměřených časů můžeme tedy určit, že nejrychleji pracovala pájecí stanice Hakko FN-1010, která měla časy přetavení od 3,44 až 5,8 vteřin. Z naměřeného průběhu, je pozorovatelný sestupný trend teploty na pájecích ploškách. Toto je pravděpodobně zapříčiněno klesající energií ve výhřevném elementu. Zde nashromážděná energie je postupně předávána pájecím ploškám a zároveň je doplňována odporovým výhřevným elementem, který svým zahříváním dodává tepelnou energii. Frekvence přikládání pájecího hrotu na plošky byla v našem případě příliš velká, a proto energie postupně klesala. Indukční pájecí stanice Hakko FX-100 dosahovala téměř stejných výsledků v režimu NORMAL tak i v režimu BOOST. Rozdíly v rychlosti byly minimální, ale lepší časy dosahoval režim BOOST. Oproti pájecí stanici zde není patrný sestupný trend teploty. Této skutečnosti napomáhá samotný systém indukční pájecí stanice. Tepelná energie zde není uschovávána, ale je podle potřeby vytvářena. Při přiložení pájecího hrotu na pájecí plošku je energie z velké části přímo aplikována do pájeného spoje. U stanice Hakko FN-1010 jsme měli navíc k dispozici data přímo z pájecí stanice, neboť tato stanice podporuje funkci IoT, jejíž součástí je i logovací program, který umí v reálném čase snímat teplotu výhřevného elementu a dodávanou energii v joulech. Záznam tohoto průběhu je znázorněn na Obr. 3.9.



Obr. 3.9: Průběh teploty a změny dodávané energie na čase v plochem pájecím hrotu stanice FN-1010

Z průběhu je patrné, že teplota výhřevného elementu je v nečinném stavu ustálená okolo 400 °C. Při samotném pájení klesla teplota výhřevného elementu nejnižší na 383 °C, přičemž teplota přímo na pájecím hrotu klesala na průměrných 330 °C. Zde se setkáváme s jistou nepřehledností samotného logovacího systému. Dále zde máme obsaženy informace ohledně dodávané energie do pájeného spoje v jednotkách joule. Tento monitorovací program zaznamenával data každou vteřinu. Přepočtem bylo zjištěno, že dodávaný výkon se pohyboval v rozmezí 45-58 W. Také si můžeme povšimnout opožděné reakce pájecí stanice a ochlazení pájecího hrotu. Čas, po který byl pájecí hrot přiložen na testovací plošku dosahoval zhruba 6 vteřin, ale pájecí stanice začala reagovat až později. Dobu, po kterou pájecí stanice dodávala energii hrotu je podle výsledných grafů okolo tří vteřin. Toto opoždění je pravděpodobně zapříčiněno množstvím nashromážděné tepelné energie v hrotu. Při samotném pájení je energie odebírána postupně a trvá určitou dobu, než se výhřevný element ochladí.

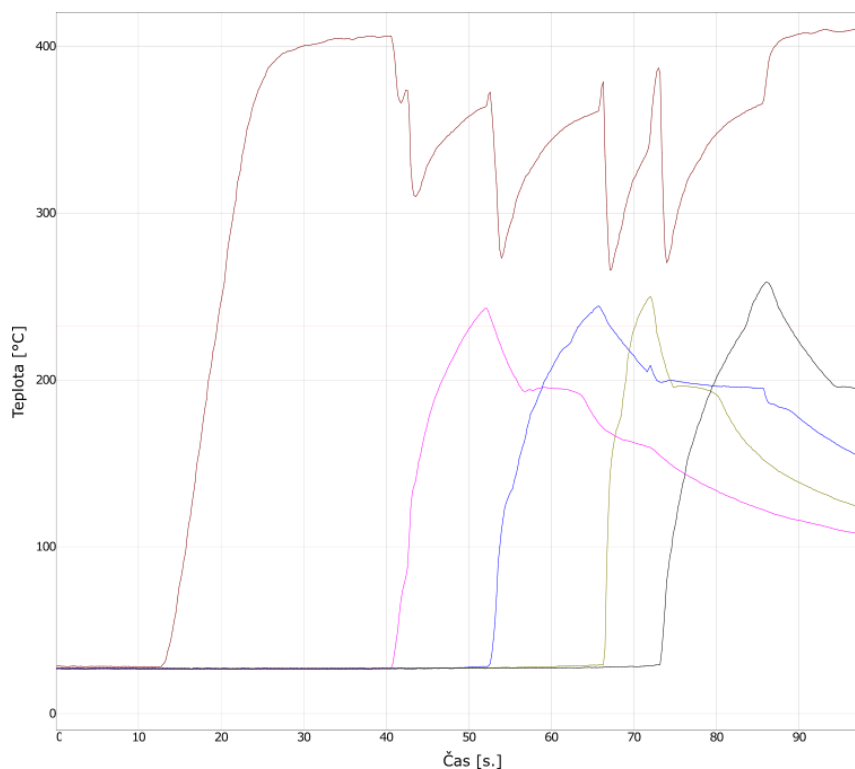
Z dosažených výsledků plochých hrotů je patrné, že nejlepších časů dosahovala pájecí stanice Hakko FN-1010, kde určitou výhodu hrála tepelná kapacita hrotu. Ta může zrychlit a zefektivnit pájení objemnější bodů jako jsou například chladiče nebo součástky s většími kontaktními ploškami.



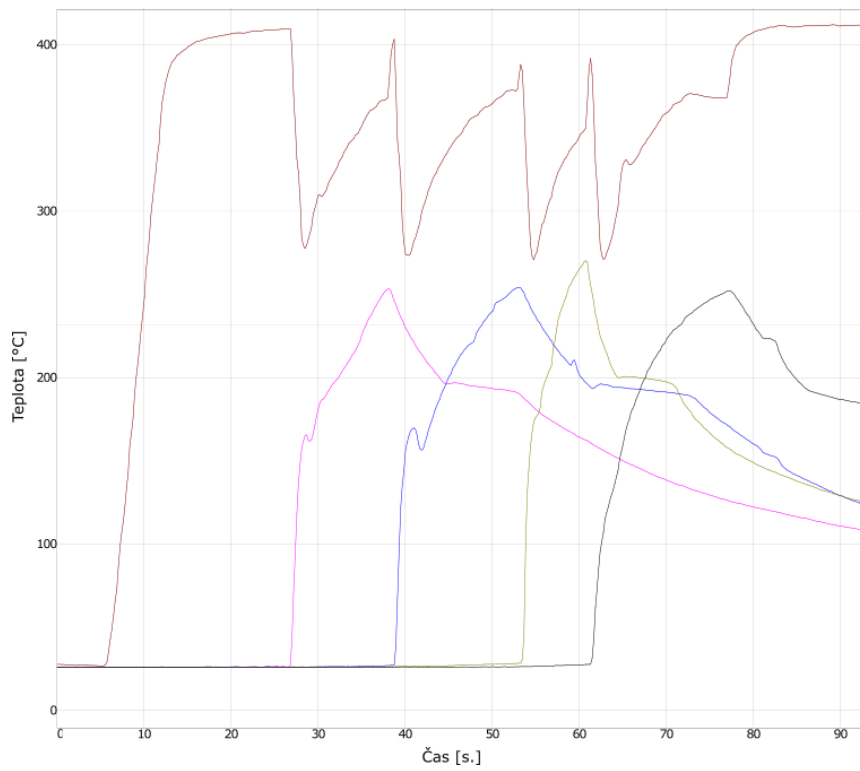
Obr. 3.10: Souhrn dosažených časů přetavení pájky pro ploché pájecí hroty

3.1.2 Testování kónických pájecích hrotů

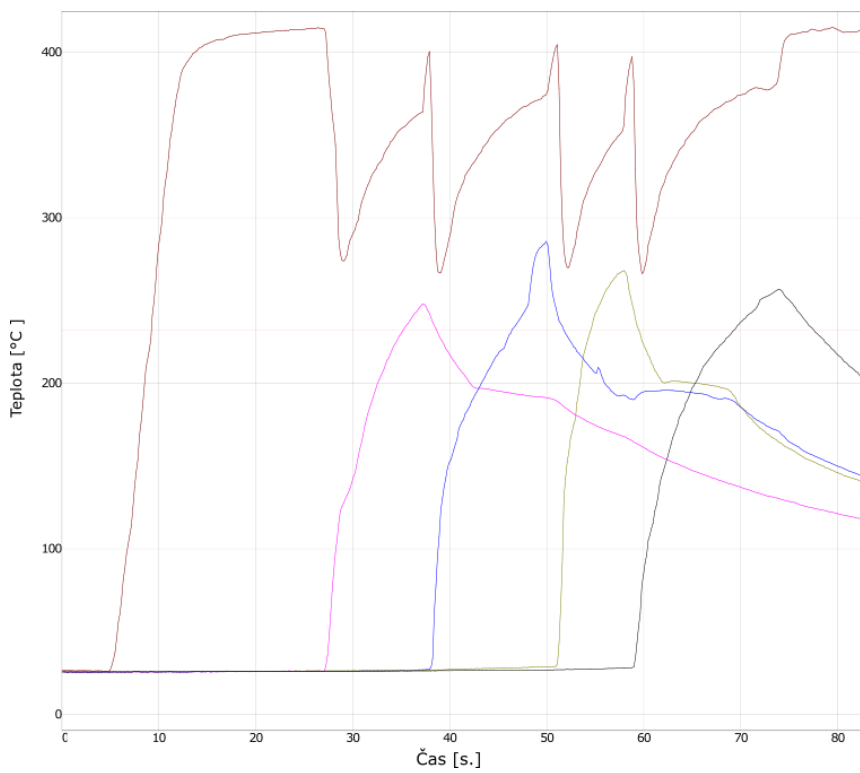
Stejnou metodou byl proveden i test pro pájecí hroty s kónickým tvarem. Na ty byly opět připevněny snímací termočlánky s vrstvou roztavené trubičkové pájky. Výsledné průběhy z profilometru SlimKIC 2000 jsou zobrazeny na Obr. 3.11, Obr. 3.12 a Obr. 3.13. Zde můžeme opět pozorovat zvýšené teploty na pájecích hrotech, které byly pravděpodobně způsobeny vrstvou roztavené pájky a neideálním umístěním termočlánku jakož i elementů odebírající teplo hrotu. Menší kontaktní plocha a teplotní kapacita hrotů měla za následek celkové prodloužení časů přetavení. Nejdleších časů přetavení opět dosáhla indukční pájecí stanice Hakko FX-100 s pájecím hrotem T31-02 D24. a to jak v režimu normal, tak i boost. Průměrný čas přetavení v režimu normal činil 8,38 vteřiny a v režimu boost 6,85 vteřiny. Také zde byl pozorován velice výrazný pokles teploty přímo na pájecím hrotu. Teploty klesaly při přiložení na testovací plošku na průměrných 275 °C. Z průměrů dosažených výsledků, byla stanice v režimu boost zhruba o 1,5 vteřiny rychlejší v přetavení pájecích plošek. Nejlepšího průměrného času s kónickým pájecím hrotem v tomto testu dosáhla stanice Hakko FN-1010. Její průměrný čas přetavení činil 3,78 vteřiny. Ovšem teploty na pájecím hrotu klesaly i pod 260 °C. Z grafů je patrné, že při prvním přiložení hrotu na testovací plošku, měl hrot ještě dost tepelné energie a jeho teplota klesla k 300 °C. Po dalším přiložení hrotu již množství energie klesalo a teploty hrotu klesly až na průměrných 260 °C. S ohledem na výkon pájecích ruček, je právě tato stanice schopna dodat největší výkon do pájecího hrotu (100 W) oproti pájecí stanici Hakko FX-100 (50 W).



Obr. 3.11: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010

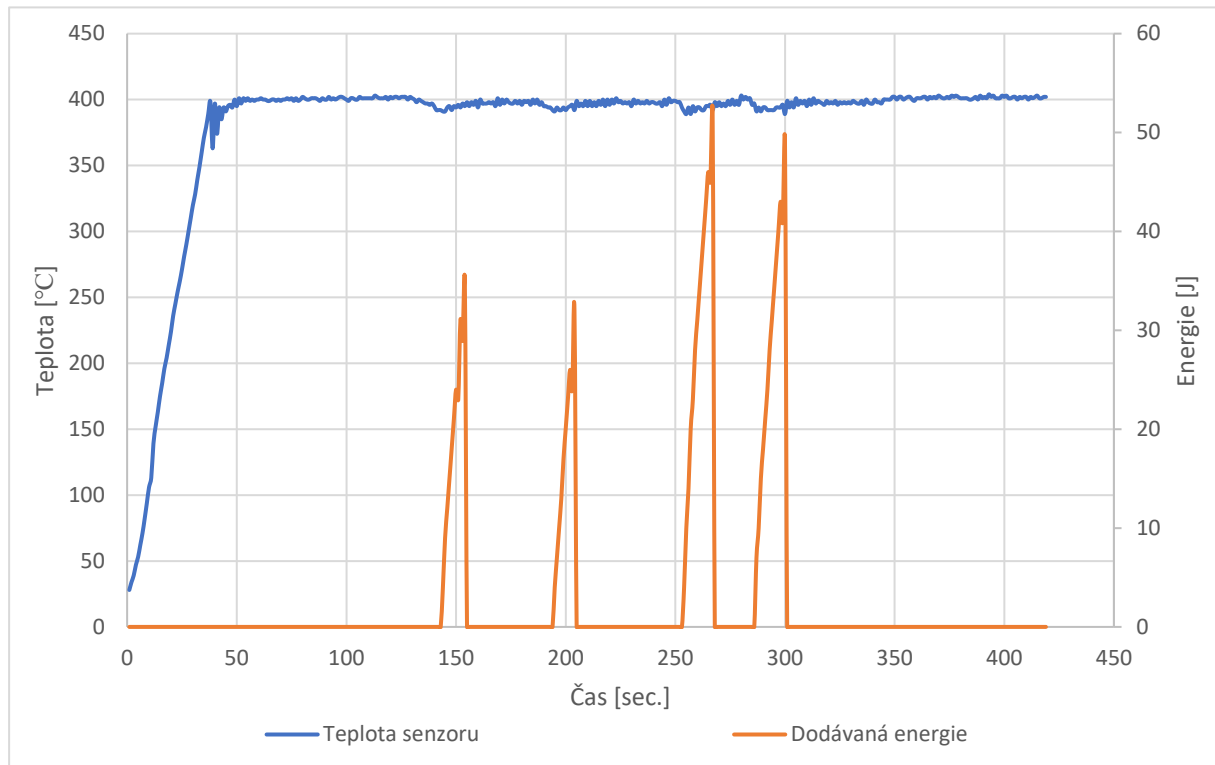


Obr. 3.12: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Normal mode



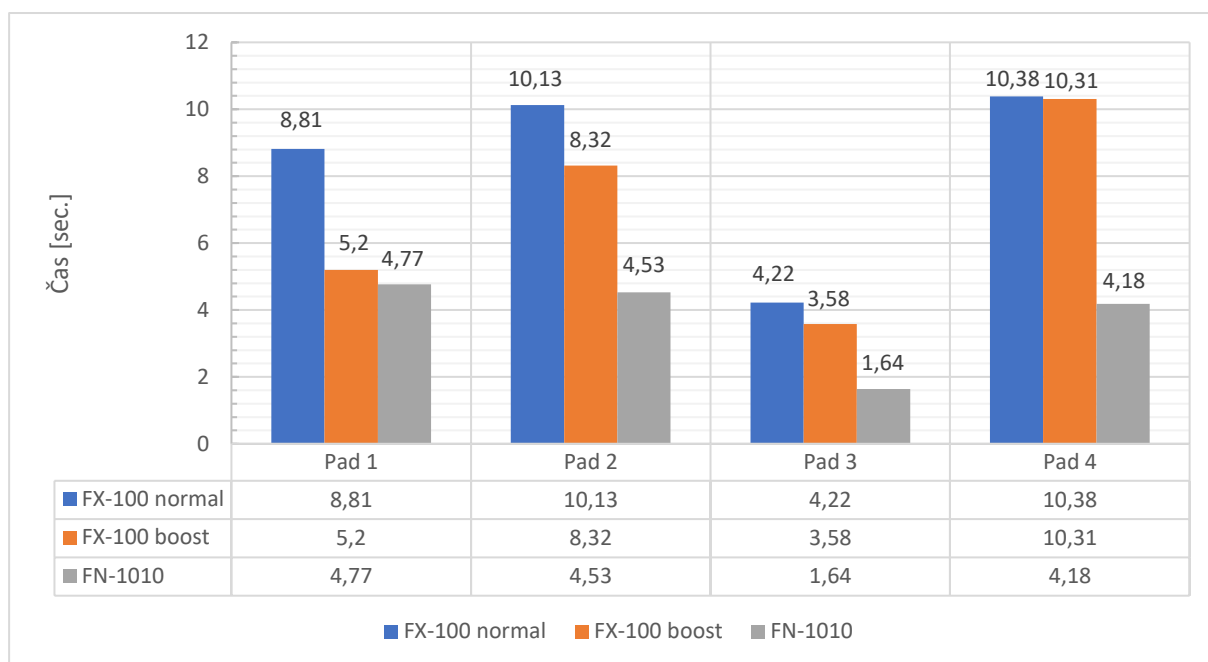
Obr. 3.13: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Boost mode

Pro porovnání byly logovány data z pájecí stanice Hakko FN-1010 pomocí programu určeného pro komunikaci s pájecí stanicí. Získaný průběh během testování je znázorněn na Obr. 3.14. Zde si můžeme opět povšimnout teplotní stability výhřevného elementu, kterou si udržoval na 400 °C. Oproti průběhu z plochého pájecího hrotu T36-D24, zde není tak razantní ochlazení pájecího hrotu během samotného pájení. Teplota výhřevného elementu během pájení třetí plošky klesla na 389 °C a na samotném pájecím hrotu byla teplota okolo 260 °C. Tento teplotní rozdíl je zřejmě způsoben akumulací tepelné energie v oblasti výhřevného elementu a její následnou distribucí pomocí tepelné vodivosti materiálů z nichž je pájecí hrot tvořen.



Obr. 3.14: Průběh teploty a změny dodávané energie na čase v kónickém pájecím hrotu stanice FN-1010

Dále zde můžeme pozorovat snížení dodávané energie do pájecího hrotu oproti plochému pájecímu hrotu T36-D24. Ačkoliv je průměrný čas přetavení pájky kónickým hrotem delší, množství dodávané energie kleslo. Tento jev pravděpodobně zapříčinil tvar pájecího hrotu. Plochý pájecí hrot má několikanásobně větší dotykovou plochu než hrot kónický. Díky tomu, že plochý hrot disponuje větší styčnou plochou, je schopen odevzdat více tepla do pájeného spoje ale zároveň i do desky plošného spoje, která teplo absorbuje. Kónický hrot tedy více soustředí dodávané teplo do pájeného spoje oproti hrotu plochému. Všechny naměřené časy přetavení pájecích plošek pro kónické hroty jsou znázorněny na Obr. 3.15. U třetí pájecí plošky byl pravděpodobně umístěn termočlánek neideálním způsobem, neboť naměřené časy jsou zde zhruba dvakrát kratší.



Obr. 3.15: Souhrn dosažených časů přetavení pájky pro kónické hroty

Test rychlosti přetavení pájky měl do jisté míry poodhalit funkčnost a přednosti zkoumaných systémů vyhřívání pájecích hrotů. Pokud bychom porovnávali pouze časy, za které se nám přetaví pájený spoj, můžeme podle výsledků usoudit, že nejlepšími výsledky dosahuje pájecí stanice Hakko FN-1010. Tato stanice využívá odporový výhřevný element, který má oproti indukční pájecí stanici Hakko FX-100 větší tepelnou kapacitu pájecího hrotu. Zároveň zde ale může nastat riziko poškození teplem okolních součástí nebo samotné pájecí plošky díky nahromaděnému teplu v hrotu. V tomto ohledu je vhodnější indukční pájecí stanice, neboť nám dodává teplo přesně kam je požadováno a nehrozí žádný velký tepelný ráz z nahromaděného tepla v pájecím hrotu. Dále musíme uvážit samotný výkon pájecích hrotů, protože je to jeden z hlavních parametrů pájecích stanic a hrotů. Z testovaných stanic má nejmenší výkon právě indukční stanice Hakko FX-100 s výkonem 50 W oproti stanici Hakko FN-1010 s výkonem 100W. Výsledky časů přetavení mohou mít za důsledek právě zmiňované výkony pájecích stanic. Pro přehled jsou v Tab. 3.1: Průměrné časy přetavení pájky uvedeny průměrné časy přetavení pro ploché pájecí hroty tak i pro kónické.

Tab. 3.1: Průměrné časy přetavení pájky

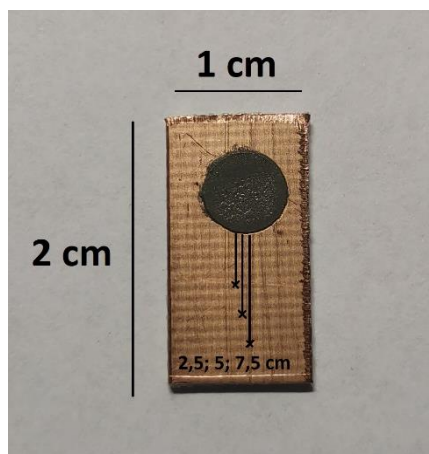
	Plochý	Kónický
FX-100 normal	5.72 s	8.39 s
FX-100 boost	5.86 s	6.85 s
FN-1010	4.36 s	3.78 s

3.2 Rychlost přetavení pájecí pasty

Tepelná kapacita do značné míry ovlivňuje funkčnost a použitelnost pájecích hrotů. Jak již bylo výše zmíněno, hroty s větší tepelnou kapacitou vykazují rychlejší časy v přetavení pájeného spoje. Nicméně dalším důležitým parametrem je také efektivní dodávání tepla do pájecího hrotu s pomocí spolehlivé a přesné zpětné vazby.

Tento test byl inspirován situací, kdy pracovníci opravárenských stanovišť, potřebují pájet součástky s velkou kontaktní ploškou (např. pouzdro D-PAK). Toto pouzdro má jednu rozměrnou plošku, která by se mohla s nedostatečně výkonnou pájecí stanicí nedokonale zapájet. Obecně by mělo platit, že ručně pájené součástky, by neměly být vystavovány nadměrně velkým teplotám během pájení více než je nutné. S průměrně výkonnou pájecí stanicí by se nám podařilo tento vývod zapájet, ale délka samotného ručního pájení by byla nepřiměřeně dlouhá. Pro tuto aplikaci je vhodné zvolit pájecí stanici s rychlou obnovou tepla, nebo jakoukoliv jinou s dostatečným výkonem.

Pro tento test byly opět využity pájecí stanice Hakko FN-1010 a FX-100. Tvary pájecích hrotů byly zvoleny ploché, pro dostatečnou styčnou plochu měděného povrchu s hroty. Stanice FX-100 byla testována v režimu boost a normal. Pro snímání teploty přímo na pájecím hrotu byl opět využit profilometr SlimKIC2000 a termočlánek se skelným opředěním. Testovací kupy byly nastříhány z jednostranné plátované desky DE-104 FY ISOLA, s tloušťkou substrátu 1,5 mm a 35 μm měděného plátování, na rozměr 1x2 cm. Povrch plátování byl před každým testem obroušen smirkovým papírem s hrubostí 2000 a následně očištěn izopropylalkoholem pro dosažení nejvyšší možné čistoty povrchu. Cílem měření bylo zjistit časy přetavení bezolovnaté pájecí pasty, kdy byl pájecí hrot přiložen v určité vzdálenosti od místa natisknutí pasty. Pro větší objektivitu, byl test rozdělen na tři samostatná měření. V první fázi byl hrot umístěn 2,5 mm o okraje natisknuté pasty, dále 5 mm a nakonec 7,5 mm. Byla využita bezolovnatá nízkoteplotní pájecí pasta NEVO Sn42/Bi58 Type 3 s hrubostí zrn 20-45 μm , tavidlem ROL1 a teplotou tání 139 °C. Před použitím této pasty bylo nutné provést její temperaci při pokojové teplotě po dobu nejméně 8 hodin a následně promíchání k zajištění homogenosti. Pasta byla natisknuta pomocí šablony s kruhovým průměrem 6 mm a tloušťkou 0,2 mm. K rovnoměrnému nanesení vrstvy byla využita těrka. Kupon s vrstvou pájecí pasty je znázorněn na Obr. 3.16 s vyznačenými body dotyku pájecího pera.



Obr. 3.16: Připravený kupon s natisknutou pájecí pastou

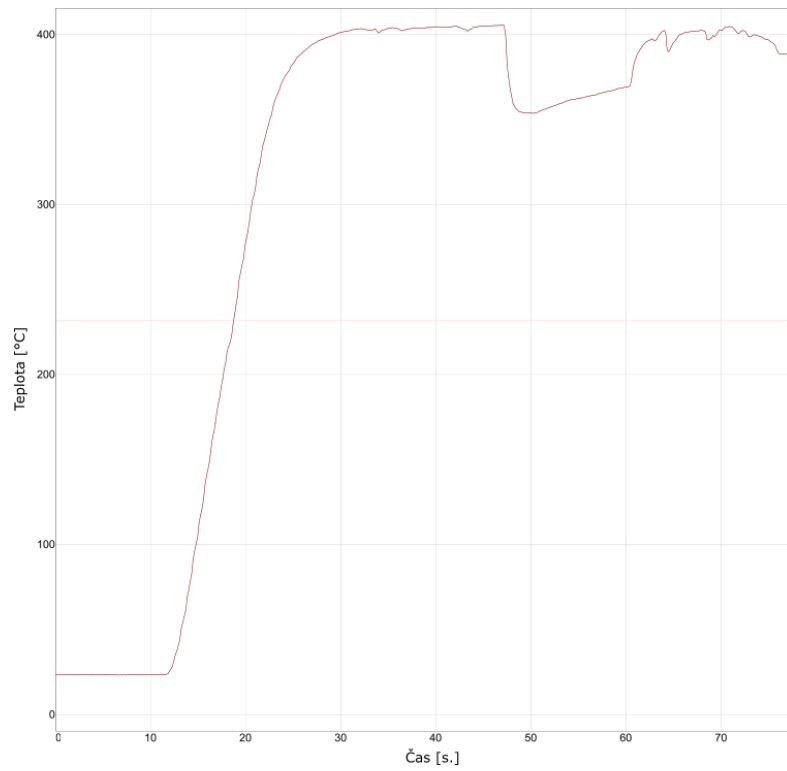
Před započítím každého měření byla opět na každý pájecí hrot nanesena trubičková pájka, pro zlepšení teplotního přenosu na pájecí kupon.

Veškeré zaznamenané průběhy z měření jsou zobrazeny na Obr. 3.17 až Obr. 3.25. Můžeme zde pozorovat vzrůstající dobu přiložení hrotu na pájecí kupon v důsledku zvětšující se mezery od natisknuté pasty. Po přiložení pájecího hrotu na kupon, došlo k jeho prudkému ochlazení a následné snaze stanice vyrovnávat teplotu v pájecím hrotu. Toto dodávané teplo a jeho rozprostírání po ploše kuponu zajistilo přetavení pasty. Zde záleželo na schopnosti pájecí stanice co nejrychleji a efektivněji dodávat teplo do samotného hrotu. Právě ze zmíněných grafů můžeme porovnávat účinnost testovaných stanic. Pokud by šlo čistě o rychlost přetavení pájecí pasty, nejlepší výsledků dosahovala indukční pájecí stanice Hakko FX-100 a to jak režimu normal, tak i v režimu boost. Z průměrných výsledků dosahovala nejlepších časů a také nejmenšího ochlazení hrotu při dotyku na pájecí kupon. Režim boost indukční pájecí stanice vykazoval větší snahu vyrovnávat teplotu na pájecím hrotu což mělo za následek lehce zrychlené časy přetavení, kdy byl hrot umístěn 2,5 mm od hrany natisknuté pasty. Měření času přetavení probíhalo za pomoci časoměřiče, kdy při přiložení pájecího hrotu na kupon se měření spustilo. Přetavení pájecí pasty bylo kontrolováno opticky. Po viditelném přetavení pájecí pasty byl časoměřič zastaven. Veškeré naměřené časy včetně vypočítaného průměru jsou zobrazeny Tab. 3.2.

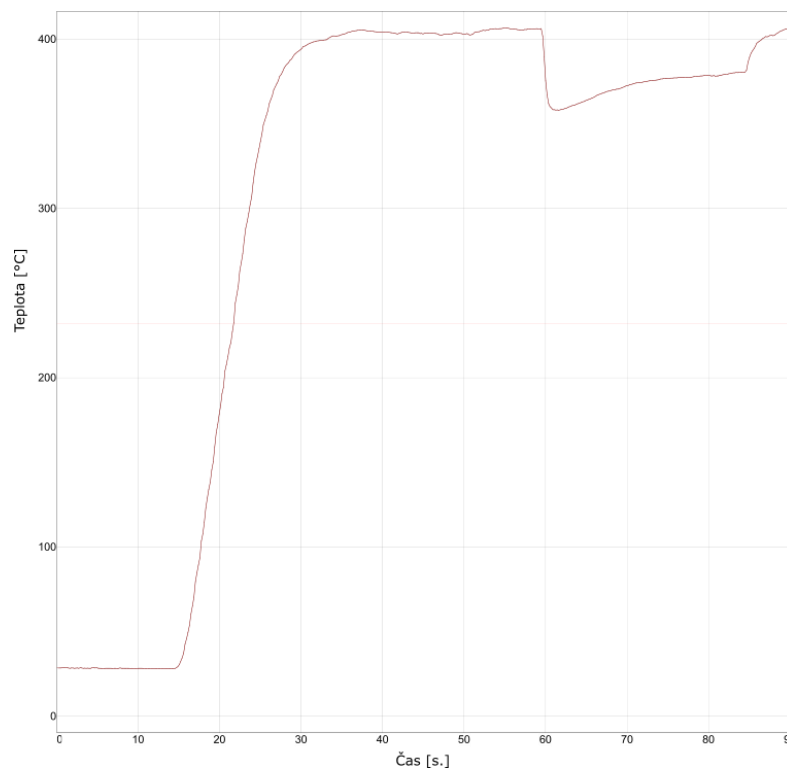
Tab. 3.2: Naměřené časy přetavení pájecí pasty na pájecím kuponu o rozměrech 1x2 cm

	FX-100 Normal			
Vzdálenost hrotu [mm]	Pokus 1 [s.]	Pokus 2 [s.]	Pokus 3 [s.]	Průměr [s.]
2,5 mm	12,88	11,37	13,71	12,65
5 mm	15,35	14,23	16,78	15,45
7,5 mm	32,69	30,25	33,65	32,20
	FX-100 Boost			
Vzdálenost hrotu [mm]	Pokus 1 [s.]	Pokus 2 [s.]	Pokus 3 [s.]	Průměr [s.]
2,5 mm	10,23	11,12	11,95	11,10
5 mm	18,79	19,36	17,55	18,57
7,5 mm	30,24	31,55	29,53	30,44
	FN-1010			
Vzdálenost hrotu [mm]	Pokus 1 [s.]	Pokus 2 [s.]	Pokus 3 [s.]	Průměr [s.]
2,5 mm	13,15	13,55	12,74	13,15
5 mm	24,32	25,65	23,97	24,65
7,5 mm	31,48	32,02	30,98	31,49

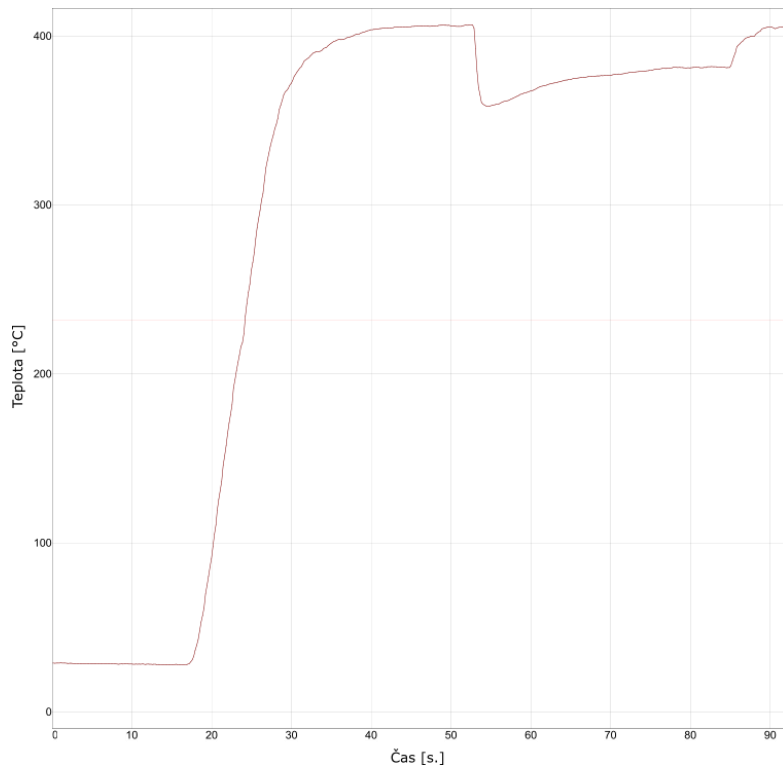
Jak již bylo zmíněno výše, pro každou pájecí stanici byly provedeny tři pokusy. Jsou zde patrné větší časové rozdíly mezi různými pokusy při testování stejné vzdálenosti a té samé stanice. Snahou během testu bylo maximálně napodobit stejné podmínky pro každou pájecí stanici a hrot, ale bohužel některé parametry nešly ovlivnit, a proto patrně vznikala nepřesnost měření. Například aplikovaná trubičková pájka na plochu pájecích hrotů, kvůli lepšímu přenosu tepla byla dávkována tak, aby byl celý styčný povrch hrotu pokryt touto pájkou. Pravděpodobně zde vznikala odchylka v roztavené hmotnosti této pájky. S větší vrstvou roztavené pájky byla pájecí stanice nucena dodávat větší množství tepla, neboť se zde zvětšil element, který mohl pájecí hrot ochlazovat.



Obr. 3.17: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010 se vzdáleností 2,5 mm

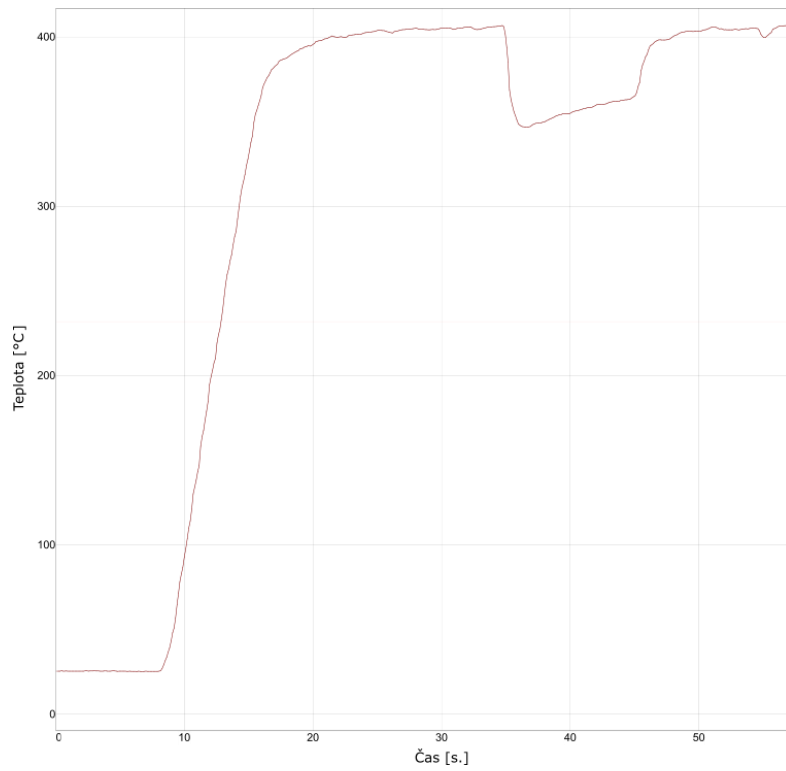


Obr. 3.18: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010 se vzdáleností 5 mm

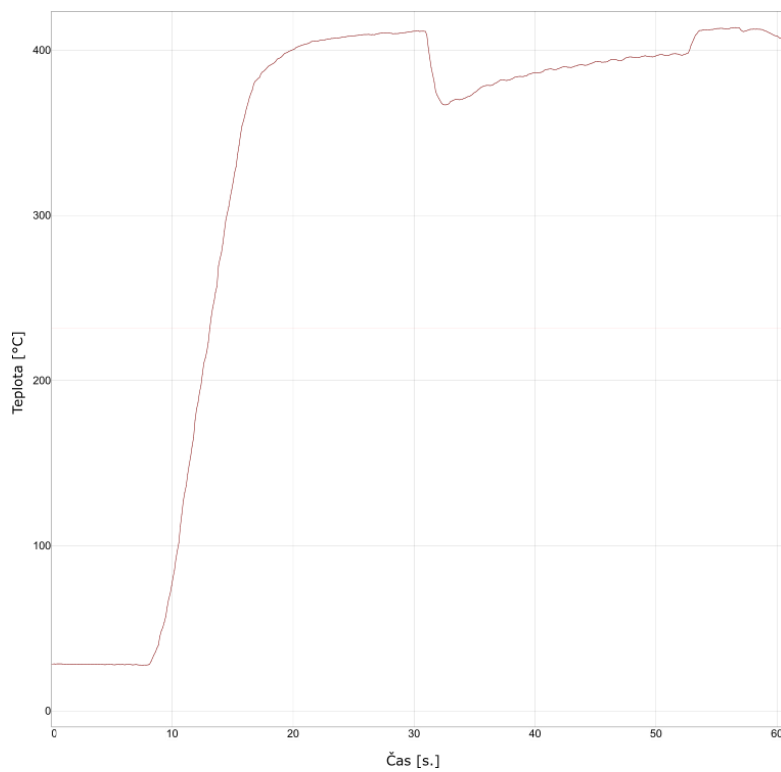


Obr. 3.19: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010 se vzdáleností 7,5 mm

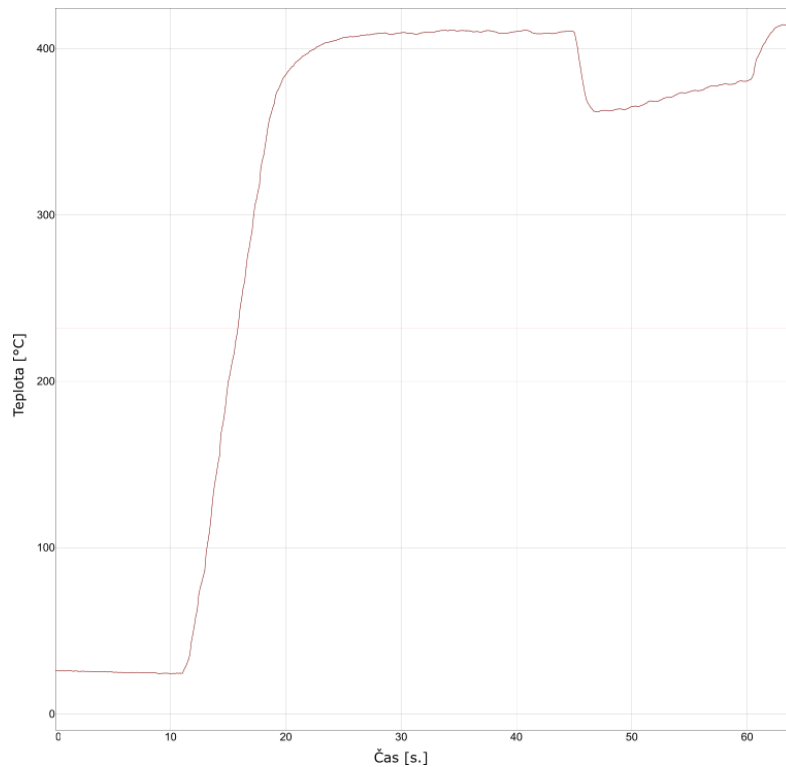
Na Obr. 3.17, Obr. 3.18 a Obr. 3.19 jsou zachyceny průběhy z první testované trojice kupónů odporové pájecí stanice Hakko FN-1010. Teplota hrotu při přiložení na testovací kupon klesala na průměrných 350 °C. Poté teplota začala mírně vzrůstat, díky reakci na zmíněné ochlazení. Se zvyšující se vzdáleností pájecího hrotu od hrany natisknuté pasty, vzrůstala i doba přetavení. Tyto časy se zvyšovaly o průměrných 8 až 10 vteřin se vzrůstající vzdáleností. Zvýšená teplota během nečinného stavu je pravděpodobně opět způsobena neideálním umístěním a přichycením termočlánku. Odchylka této teploty vůči nastavené na pájecí stanici činila 4 až 7 °C.



Obr. 3.20: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu normal se vzdáleností 2,5 mm

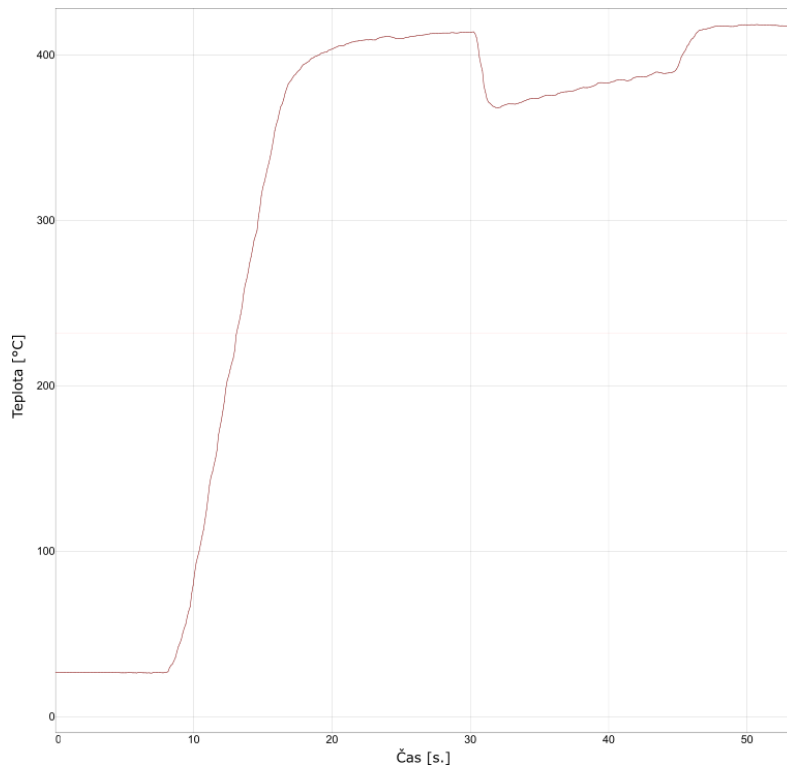


Obr. 3.21: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu normal se vzdáleností 5 mm

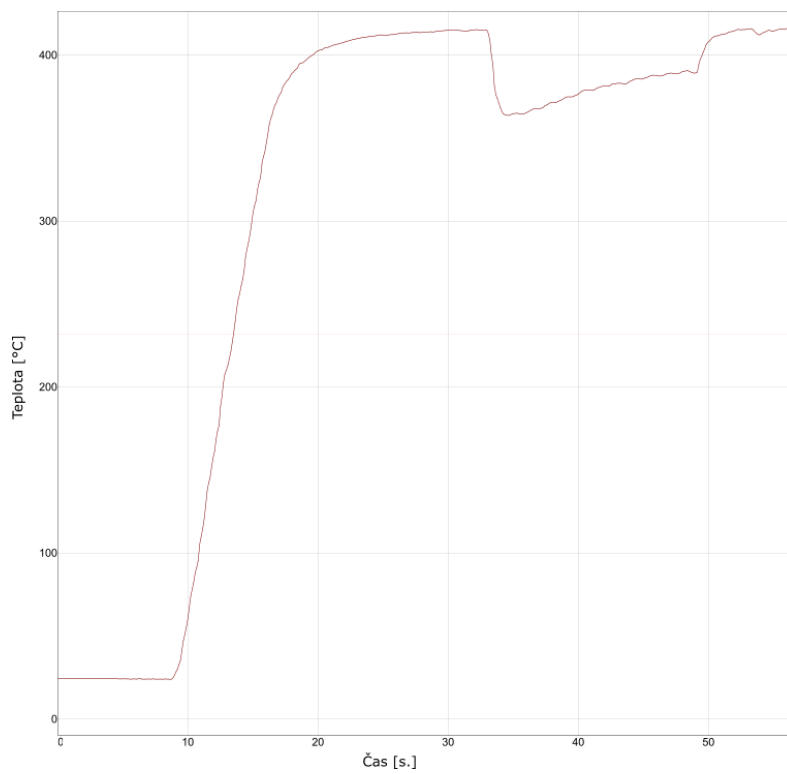


Obr. 3.22: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu normal se vzdáleností 7,5 mm

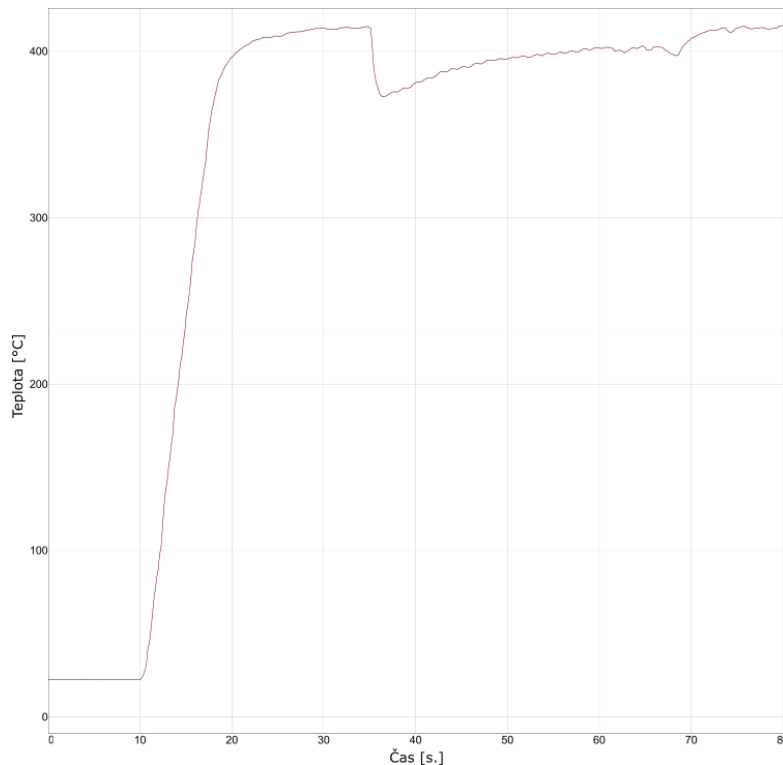
Na Obr. 3.20, Obr. 3.21 a Obr. 3.22 jsou zachycené průběhy indukční pájecí stanice Hakko FX-100, která pracovala v režimu Normal. Tento režim se nechová tolik agresivněji než druhý využitý režim Boost. Opět zde můžeme pozorovat odchylku teploty v nečinném stavu, která činila 10 až 13 °C. Na zobrazených průbězích teplot, si můžeme povšimnout malého zvlnění. Toto zvlnění je s největší pravděpodobností způsobeno samotným systémem vyhřívání indukčního pájecího hrotu. Jak již bylo výše zmíněno, indukční hrot pracuje na principu zahřívání magnetického pláště vysokofrekvenčním proudem. Právě díky tomuto principu, kdy je do hrotu pulzně dodávána energie, se s největší pravděpodobností promítnulo do samotného průběhu sledované teploty pájecího hrotu. Oproti stanici Hakko FN-1010 zde není nárůst časů přetavení u vzdáleností 5 a 7,5 mm tak razantní. Ačkoliv pro vzdálenost 2,5 mm mají stanice velice podobné výsledky, se vzrůstající vzdáleností se začíná rozdíl zvětšovat.



Obr. 3.23: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu Boost se vzdáleností 2,5 mm



Obr. 3.24: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu Boost se vzdáleností 5 mm



Obr. 3.25: Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu Boost se vzdáleností 7,5 mm

Poslední měření bylo prováděno na indukční pájecí stanici Hakko FX-100 v režimu Boost. Průběhy z tohoto měření jsou zobrazeny na Obr. 3.23, Obr. 3.24 a Obr. 3.25. V tomto režimu reaguje pájecí stanice zvýšenou dodávkou tepla do pájecího hrotu, pokud dojde k jeho ochlazení. Také zde může nastat zvýšení teploty hrotu v nečinné stavu, což můžeme pozorovat z výše uvedených obrázků.

V tomto experimentu se prověřovala schopnost pájecích stanic dodávat velké množství energie, do rozměrnější měděné plochy za využití pájecích hrotů s plochým tvarem. Pro snímání teploty během přetavení byl využit termočlánek, umístěn na pájecím hrotu s vrstvou roztažené trubičkové pájky. Z průměrných výsledků můžeme určit, že výsledky jsou podobné. Pouze u 5 mm vzdálenosti pájecího hrotu od pasty pájecí stanice Hakko FN-1010, byly naměřené časy vyšší než u indukční pájecí stanice. Při porovnání výsledků pro vzdálenost 2,5 mm a 7,5 mm stanice FN-1010 s výsledky indukční stanicí FX-100 pro tyto samé vzdálenosti, můžeme naznat, že se jedná o vchylku. Ta mohla být způsobena neideálním umístěním pájecího hrotu na měděnou plochu kuponu nebo menší vrstvou trubičkové pájky, která zlepšovala přenos tepla mezi hrotem a kuponem. Jistým překvapením je, že ačkoliv mají pájecí hroty pro indukční stanici FX-100 menší tepelnou kapacitu, jsou schopny rychleji dodávat energii na pájenou plochu. Při porovnání s testem, kdy hroty byly přikládány na pájecí plošky s trubičkovou pájkou, měla indukční stanice horší výsledky než odporová stanice FN-1010. Tento rozdíl výsledků, by mohl být zapříčiněn právě zmiňovanou teplotní kapacitou pájecích hrotů. Indukční pájecí hrot se při tomto testu neochladil o tak velký rozdíl, jako v předchozím testu.

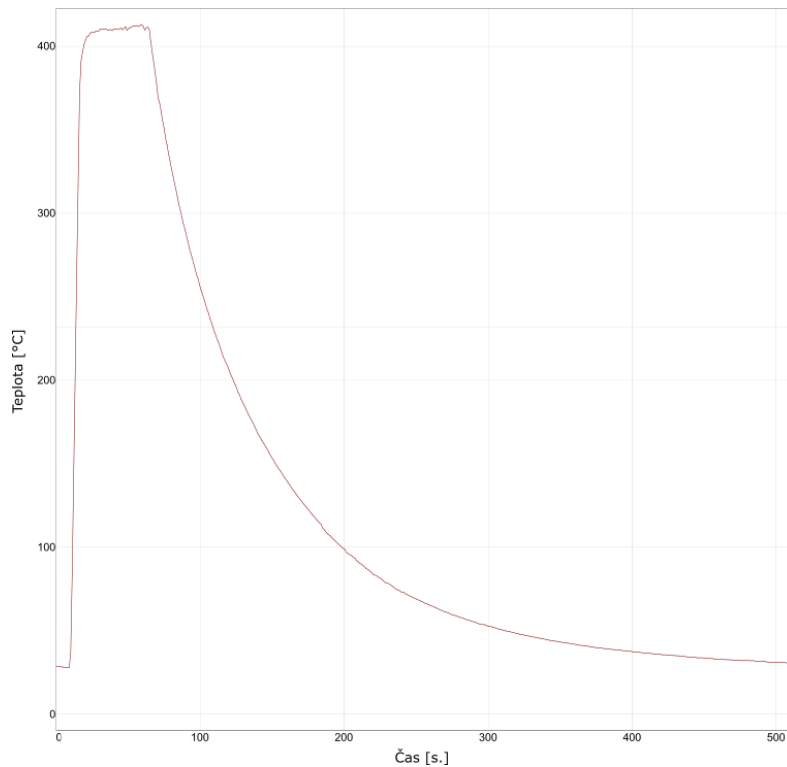
Nyní bylo teplo odebíráno rovnoměrněji, neboť na pájecím kuponu, byla přiložena pouze jedna plocha hrotu na rozdíl od předchozího testu, kdy byl hrot ponořen v roztavené trubičkové pájce. Z výsledků můžeme tedy určit, že indukční pájecí stanice Hakko FX-100, je se svým systémem vyhřívání vhodnější pro pájení větších ploch.

3.3 Určování teplotní kapacity

V předchozích testech jsme si ověřili, že teplotní kapacita pájecích hrotů může zvýšit rychlost přetavení pájeného spoje. Teplo nashromážděné v hrotu se během dotyku pájecího hrotu s pájecí plochou rázově přeneše na pájenou plochu a hrot se ochladí. Ochlazování je zde nežádoucí, neboť může nastat situace, že se nám pájecí hrot ochladí pod teplotu, kdy nebude schopen přetavit trubičkovou pájku nebo pastu. Proto jsou novější systémy pájecích stanic vybaveny snímacím termočlánkem. Ten hlídá a zároveň reguluje teplotu výhřevného elementu který je umístěn uvnitř pájecího hrotu. Právě toto umístění výhřevného elementu je se svými informacemi zavádějící. Během pájení nás zajímá především teplota na pájecích plochách samotného hrotu. Pájecí stanice Hakko FN-1010, která disponuje měřením reálné teploty na výhřevném elementu, prokázala vyšší teploty na výhřevném elementu než na samotném pájecím hrotu. Rozdíl zde může být opravdu veliký, a to i přes 100 °C. Právě pokud máme k dispozici pájecí hrot s kvalitní zpětnou vazbou, nemusí nás takto velké poklesy teploty během pájení trápit. Další možností je výběr pájecích hrotů s větší tepelnou kapacitou, které jsou většinou určeny pro pájení rozměrných součástek, pocínování rozměrných drátů apod.

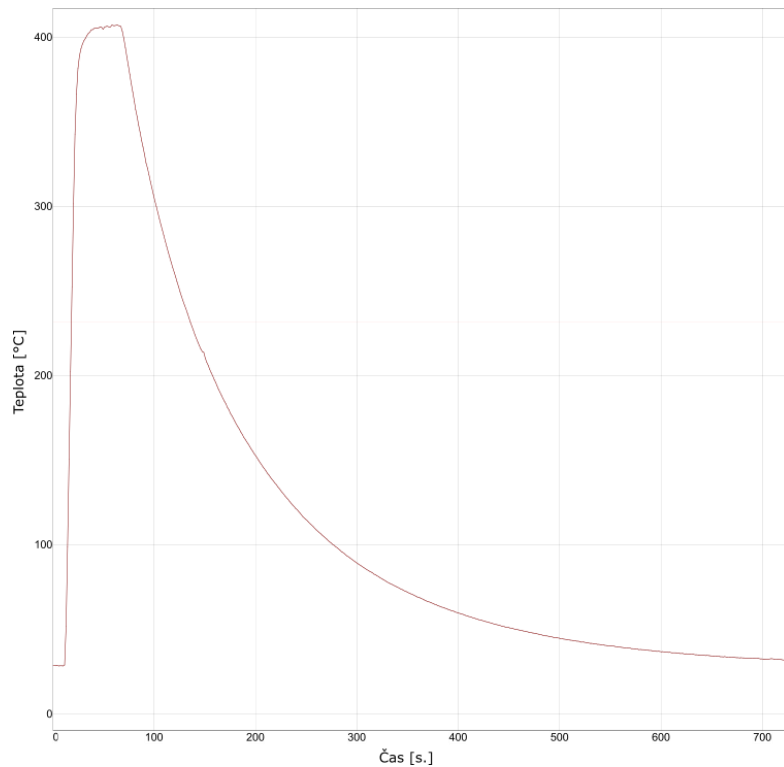
Pro tento test byly využity ploché pájecí hroty T31-02D08 pro indukční stanici FX-100 a T36-D24 (Obr. 3.5) pro odporovou stanici FN-1010. Určování teplotní kapacity proběhlo způsobem vyhřátí hrotů na teplotu 400 °C a následné odpojení stanice od elektrické energie. Klesající teplota byla snímána opět termočlánkem se skelným opředěním, který byl umístěn na ploše hrotu s vrstvou roztavené trubičkové pájky. Pro měření aktuální teploty byl využit profilometr SlimKIC200. Ačkoliv přítomnost jakýchkoliv ostatních elementů na ploše hrotu způsobovala zrychlené ochlazování, byla toto jediná možnost, jak získat objektivní data během provádění tohoto testu.

Na Obr. 3.26 je zachycen průběh pájecího hrotu T31-02D08 indukční pájecí stanice Hakko FX-100. Doba, za kterou hrot zchladnul na teplotu 30 °C od doby vypnutí napájení pájecí stanice činila 451 vteřin. Tato doba je výrazně nižší, než u hrotu odporového pájecího hrotu stanice FN-1010. Je to způsobené tím, že indukční pájecí hrot je z velké části dutý. V oblasti pájecí špičky, kterou provádíme samotné pájení je umístěn výhřevný element. Od něj vedou pouze dva drátky (napájení a zemnění) dutým trubičkovým obalem k hornímu konektoru.



Obr. 3.26: Chladnutí pájecího hrotu T31-02D08 indukční stanice FX-100

Druhým testovaným hrotem byl T36-D24 pro odporovou pájecí stanici FN-1010. Tento hrot je mnohem váhově těžší než předchozí testovaný. To se také projevilo na jeho tepelné kapacitě, která byla zřejmě vyšší než u indukční pájecí stanice. Je dáno právě výhřevným systémem dané stanice. Měděné jádro zde bude podstatně objemnější a tím pádem dokáže pojmout více tepelné energie. Na Obr. 3.27 je zobrazen průběh chladnutí testovaného hrotu. Doba, za kterou dosáhl hrot teploty 30 °C od doby vypnutí napájení, činila 632 vteřin. To je o 3 minuty více než u předchozího testovaného hrotu. Z provedených testů můžeme tedy vyvodit závěr, že odporová pájecí stanice Hakko FN-1010 s odporovým vyhříváním pájecího hrotu, má své výhody právě ve větší tepelné kapacitě hrotu. Ta může být využita pro pájení vývodových součástek, kdy nám právě zmiňovaná teplotní kapacita urychlí celý proces pájení. Oproti indukční stanici Hakko FX-100 se zdá, že má pomalejší zpětnou vazbu. Z výsledků přetavení pájecí pasty je patrné, že ačkoliv má indukční hrot menší teplotní kapacitu, je schopná efektivně dodávat energii do pájeného místa rychleji.



Obr. 3.27: Chladnutí pájecího hrotu T36-D24 stanice FN-1010

3.4 Testování životního cyklu pájecího hrotu

Každý pájecí hrot má svoji určitou životnost. Na jeho povrchovou úpravu působí za jeho životní cyklus spousta degračních elementů ať se již jedná agresivní pájecí slitiny, tavidla, znečištěné houbičky a drátěnky na pájecí hroty nebo ponechání zapnutého vyhřívání hrotu bez trubičkové pájky na jeho povrchu. Všechny tyto elementy urychlují degradaci životnosti a zhoršení celkové kvality pájecího procesu. Co většinou nemůžeme ovlivnit je pájecí slitina. S příchodem bezolovnatých pájecích slitin se zároveň zvýšila poptávka po pájecích hrotech, které se dokážou vyrovnat životnosti hrotů které využívaly olovnaté pájecí slitiny.

Pro tento test byla zvolena bezolovnatá trubičková pájka Kester SAC305 s tavidlem ROL0, které objemově zabírá 2,2 %. Pájený podklad tvořila jednostranně plátovaná deska od firmy ISOLA s označením DE-104 FY, tloušťkou substrátu 1,5 mm a 35 μm měděné vrstvy. Testovaný pájecí hrot byl zvolen T31-02D24, který byl využit s indukční pájecí stanicí FX-100. Tento hrot umožňoval dosáhnout teplotu 400 °C. Stanice byla po celou dobu testování nastavena režim Boost. Cílem bylo replikovat běžné pájecí procesy, které se měly podobat pájení součástek na desku plošných spojů. Zároveň dosáhnout takového poškození povrchové úpravy pájecího hrotu, kdy by se odhalila měděná část výhřevného elementu. Každý cyklus se tedy skládal z úkonů přiložení pájecího pera na plátovanou desku s trubičkovou pájkou a její následné přetavení. Takto vzniklý pájený bod reprezentoval jeden cyklus. Zhruba každých 5 cyklů byl hrot očištěn navlhčenou houbičkou, pro odstranění zbytkové přetavené pájky.

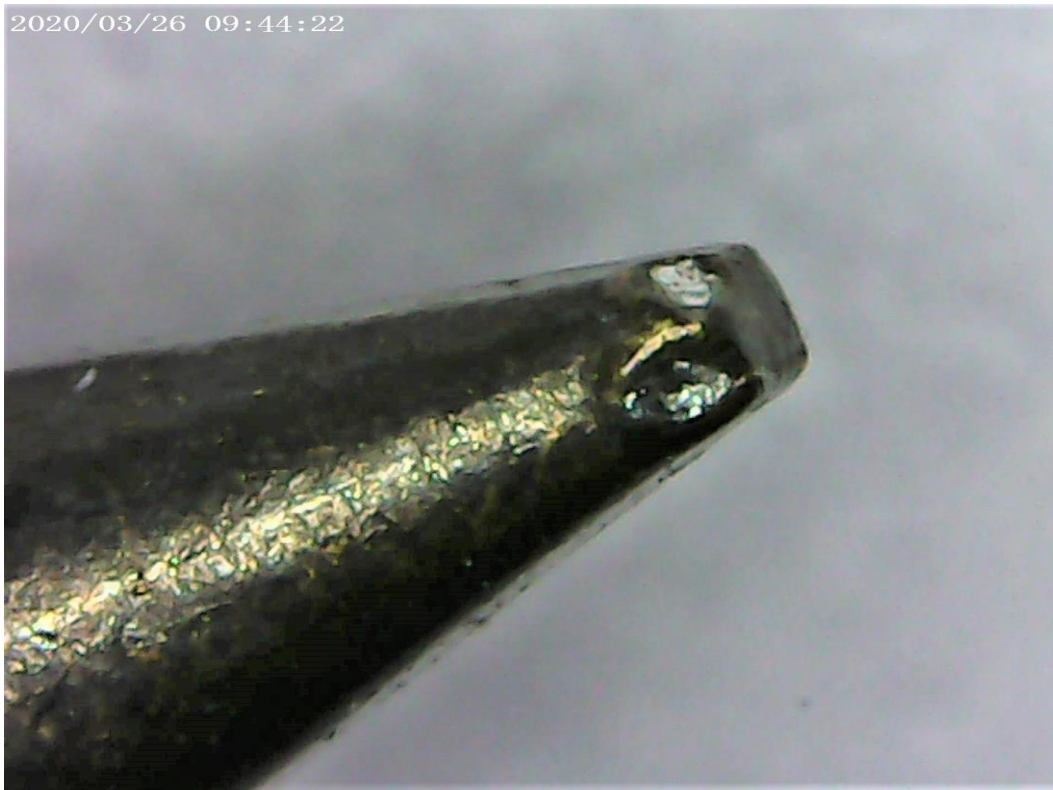
Po každých 2000 cyklech byla provedena optická prohlídka hrotu. Bohužel v době měření nebyl k dispozici takový mikroskop, který by umožňoval plné a detailní přiblížení poškození na povrchu pájecího hrotu. Na Obr. 3.28 je zobrazen stav hrotu po 2000 cyklech. Jsou zde již patrné miniaturní rýhy ale především poškození povrchové vrstvy na špičce hrotu.



Obr. 3.28: Pájecí hrot po 2000 cyklech

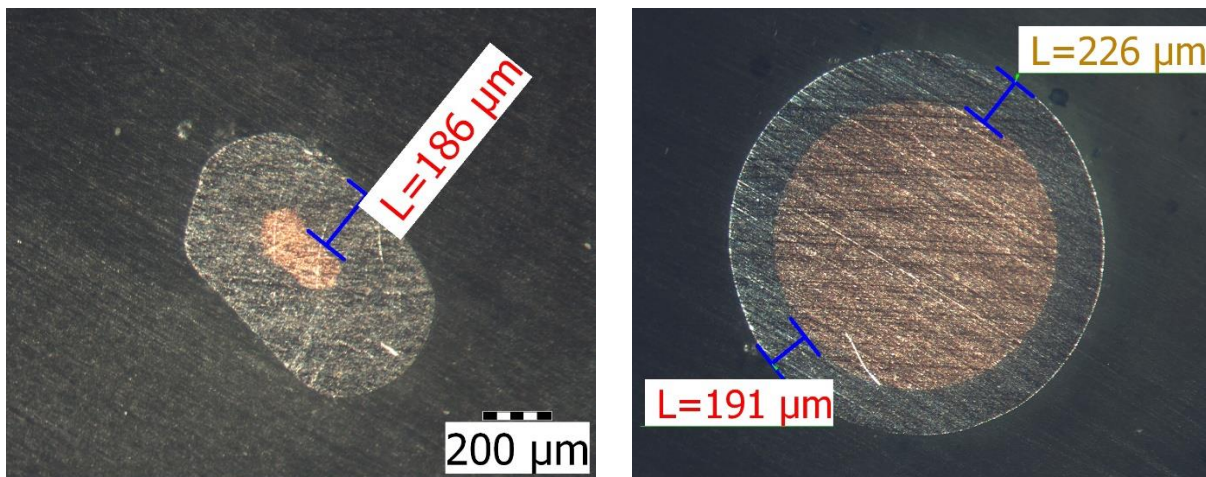
Tento stav setrval i po 4000 cyklech. Po 6000 cyklech se objevil nový defekt, a to ve formě dalšího poškození povrchové úpravy na špičce pájecího hrotu. Oblast této deformace byla přímo úměrná využívání během testovacích cyklů. Na Obr. 3.29 je zobrazeno poškození špičky hrotu. Je zde patrné narušení povrchové úpravy pájecího hrotu pravděpodobně vlivem využití bezolovnaté trubičkové pájky, která vzhledem k povrchu hrotu působí agresivněji než například olovnaté pájecí slitiny. I přes tyto povrchová poškození, pájecí hrot neztrácel na své využitelnosti a přítomnost těchto narušení, neovlivňovalo proces pájení.

2020/03/26 09:44:22



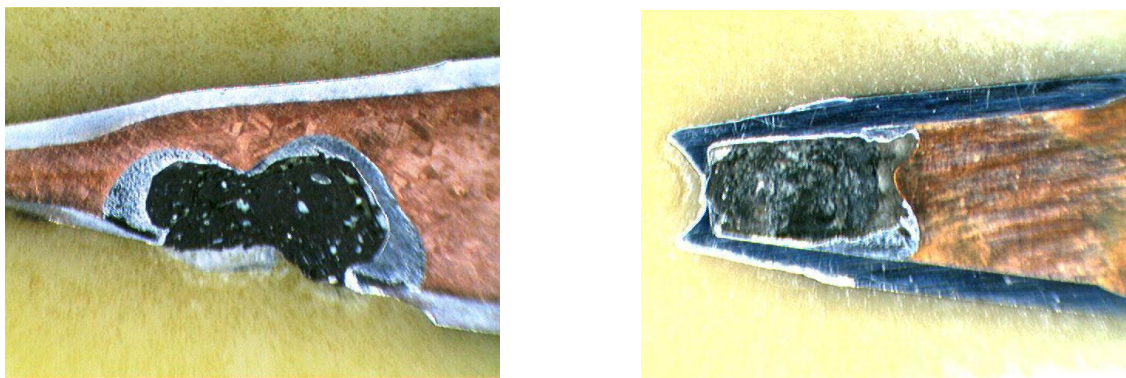
Obr. 3.29: Pájecí hrot po 6000 cyklech

Po 8000 cyklech se již dále nedařilo získat větších známek poškození, a proto byl test ukončen. Pro lepší zjištění degradace povrchové úpravy pájecího hrotu byl proveden mikrovýbrus. Zalévací hmota byla zvolena KEM 30 která je tvořena na bázi metylmetakrylátu. Po smíchání s tvrdidlem vytvoří lehce zelenou hmotu. Takto připravená směs se vlila do válcové formy, kde byl již uprostřed připevněný pájecí hrot. Po dostatečném vytvrzení hmoty se již mohlo přejít k samotnému mikrovýbrusu na přístroji Saphir 530 od firmy ATM (Německo). Vstupní nastavení parametrů přístroje byla přítlačná síla 100 N, 200 otáček za minutu a doba provádění mikrovýbrusu 30 vteřin. Bohužel prvotní nastavení přístroje nebylo zcela správně odhadnuto na míru tvrdosti brusné hmoty, a tak došlo k přebroušení poškozeného místa na pájecím hrotu. Pájecí hrot po prvním mikrovýbrusu je zobrazen na Obr. 3.30. Je zde patrné poškození a nižší tloušťka povrchové úpravy hrotu. Pro další pokračování v mikrovýbrusu, musela být upravena vstupní data přístroje na 25 N přítlačné síly a doba provádění mikrovýbrusu byla snížena na 10 vteřin. Bohužel přístroj nedisponoval měřidlem odebraného materiálu, a tak zůstalo zcela na náhodě, zda se podařilo najít místo na pájecím hrotu, kde by byla viditelná místa poškození povrchové úpravy. Jediné, co bylo pomocí této metody zjistitelné, tak byla kolísající tloušťka povrchové úpravy hrotu.



Obr. 3.30: Mikrovýbrus pájecího hrotu: první brus (vlevo); dvanáctý brus (vpravo)

Ačkoliv byla po optické prohlídce viditelná místa poškození povrchové úpravy pájecího hrotu až na měděné jádro, nepodařilo se již tyto místa objevit pomocí mikrovýbrusů. Na Obr. 3.31 jsou zobrazeny stavy hrotů, které mají natolik poškozenou povrchovou úpravu, že začala probíhat oxidace měděného jádra.



Obr. 3.31: Poškozené pájecí hroty při nadměrném zatížení

S indukční pájecí stanicí Hakko FX-100 a hrotem T31-02D24 bylo celkově provedeno 8000 pájených bodů. Po celou dobu testu i přes přítomnost poškození povrchové úpravy, nevykazoval hrot zhoršené vlastnosti během pájecího procesu. Viditelné poškození povrchu hrotu se ale nepodařilo fotograficky zachytit. Pro budoucí opakování testu, by bylo doporučeno změnit umístění hrotu v zalévací hmotě z axiální polohy do horizontální, tak jak je zobrazeno na Obr. 3.31. S touto polohou by byla zřetelněji identifikovatelná poškození. Je tedy zřejmé, že opotřebování hrotu je nevyhnutelné, ale správnými úkony lze tuto skutečnost o jistý časový úsek oddálit. Především správná péče o pájecí hrot hraje jednu z hlavních rolí pro delší životnost. Stejně i tak výběr vhodné pájecí slitiny, který ale může být omezen výrobním procesem.

4 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byla přiblížena legislativa omezující využití olovnatých pájecích slitin a důvody za jejich náhradu bezolovnatými slitinami. Dále byla popsána pájecí stanice jako nástroj pro ruční pájení a byly uvedeny systémy vyhřívání pájecích hrotů, kterými se bakalářská práce zabývá podrobněji v experimentální části. V neposlední řadě bylo poukázáno na možné defekty vznikající na pájecím hrotu, vlivem špatné péče či případné nevhodné volbě pájecí slitiny.

V experimentální části bakalářské práce, byly testy rozděleny do čtyř dílčích kroků, které měly za úkol porovnat výhřevné systémy pájecích stanic. Byly využity stanice Hakko FX-100 s indukčním vyhříváním a Hakko FN-1010 s odporovým vyhříváním a rychlou obnovou tepla. V prvním experimentu se testovala rychlost přetavení trubičkové pájky na pájecích ploškách. Pro tyto účely byly vytvořeny speciální pájecí kupony s termočládky. Tento test měl simulovat pájecí proces, kdy je pájecí hrot přiložen na již roztavenou pájku. Sledovaný parametr byl čas, za který dosáhl pájecí hrot na termočládku teplotu 232 °C. Z naměřených časů bylo zjištěno, že pro přetavení většího množství pájky je více vyhovující pájecí stanice Hakko FN-1010 s rychlou obnovou tepla, neboť teplotní kapacita hrotu, značně urychlovala proces přetavení na rozdíl od indukční pájecí stanice. Z porovnávaných tvarů hrotů, dosahovaly nejlepší výsledky hroty ploché. Na rozdíl od kónických, mají ploché hroty mnohonásobně větší styčnou plochu, kterou mohou dodávat teplo do pájeného spoje a tím rychleji přetavit pájený spoj.

U rychlosti přetavení pájecí pasty se opět zkoumala rychlost přetavení. Nyní ale záleželo na efektivnosti výhřevného systému samotných pájecích hrotů. Pro tyto účely bylo měřeno ve třech vzdálenostech od místa natisknutí bezolovnaté nízkoteplotní pasty. Ačkoliv bylo zjištěno, že pájecí stanice Hakko FN-1010 má své hroty s větší teplotní kapacitou oproti indukční pájecí stanici FX-100, byly výsledky časů velice podobné až na vzdálenost 5 mm, kde lepší časy dosahovala indukční stanice v režimu Normal. Rozdíl oproti stanici FN-1010 zde byl zhruba 10 vteřin. Také zde bylo pozorováno menší ochlazení indukčních pájecích hrotů na rozdíl od hrotů s rychlou obnovou tepla.

Testování teplotní kapacity mělo za úkol poodhalit množství tepelné energie, kterou je pájecí hrot schopen absorbovat. Jelikož jsou porovnávané hroty odlišné konstrukce, lišila se i teplotní kapacita. Ta byla určována pomocí času, za kterou pájecí hrot zchladnul z teploty 400 °C na teplotu 30 °C. Dosažené časy pro indukční hrot jednoznačně určily, že právě tento hrot má menší teplotní kapacitu. Je to dáno také tím, že je z velké části dutý. Pouze ve spodní části, kde se nachází samotná pájecí špička, je měděné jádro s indukčním výhřevným elementem. Tento rozdíl je patrný i hmotnostním porovnáním.

Velice důležitou roli zastává životnost pájecího hrotu. Pro tuto analýzu byla využita bezolovnatá trubičková pájka Kester SAC305. Snahou bylo se přiblížit poškození pájecího hrotu tak, aby bylo jednoznačně viditelné poškození povrchové úpravy. Po 2000 cyklech bylo pozorováno poškození povrchové úpravy menšími vrypy, způsobené trubičkovou pájkou. Dále byla na samotné špičce hrotu pozorovatelný značný úbytek povrchové úpravy. Toto místo poškození odpovídalo nejčastějšímu místu přikládání trubičkové pájky. Po 6000 cyklech bylo pozorováno další rozměrnější poškození povrchové úpravy. Tento defekt se nacházel v bezprostřední

blízkosti prvního poškození, což odpovídá využívání pájecího hrotu. Pro bližší určení byl proveden mikrovýbrus, který měl poodhalit míru poškození povrchové úpravy pájecího hrotu. Bohužel bylo zvoleno neideální umístění hrotu v zalévací hmotě a bylo velice obtížné najít místo, kde bylo poškození povrchové úpravy poškozené takovou mírou, že bylo odhaleno měděné jádro. Nicméně se podařilo získat data, kde je patrná nesouměrná vrstva povrchové úpravy. Tato nesouměrnost dokazuje opotřebení povrchové úpravy pájecího hrotu vlivem použití bezolovnaté pájecí slitiny.

Navázáním této bakalářské práce se doporučuje upravit systém snímání teploty přímo na pájecím hrotu, tak aby nevznikala nepřesnost měření. Tato úprava pomůže efektivněji sledovat teplotu a budou dosaženy relevantnější data. U metalografického výbrusu by bylo vhodnější zvolit horizontální pozici při zalévání vytvrzovací hmotou, pro získání lepšího výbrusu a tím lepšího přehledu poškození povrchové úpravy.

LITERATURA

- [1] ABEL, Martin a Vladimír CIMBUREK. Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi. 1. Pardubice: Abel, Cimburek, 2005. ISBN 80-903597-0-1.
- [2] PÍCHA, Jan. STUDIUM SPOLEHLIVOSTI BEZOLOVNATÉHO PÁJENÍ. Brno, 2010. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. IVAN SZENDIUCH, CSc.
- [3] The difference between lead-free soldering station and lead soldering station [online]. ShenZhen City: CXG Electronicdate, 2018 [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: o
- [4] [Http://www.abetec.cz/iot/iot-pajeci-stanice-hakko/](http://www.abetec.cz/iot/iot-pajeci-stanice-hakko/) [online]. Ostřešany: ABE.TEC, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://www.abetec.cz/iot/iot-pajeci-stanice-hakko/>
- [5] Hakko FG100B-03US – Tip Thermometer (With Calibration Certificate). In: [Https://www.techedu.com/](https://www.techedu.com/) [online]. Long Branch: Techedu [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.techedu.com/Hakko-FG100B-US03/>
- [6] How to Solder: Through-Hole Soldering. In: Sparkfun [online]. Niwot: Sparkfun [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-solder-through-hole-soldering/all>
- [7] FN1010. Osaka, 2019. Dostupné také z: https://doc.hakko.com/download.php?_gs=&l=en&kp=&d=5580
- [8] STARÝ, Jiří, Petr KAHLE a Josef ŠANDERA. Plošné spoje a povrchová montáž [online]. Brno: PC-DIR Real, 1999 [cit. 2019-11-11]. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1499-5.
- [9] BIOCCA, Peter. Lead-free Hand-soldering – Ending the Nightmares. In: Kester [online]. Itasca: Kester [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: https://www.kester.com/Portals/0/Documents/Knowledge%20Base/Lead-free-Handsoldering.Final_.4.19.06.pdf
- [10] Productos weller. In: Herramienta eléctrica [online]. Marcus, 2017 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://electricaherramienta.blogspot.com/2017/03/productos-weller.html>
- [11] ESD pájecí ručka s přívodem dusíku Hakko FX-8802. Abetec [online]. Ostřešany: Abetec [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://www.abetec.cz/eshop/product/esd-pajeci-rucka-s-privodem-dusiku-hakko-fx-8802/>
- [12] Podavač pájky Hakko 373. Abetec [online]. Ostřešany: Abetec [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://www.abetec.cz/eshop/product/podavac-pajky-hakko-373/>
- [13] Hakko 490. Hakko [online]. Osaka: Hakko [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: https://www.hakko.com/english/products/hakko_490.html
- [14] Triak. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Triak>

- [15] Hakko t12 thermocouple is not Type K! In: Hackaday [online]. hackaday, 2018 [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/94905-hakko-revenge/log/144548-hakko-t12-thermocouple-is-not-type-k>
- [16] Instruction manual for LF-399D & LF-389D. In: Elfadistrelec [online]. Aarhus: XYtronic [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: https://www.elfadistrelec.dk/Web/Downloads/_m/an/LF-389D-99D_eng_man.pdf
- [17] Metcal SmartHeat Power on Demand vs Fixed Power. In: Okinternational [online]. Cypress: okinternational [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <http://www.okinternational.com/File%20Library/Metcal/Application/HandSoldering/Metcal-SmartHeat-Power-on-Demand-vs-Fixed-Power.pdf>
- [18] Curieova teplota. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Curieova_teplota
- [19] STUBER, Chris. What are the different optimal soldering temperatures for soldering with tin/lead solder and lead-free solder? In: HakkoUSA Knowledge Base [online]. Osaka: HakkoUSA, 2010 [cit.2019-11-18]. Dostupné z: <http://kb.hakkousa.com/Knowledge-baseArticle10297.aspx>
- [20] Soldering iron tip. In: Electrical motors and pumps [online]. Katjusha, 2017 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://electricalmotorspumps.blogspot.com/2017/12/soldering-iron-tip.html>
- [21] Výběr a údržba pájecích hrotů. In: Hakko.cz [online]. Ostřešany: Abetec, 2011 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.hakko.cz/odborne-vysvetlivky/vyber-a-udrzba-pajecich-hrotu/>
- [22] Výběr a údržba pájecích hrotů. In: Hakko.cz [online]. Ostřešany: Abetec, 2011 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.hakko.cz/odborne-vysvetlivky/vyber-a-udrzba-pajecich-hrotu/>
- [23] How to Care for Soldering Tips. In: Weller [online]. Besigheim: Weller [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://www.weller-tools.com/how-to-care-for-soldering-iron-tips/>
- [24] Why do tips easily oxidize when they are used with lead-free solder? In: Hakko [online]. Osaka: Hakko [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: https://www.hakko.com/english/maintenance/topic_oxidized.html
- [25] Základní informace k problematice RoHS. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/rohs-elektrozarizeni/zakladni-informace-k-problematice-rohs--158558/>
- [26] Instruction Manual Version 1.0.1. In: Miniware [online]. Guangzhou City: Miniware, 2015 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://www.minidso.com/forum.php?mod=attachment&aid=NzAwOHxkNTAwNmE2N3wxNTc1MzA2MzAwfDB8ODky>

- [27] WSM 1C SOLDSTWBATTERY. In: Weller [online]. Besigheim: Weller [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://media-weller.de/weller.php?action=send&modul_erp_article__lang=en&modul_erp_article__main_nr=T0053293399N
- [28] WR3000M. In: Weller [online]. Besigheim: Weller [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.weller-tools.com/professional/EUR/en/Professional/Product+lines/WT+Line/Soldering+stations+and+sets/WR3000M>
- [29] RoHS 3 (EU 2015/863). <https://rohsguide.com/> [online]. 2020 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.rohsguide.com/rohs3.htm>
- [30] Zákon č. 185/2001 Sb. <https://www.zakonyprolidi.cz/> [online]. Zlín, 2020 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

SAC305	Bezolovnatá pájecí slitina (Sn96,5/Ag3/Cu0,5)
IoT	Internet věcí
RoHS	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU
WEEE	Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních 2012/19/EU
Průmysl 4.0	Digitalizace a automatizace výroby

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Symbol pro nekomunální odpad (převzato z [1]).....	7
Obr. 2.1:	Pájecí stanice a její příslušenství (převzato z [1])	9
Obr. 2.2:	Měřič teploty Hakko FG-100B (převzato z [5]).....	10
Obr. 2.3:	Schéma ručního pájedla (převzato z [10]).....	11
Obr. 2.4:	Regulační princip triaku (převzato z [14])	12
Obr. 2.5:	Pájecí pero s odporovým výhřevným elementem (převzato z [16])	13
Obr. 2.6:	Průřez pájecího hrotu s rychlou obnovou tepla (převzato z [15])	13
Obr. 2.7:	Pájecí hrot s indukčním vyhříváním (převzato z [17]).....	14
Obr. 2.8:	Princip indukčního vyhřívání pájecího hrotu (převzato z [17]): (a) základní systém; (b) zahřívání systému; (c) chladnutí systému	15
Obr. 2.9:	Časová odezva indukčního a odporového pájedla (převzato z [17])	16
Obr. 2.10:	Průřez pájecího hrotu (převzato z [21]).....	17
Obr. 2.11:	Životnost pájecího hrotu v závislosti na teplotě (převzato z [21]).....	18
Obr. 2.12:	Rozdíl mezi obyčejným pájecím hrotem a hrotem s vysokou obnovou tepla (převzato z [1])	20
Obr. 2.13:	Vliv složení pájecí slitiny a intenzita koroze (převzato z [1]).....	21
Obr. 3.1:	Nachystaný kupon pro trubičkovou pájku	22
Obr. 3.2:	Kupon s bezolovnatou trubičkovou pájkou Kester SAC305	23
Obr. 3.3:	Fixované termočlánky kaptonovou páskou.....	23

Obr. 3.4:	Přípevněný termočlánek na pájecím hrotu	24
Obr. 3.5:	Využití pájecí hroty během testů: T31-02D24 a T36-D08 (vlevo), T31-02D08 a T36-D24 (vpravo).....	24
Obr. 3.6:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010.....	25
Obr. 3.7:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Normal mode.....	26
Obr. 3.8:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Boost mode.....	26
Obr. 3.9:	Průběh teploty a změny dodávané energie na čase v plochém pájecím hrotu stanice FN-1010	27
Obr. 3.10:	Souhrn dosažených časů přetavení pájky pro ploché pájecí hroty.....	28
Obr. 3.11:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010.....	29
Obr. 3.12:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Normal mode.....	30
Obr. 3.13:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 Boost mode.....	30
Obr. 3.14:	Průběh teploty a změny dodávané energie na čase v kónickém pájecím hrotu stanice FN-1010	31
Obr. 3.15:	Souhrn dosažených časů přetavení pájky pro kónické hroty	32
Obr. 3.16:	Připravený kupon s natisknutou pájecí pastou	34
Obr. 3.17:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010 se vzdáleností 2,5 mm	36
Obr. 3.18:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010 se vzdáleností 5 mm	36
Obr. 3.19:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FN-1010 se vzdáleností 7,5 mm	37
Obr. 3.20:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu normal se vzdáleností 2,5 mm	38
Obr. 3.21:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu normal se vzdáleností 5 mm	38
Obr. 3.22:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu normal se vzdáleností 7,5 mm	39
Obr. 3.23:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu Boost se vzdáleností 2,5 mm.....	40
Obr. 3.24:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu Boost se vzdáleností 5 mm.....	40
Obr. 3.25:	Teplotní průběh testu pro pájecí stanici FX-100 v režimu Boost se vzdáleností 7,5 mm.....	41
Obr. 3.26:	Chladnutí pájecího hrotu T31-02D08 indukční stanice FX-100.....	43
Obr. 3.27:	Chladnutí pájecího hrotu T36-D24 stanice FN-1010.....	44

Obr. 3.28:	Pájecí hrot po 2000 cyklech	45
Obr. 3.29:	Pájecí hrot po 6000 cyklech	46
Obr. 3.30:	Mikrovýbrus pájecího hrotu: první brus (vlevo); dvanáctý brus (vpravo).....	47
Obr. 3.31:	Poškozené pájecí hroty při nadměrném zatížení	47

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1:	Směrnice o použitých elektrických a elektronických zařízeních (převzato z [1]).	7
Tab. 3.1:	Průměrné časy přetavení pájky	33
Tab. 3.2:	Naměřené časy přetavení pájecí pasty na pájecím kuponu o rozměrech 1x2 cm	35