

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Aspekty ovlivňující bondovací proces**

**Vedoucí práce: Ing. Karel Hromadka**  
**Autor: Martin Ferenčík**

**2012**



## **Anotace**

Předložená bakalářská práce se týká aspektů ovlivňující bondovací proces, seznámení s principem mikrodrátkového bondování, technologiemi a vzniku defektů při nedodržení optimálních podmínek bondování. Závěrem práce je navrhnout postup bondování pro semi-automatickou bondovací stanici KULICKE & SOFFA 4700.

## **Klíčová slova**

Mikrodrátkové bondování, termosonické, termokopresní, ultrazvukové bondování.

## **Abstract**

The Bachelor thesis concerns aspects influencing the bonding process. Thesis introduces the principles, technology and defects of bonding process. In conclusion is propose a optimal workflow for semi-automatic bonding station KULICKE & SOFFA 4700.

## **Key words**

Microwire bonding, ultrasonic, thermosomic, thermocompression wire bonding.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 14.6.2012

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Hromadkovi a jeho kolegům za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále pak rodině, která mě vždy podporovala a v neposlední řadě všem, kteří se jakkoliv podíleli na rozvoji mého vzdělání.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin FERENČÍK**  
Osobní číslo: **E09B0261P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Aspekty ovlivňující bondovací proces**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s principem mikrodrátkového bondování.
2. Zpracujte přehled aspektů ovlivňující proces bondování.
3. Zpracujte přehled defektů vznikajících při nedodržení optimálních podmínek bondování.
4. Navrhněte optimální postup bondování pro semi-automatickou bondovací stanici KU-LICKE & SOFFA 4700 a specifikované materiálové kombinace.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

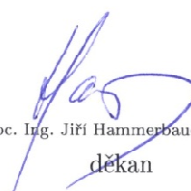
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


1. Harman, G.: Wire Bonding in Microelectronics. McGraw-Hill, 2010.
2. Firemní literatura a katalogy nalezených výrobců
3. Elektronické informační zdroje

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Hromadka  
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011  
Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011



# Obsah

<b>PŘEHLED POUŽITÝCH TERMÍNŮ A JEJICH VÝZNAM.....</b>	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2 TECHNOLOGIE BONDOVÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
2.1 VYTVÁŘENÍ MIKRODRÁTKOVÝCH SPOJŮ .....	13
2.2 METODY PROPOJOVÁNÍ.....	13
2.2.1 Termokompresní bondování.....	13
2.2.2 Ultrazvukové bondování .....	14
2.2.3 Termosonické bondování .....	15
2.3 DRUHY BONDŮ .....	16
2.3.1 Vytváření klínového bondu.....	16
2.3.2 Bondování na kuličku.....	19
2.3.3 Optimalizace .....	21
<b>3 PARAMETRY BONDOVACÍHO PROCESU.....</b>	<b>22</b>
3.1 ULTRAZVUKOVÁ SÍLA.....	22
3.2 BONDOVACÍ SÍLA .....	22
3.3 BONDOVACÍ ČAS.....	22
3.4 BONDOVACÍ TEPLOTA .....	22
3.5 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY .....	23
3.5.1 Zlatý mikrodrátek (Au).....	23
3.5.2 Hliníkový mikrodrátek (Al) .....	23
3.5.3 Měděný mikrodrátek (Cu) .....	23
<b>4 VZNIK DEFEKTŮ PŘI BONDOVÁNÍ .....</b>	<b>24</b>
4.1 KRÁTEROVÁNÍ PODLOŽKY .....	26
4.2 PRASKLINY U SPOJŮ .....	26
4.3 NEKONZISTENTNÍ KONCE.....	26
4.4 NADZVEDNUTÝ BOND.....	27
4.5 INTERMETALICKÉ SLOUČENINY .....	27
4.6 OHNUTÍ DRÁTKU.....	28
4.7 NADZVEDNUTÍ SPOJE .....	28
4.8 KOROZE DRÁTŮ A PODLOŽEK .....	28
4.9 ÚNAVA VIBRACEMI.....	28
<b>5 POPIS OVLÁDACÍCH PRVKŮ.....</b>	<b>29</b>
5.1.1 Popis levého ovládacího panelu a jeho nastavení.....	30
5.1.2 Popis světelné signalizace na levém ovládacím panelu .....	30
5.1.3 Popis displeje pro nastavení teploty .....	31
5.1.4 Světelná signalizace .....	31
5.1.5 Popis pravého ovládacího panelu a jeho nastavení.....	31
5.1.6 Ovládání myši .....	32
<b>6 OPTIMÁLNÍ POSTUP BONDOVÁNÍ PRO SEMI-AUTOMATICKOU STANICI.....</b>	<b>33</b>
6.1 VÝBĚR MATERIÁLU .....	34
6.2 ČIŠTĚNÍ SUBSTRÁTU .....	34
6.2.1 Plazmové čištění.....	34
6.2.2 Ultrafialové – ozonové čištění.....	34
6.3 VÝBĚR SYSTÉMU BONDOVÁNÍ, PODLE MATERIÁLU KONTAKTNÍ PLOŠKY, MIKRODRÁTKU.....	35
6.3.1 Au – Au spojení.....	35
6.3.2 Au – Al spojení.....	35

6.3.3	<i>Au – Cu spojení</i> .....	35
6.3.4	<i>Au – Ag spojení</i> .....	35
6.3.5	<i>Al – Al spojení</i> .....	35
6.4	VOLBA ZPŮSOBU BONDOVÁNÍ .....	36
6.5	ZMĚNA NÁSTROJE.....	36
6.6	NASTAVENÍ VÝŠKY PRACOVNÍHO DRŽÁKU. ....	36
6.7	NASTAVENÍ TEPLoty PRACOVNÍHO DRŽÁKU .....	37
6.8	INSTALACE DRÁTKU DO NÁSTROJE .....	37
6.9	VYTVOŘENÍ REFERENČNÍHO BONDU .....	38
6.10	OSVĚTLENÍ BONDOVANÉ OBLASTI.....	38
6.11	NASTAVENÍ STANICE PRO BONDOVÁNÍ NA HRANU .....	39
6.11.1	<i>Nastavení výkonu US generátoru</i> .....	39
6.11.2	<i>Nastavení bondovacího času</i> .....	39
6.11.3	<i>Nastavení přitlačné síly nástroje</i> .....	40
6.11.4	<i>Nastavení „LOOP“ výšky</i> .....	41
6.11.5	<i>Nastavení „SEARCH“ výšky</i> .....	41
6.12	SPECIFICKÉ NASTAVENÍ PRO BONDOVÁNÍ NA KULIČKU.....	42
6.12.1	<i>Velikost kuličky</i> .....	42
6.12.2	<i>Nastavení „Tail“ délky</i> .....	42
6.12.3	<i>Postup vytvoření kuličkového bondu</i> .....	43
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>44</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA "</b> .....	<b>45</b>

## Přehled použitých termínů a jejich význam

Bondování	proces, kde dochází k propojení kontaktních plošek (umístěných na desce, čipu, atd..) mikrodrátkem
US	ultrazvuk
Bondovací povrch	povrch, určený pro bondování
Mikrodrátky	drátky o průměru řádově v jednotkách či desítkách $\mu\text{m}$
Kapilára	nástroj pro bondování na kuličku
Ppm	dílků na jeden milion (jedna miliontina celku)
Platforma (deska)	nosný propojovací substrát
Stitch mód	kontinuální spojování za sebou jdoucích bondů bez přetržení drátku
SEARCH	výchozí výška bondovacího nástroje
LOOP	výška, do které se bondovací nástroj vrací po dokončení prvního bondu
TAIL bondu	délka drátku visícího z kapiláry po dokončení druhého

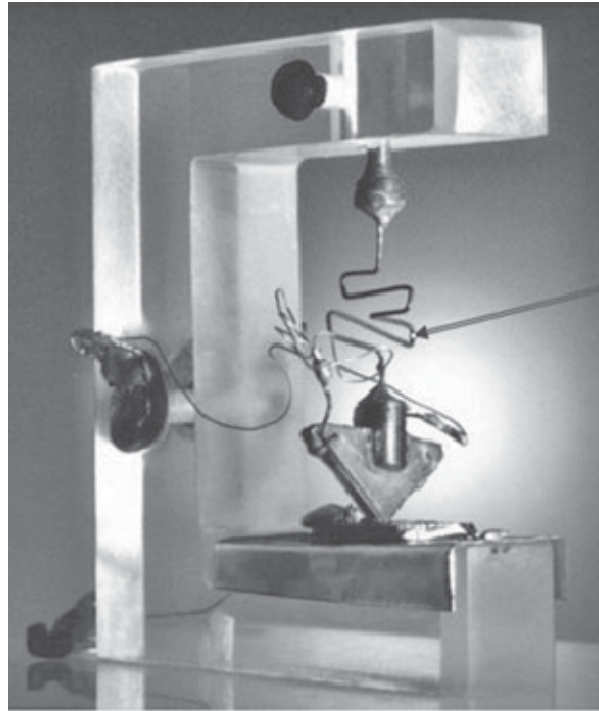
# 1 Úvod

Mikrodrátkové bondování je elektrotechnická propojovací technologie, kde se pro její realizaci používají mikrodrátky spolu s kombinací tepla, tlaku a ultrazvukové energie. Při kontaktování dochází k propojení kontaktních plošek (umístěných na desce, čipu, atd..) s mikrodrátkem. [1]

První publikace, týkající se mikrodrátkového bondování, byla zveřejněna z Bellovo laboratoří roku 1957, přestože první bond byl vytvořen již v roce 1947. V roce 1959 vydal J.W. Beams článek o spolehlivosti mikrodrátkového spojování, týkající se základních poznatků a zkušeností v oblasti této technologie. V roce 1971 Nowakowski a Villela navrhuji varianty výkonových testů, za účelem posouzení kvality mikrodrátkových spojů. [1]

V 70. letech, se začalo mikrodrátkové bondování podílet až na třetině všech selháních polovodičových zařízeních, failures mechanism (odhalování proč jednotka nefunguje, krok po kroku zkoumání problémů a jejich příčin.). Část těchto poruch byla odhalena za pomoci analytických metod a zařízení (např. Auger a SIMS analýza) a část z důvodu měnící se technologie (používaných materiálů, používání plastových pouzder). [1]

Studie v oblasti Au a Al mikrodrátků, používaných v procesu bondování, v současnosti ukazuje nárůst spolehlivosti, i když znovuobjevování starých poruch nebo jejich variací pokračuje. V roce 2008 se ročně realizovalo 8-9 miliard výrobků za pomoci bondování, tato technologie byla použita také v 160 miliardách integrovaných obvodů. Počet mikrodrátků, realizovaných na jednom substrátu, se zvýšil každý rok včetně několika poklesů až po současnost oproti prvnímu bondování v roce 1947 (na obrázku 1-1) mnohonásobně. Množství mikrodrátků je ovšem limitováno plochou po obvodu čipu a velikostí pouzdra, protože pouzdro musí zakrýt celý čip i s mikrodrátkovými vývody. Z těchto důvodů není mikrodrátkové bondování vhodné pro aplikace s nároky na vysokou hustotu integrace. Přesto je oblast použití natolik rozsáhlá, že jiné metody propojování čipů nemají šanci metodu bondování v dohledné budoucnosti vytěsnit nebo úplně nahradit, i přes stále se rozšiřující využití jiných technologií například FLIP-CHIP a jeho variací. [1]



Obr. 1-1 První bondovací stanice (šipkou vyznačen první bond) [1]

V dnešní době jsou kladeny vysoké nároky na miniaturizaci a hustotu integrace, a proto se i podle toho musí vybírat technologie využitelné pro danou oblast výroby. Jednou z takových technologií je i Wire bonding (metoda mikrodrátkového propojování). Připojování čipů za pomoci mikrodrátkového bondování nabízí širokou škálu možností pro moderní technologie, protože využívá malých pevných spojů. Nejběžnější spoje pro tuto oblast jsou buď ve tvaru kuliček, nebo ve tvaru klínů. Bondování je realizováno pomocí měkkých materiálů, jako je například zlato, které se využívá pro jeho dobrou tvárnost při nízkých teplotách (150 °C). Hlavním důvodem použití je také dobrá elektrická vodivost. Používá se zlato s vysokou čistotou, aby se zamezilo zanesení kapilární trubice případnými nečistotami. Avšak nevýhoda mikrodrátků vytvořených z ultračistého zlata je jejich vysoká křehkost (lámavost) proto se zlato, používané hlavně u termokompresního bondování, záměrně dotuje přidáním malého množství Berylia (5 - 10 ppm) tím dosáhneme až o 10 - 20 % vyšší pevnosti. Zárukou optimální kvality jsou neustále se zdokonalující testy, kterými zkoumáme správné nastavení bondovacího stroje. Mezi ty nejdůležitější patří kontrola bondovací teploty, která závisí na použitém materiálu a také pro jakou aplikaci je daný výrobek zhotovován, Správné nastavení intenzity ultrazvukového vlnění, které má velký vliv na integritu a jednodolitost spoje a také jeho vizuální vlastnosti a pevnost. [1]

Důležitá data poskytují i testy deformační, například testy v tahu či stříhu. Nejdůležitějším aspektem je výsledek zkoušky v tahu, ty se srovnávají buď s obchodními,

nebo vojenskými normami, případně s požadavky koncového zákazníka. Spoje jsou podrobeny také termomechanickým zkouškám a to je testování integrity spoje při namáhání nejen teplotou ale i tahem. Tyto testy umožňují odhalení některých vzorků, u kterých bylo provedené elektrolytické pokovení zlatem, a tato elektrolytická vrstva byla příliš slabá, protože povrch pro pokovení byl vystaven kontaminaci – koroze niklu. [2]

Pozorováním se také došlo k závěru, že vizuální vzhled vypovídá hodně o integritě spoje. Samozřejmě pozorování pouhým okem by bylo neefektivní, proto se k odhalování poškozených spojů využívá mikroskop. [2]

Vzhledem k potřebě maximálního využití materiálu při bondovacích procesech je velice důležité se podrobně věnovat optimalizaci samotného systému pro jeho co nejlepší odladění a s co nejmenšími ztrátami. K tomu se využívá studie DOE. Ta se zaměřuje na čtyři nejdůležitější nastavení bondovacího stroje a těmi jsou: bondovací čas, který je omezujícím faktorem pro celou výrobní linku a také pro odpovídající kvalitu koncového výrobku. Dalším neméně důležitým faktorem je použitá přitlačná síla. Nadměrné použití síly může mít za následek vznik nebondovaných oblastí, a tím i narušenou integritu spoje. Také nesprávné nastavení intenzity ultrazvukového vlnění není žádoucí. Posledním a neméně důležitým faktorem je teplota bondování. Ta se mění s potřebami koncového zákazníka a jeho nároky na daný výrobek, nebo vzhledem k použitému typu bondování (termosonické, termokompresní, atd.). [2]

## 2 Technologie bondování

### 2.1 Vytváření mikrodrátkových spojů

Mikrodrátkové bondování je proces, který poskytuje elektrické propojení mezi kontaktními ploškami, například křemíkového čipu a nosné propojovací struktury za pomoci velice jemných propojovacích drátů obvykle ze zlata nebo hliníku o vysoké čistotě, bondovaných pomocí termokomprese, ultrazvuku nebo termosonicky. Využití nachází tato technologie zejména u aplikací, kde je kladen nárok na co nejmenší termoelektrické napětí (vzniká při spojení kovů). Bondováním (převážně zlatým drátkem) vzniká dlouhodobě nejspolehlivější spojení bez termických šumů. Termické šumy neboli šumy odporu se takto nazývají kvůli jejich přímé úměrnosti k teplotě. Tento šum vzniká nepravidelně se pohybujícími elektrony na základě teplotou se zvyšujícího kmitání. To znamená, že velikost termického šumu se zvyšuje se zvyšující se teplotou. [4]

### 2.2 Metody propojování

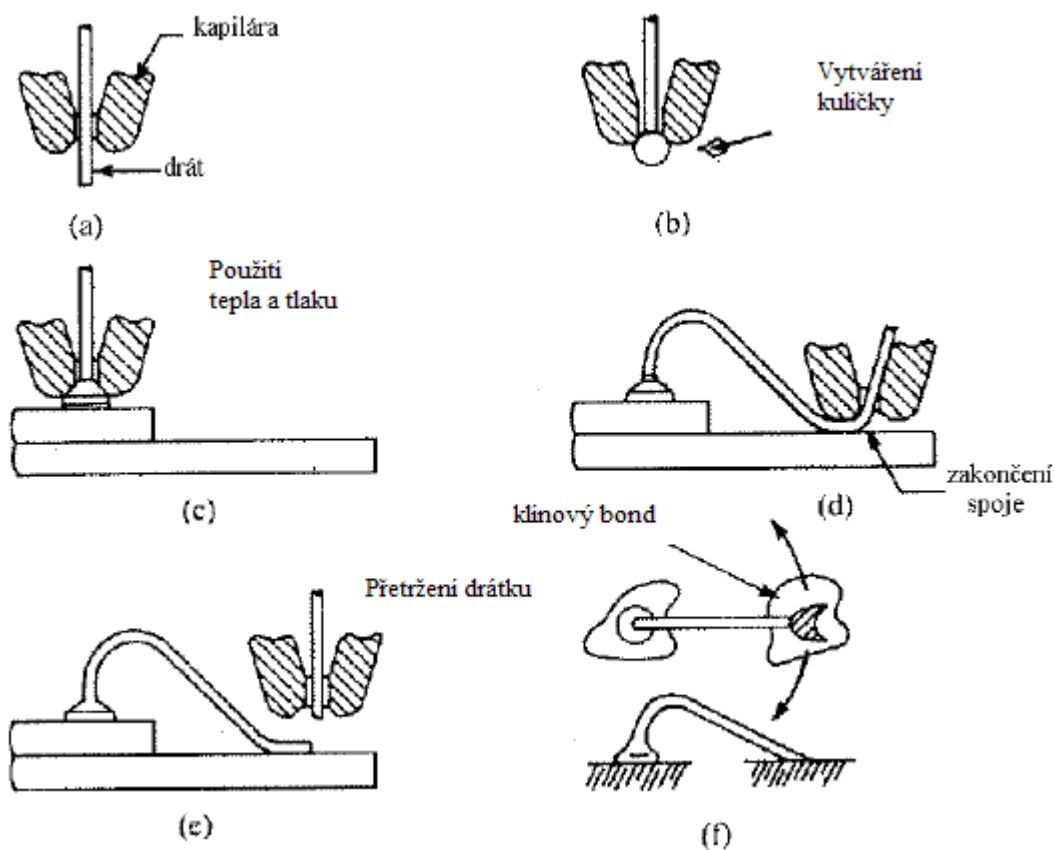
Základní metody propojování lze rozdělit do třech skupin podle kombinace tepla, tlaku, a ultrazvukové energie, která je pro daný spoj využita.

**Tab. 1:** Tabulka materiálu a použité energie [5]

Metoda bondování	Tlak	Teplota [°C]	Ultrazvuková energie	Materiál mikrodrátku	Materiál kontaktní plošky
Termokompresní	Vysoký	300-500 °C	NE	Au	Au, Al, Cu
Ultrazvukové	Nízký	25 °C	ANO	Au, Al	Au, Al, Cu
Termosonické	Nízký	100-150 °C	ANO	Au	Au, Al, Cu

#### 2.2.1 Termokompresní bondování

Tato technologie využívá kombinace tepla a tlaku. Teplota se pohybuje v rozmezí 300 - 500 °C (viz tab. 1). Svár je vytvářen vzájemnou difúzí krystalové mřížky Au mikrodrátku a kontaktní plošky. Teplota ohřevu kontaktní plošky je nižší než je teplota tavení, proto je nutné tlakem dodat potřebnou chybějící energii pro vytvoření sváru. U termokomprese se používají pouze zlaté drátky, protože hliník tvoří při reakci se vzduchem vrstvu oxidu hlinitého, která brání difúzi mezi mikrodrátkem a kontaktní ploškou (obr. 2-1). [5]

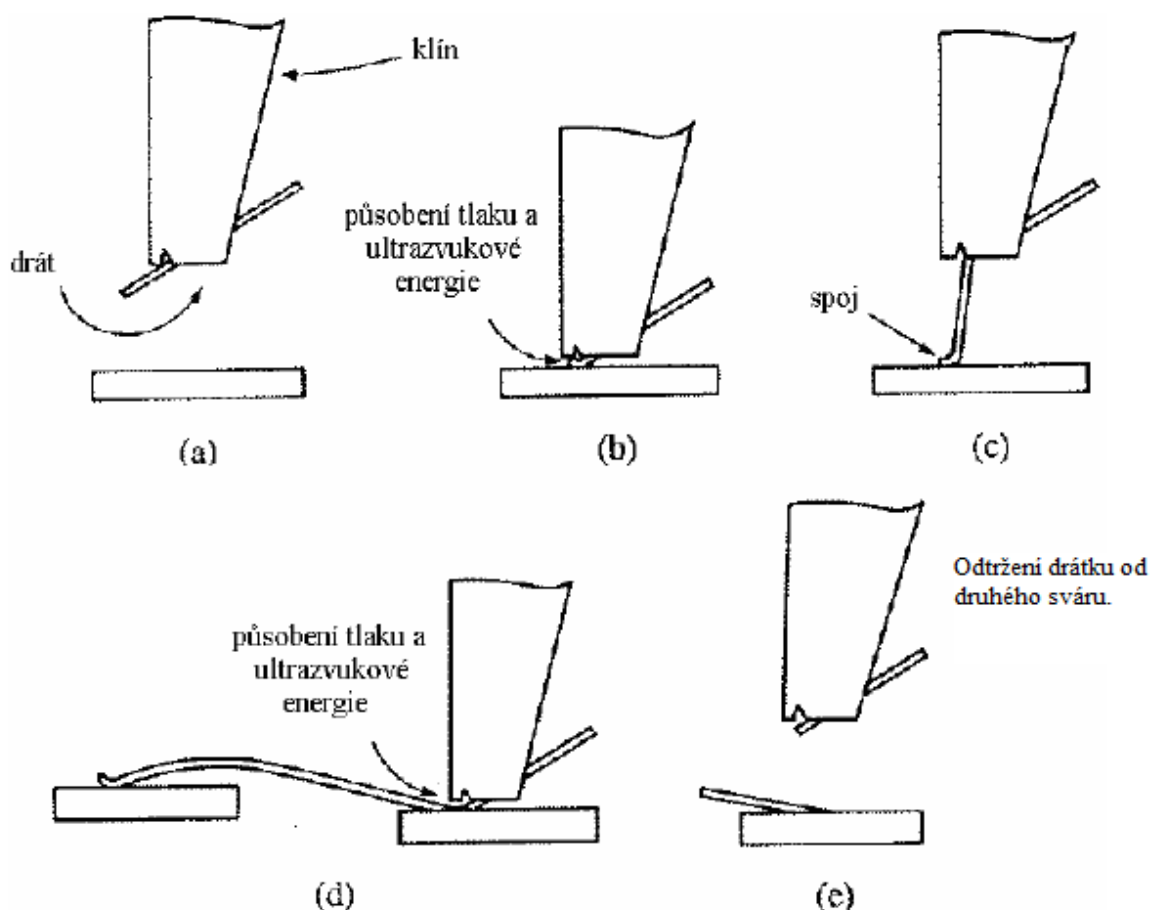


Obr. 2-1. Ukázka bondování na kuličku metodou termokomprese. [5]

### 2.2.2 Ultrazvukové bondování

Ultrazvukové bondování (obr. 2-2), spočívá ve smykovém prolínání atomů. Tato metoda se využívá poměrně často vzhledem k nízké teplotě bondování (25 °C). Hlava klínového nástroje se rozkmitá ve vodorovném směru a gravitační silou přitiskne drátek k podložce. Působením ultrazvukové energie po určitý čas (asi 25 ms) přejde materiál drátku a kontaktní plošky do plastického stavu a dochází k vytváření sváru. Kmitočet rozkmitání hlavičky se pohybuje mezi 30 kHz – 120 kHz. Tato frekvence je závislá na použitém materiálu a průměru drátku. [5]





Obr. 2-2. Ukázka klínového bondování ultrazvukem. [5]

### 2.2.3 Termosonické bondování

Termosonické bondování je kombinace termokomprese a ultrazvuku, pro tuto metodu je využíváno zlatých drátků. Rozdíl oproti ultrazvukovému bondování je nutnost použití vnějšího zdroje tepla, podobně jako u termokomprese, drátek nesmí být pokryt abrazivním oxidem. Protože zlato nevytváří dostatečně spolehlivé spoje při nízké teplotě a v dostatečně krátkém čase, je potřeba zvýšit teplotu okolí spoje a tím snížit i energii potřebnou ke vzájemné difúzi materiálů a vytvoření kvalitního spojení. Typická teplota se pohybuje v rozmezí (100 - 150 °C) a doba potřebná k vytvoření jednoho spoje je pak v rozmezí 5 – 20 ms. Velikost dodané ultrazvukové energie je pro kvalitu spoje velice důležitá, protože podporuje rychlost a úroveň vzájemné difúze, ale také pohyblivost a hustotu dislokací mřížek obou materiálů. Proto je kritickým faktorem pro kvalitu spoje správné nastavení času působení ultrazvukové energie. [5]

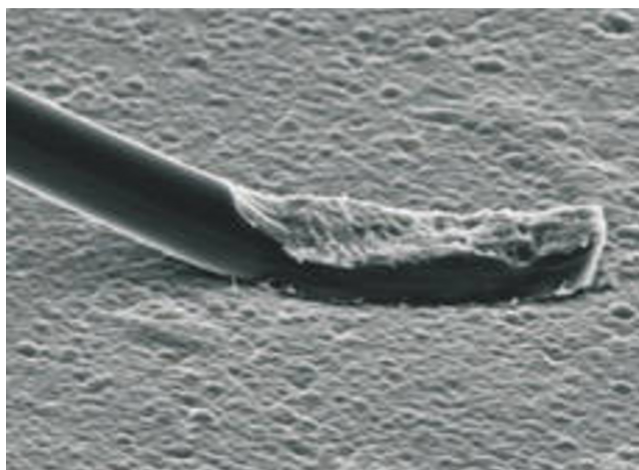
## 2.3 Druhy bondů

### 2.3.1 Vytváření klínového bondu

Klínové bondování používá nástroj ve tvaru klínu. Obrázek 2-5 popisuje zjednodušený postup klínového bondování. Tento postup se nemění více než 30 let. Pro tento způsob bondování, musí být zařízení dopředu přibližně orientováno v přímém směru mezi dvěma bondy, předtím než dojde k vytvoření prvního bondu. Při nedodržení této podmínky, musí-li se zařízení pohybovat v jiném než přímém směru (po vytvoření prvního bondu), může dojít k deformacím bondu (například odtržení kraje bondu nebo ztenčení "paty" klínového bondu). V současnosti se používá metoda wire looping (natažení drátu v plynulém kruhovém ohybu, při pohybu nástroje od prvního k druhému bondu). [1]

Obrázek (obr. 2-5) znázorňuje zjednodušený postup při mikrodrátkovém spojení mezi čipem a bondovací platformou (deskou), za pomoci typického bondovacího nástroje na klínové bondy. Drátek se nachází mezi bondovacím nástrojem a bondem. Když je použito manuálního bondovacího stroje, nástroj je nejnižší na první vyhledávací (search) pozici (75 až 125 mm nad bondovaným povrchem). Tato výška je volena obsluhou. Automatické bondování eliminuje search pozici úplně. Nástroj již od začátku tlačí drátkem proti bondovanému povrchu předem stanovenou silou. [1]

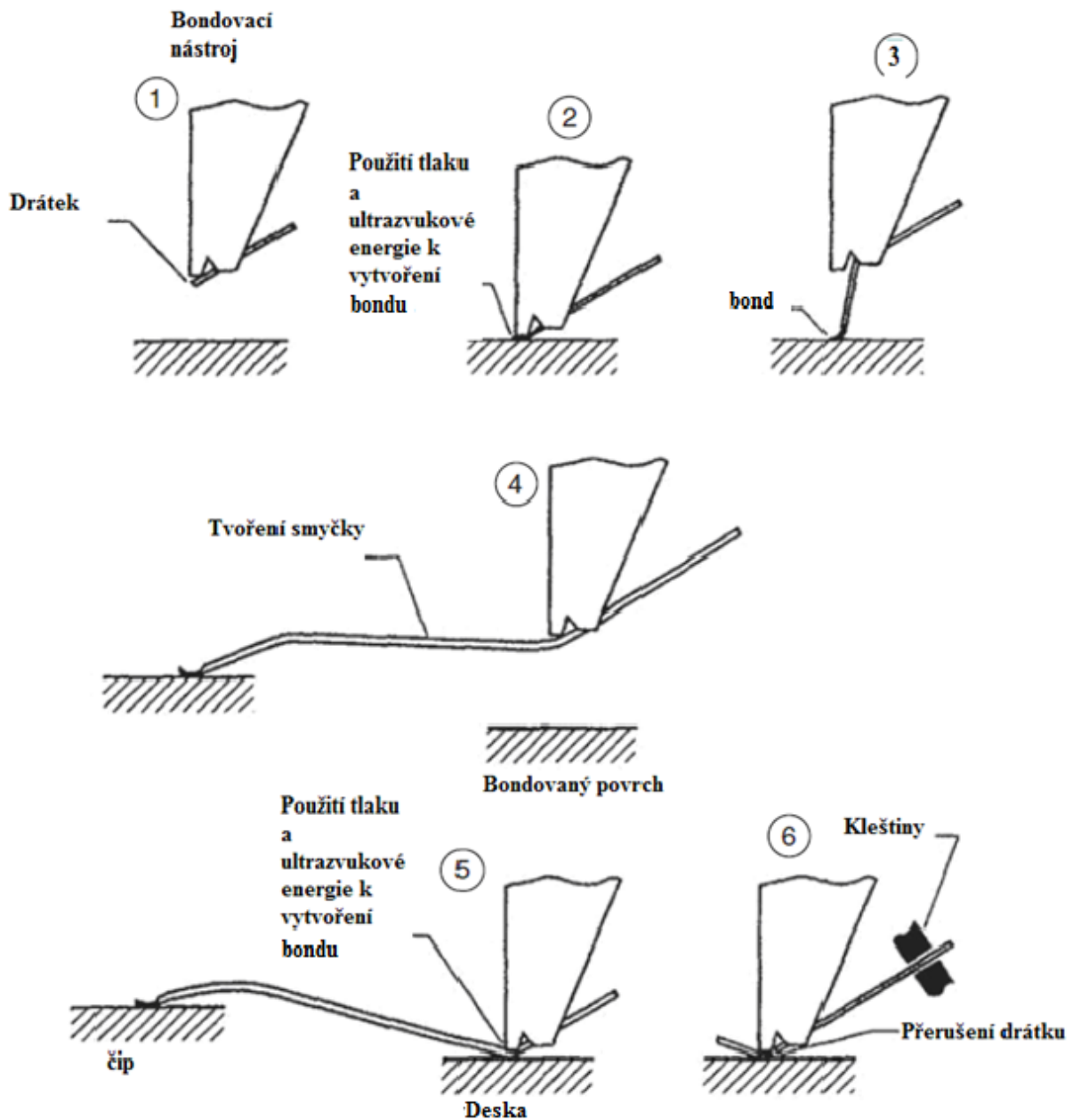
Postup propojení dvou kontaktních plošek, za pomoci klínového bondování v tomto případě (wedge - wedge), je následující. Nástroj klesne z výchozí pozice na úroveň bondovaného povrchu a přitlačí drátek proti této plošce předem zvolenou přitlačnou silou. Ultrazvuková energie je aplikována po nastavený čas, potřebný pro vytvoření prvního bondu. Nástroj se zvedá, zatímco je drát odmotáván z cívky (na které je zásoba drátu pro bondování). Pracovní držák se přesune na druhou bondovací pozici v rámci nástroje, smyčka je vytvořena a nástroj snížen na úroveň bondované desky, kde je vytvořen druhý bond, (postup je stejný jako tomu bylo v případě prvního bondu). Po vytvoření druhého bondu, se drátové kleštiny (umístěné za nástrojem) sevřou a tím dojde k uštípnutí konce mikrodrátku nad druhým bondem. Nástroj se zvedne a přemístí se s povytaženým drátkem do výchozí pozice. Stanice je připravena na další cyklus. [1]



Obr. 2-3. Ukázka vytvořeného klínového bondu. [3]



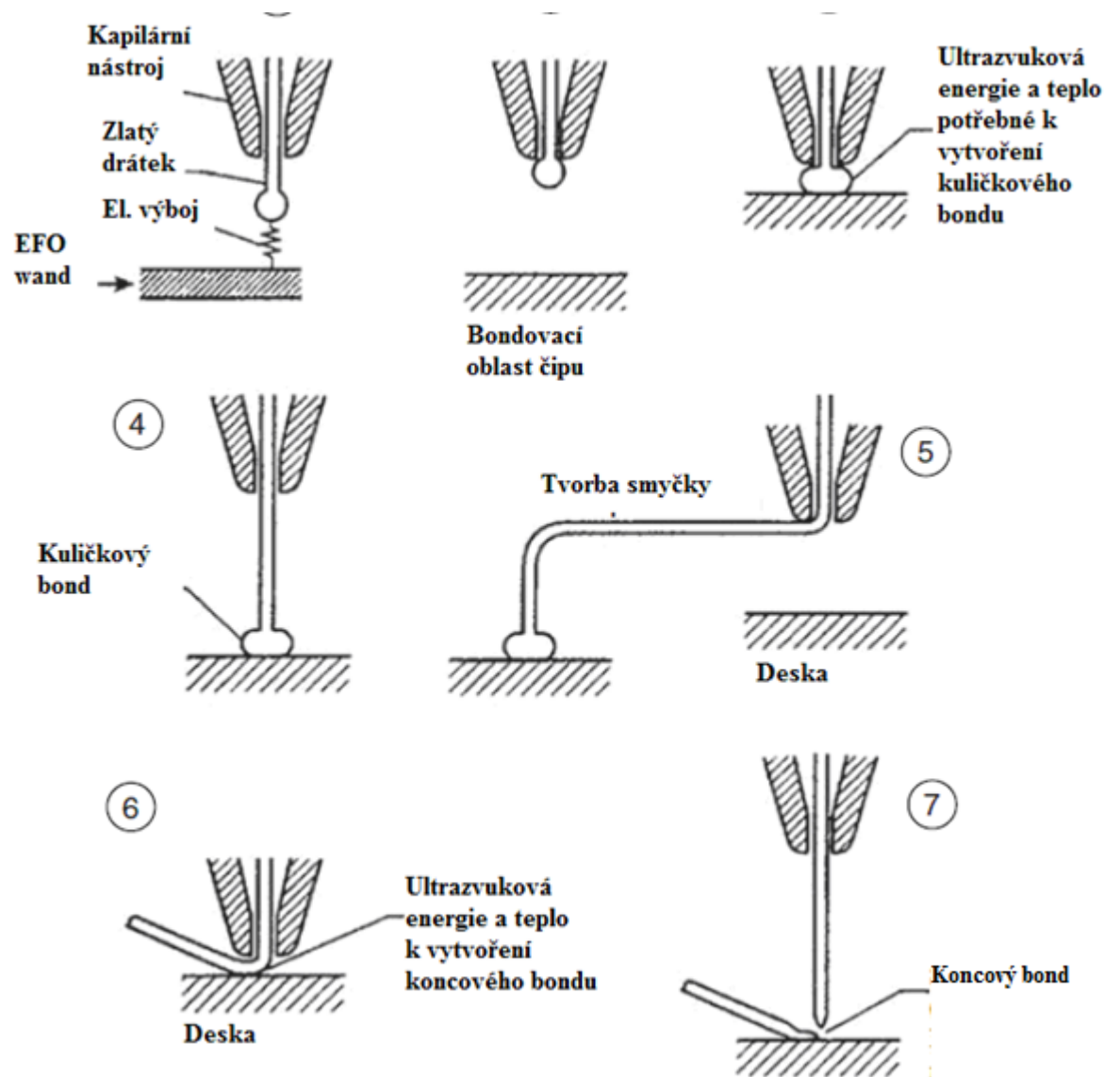
Obr. 2-4. Ukázka sváru, vytvořeného bondováním na kuličku. [3]



Obr. 2-5. Postup pro vytvoření klínového bondu. [1]

### 2.3.2 Bondování na kuličku

Kapiláry jsou vyrobeny z korundové keramiky, wolframu a jiných žáruvzdorných materiálů. Jejich rozměry jsou obvykle: 1,585 mm v průměru a 11,5 mm délky. Mají velký vstupní otvor, který se zužuje na průměr 38 - 50  $\mu\text{m}$ , (závisí na průměru drátku). Zjednodušený postup pro provádění kuličkového bondu kapilárním nástrojem je následující. Nejprve se zlatý drátek přivede skrze kapilární nástroj, následuje tavení zlatého drátku pomocí elektrického výboje (EFO – elektronick flame-off system). Tímto se na konci drátku vytvoří zlatá kulička, (kuličkový bond obvykle spotřebuje asi 300  $\mu\text{m}$  délky drátku o průměru 25  $\mu\text{m}$ ). Drátek je umístěn tak, že se kulička nachází pod kapilárním nástrojem (obr. 2-5, bod 2). Nástroj je snížen na úroveň desky a vytvořená kulička je tlačena proti ní a zároveň zahřívána vyhřívaným pracovním držákem. Plocha tvářeného bondu roste s teplotou. Aplikuje se ultrazvukové energie zároveň s teplotou a tlakem, dojde k vytvoření kuličkového bondu . Nástroj se zvedá (vzdaluje se od vytvořeného bondu) a vytváří na drátku smyčku, která vzniká pohybem nástroje směrem k pozici pro druhý bond. Bondovaný povrch je umístěn níže než je bondovací nástroj (kapilární nástroj), nástroj klesá jako v předchozím případě na úroveň bondovací platformy (desky) a dochází k ohnutí smyčky. Působením tlaku, ultrazvukové energie a teploty dochází k vytvoření druhého bondu. Po sevření kleštin, které přidržují drátek, aby mohlo dojít k jeho odtržení, se nástroj začne zvedat a tím dojde k přerušení drátku u posledního bondovaného spoje. Po dokončení druhého bondu se nástroj přesouvá a kleštiny udržují drát ve výšce dostatečné pro vznik dalšího kuličkového bondu. Bondovací stanice je připravena na další cyklus. [1]



Obr. 2-6. Zjednodušený postup bondování na kuličku. [1]

### 2.3.3 Optimalizace

Optimalizace procesu, spočívá hlavně v pochopení funkce zařízení, reakce zúčastněných proměnných a jejich vztah k sobě navzájem. Experimentování s těmito parametry je velice důležité pro optimalizaci bondovacího procesu. Důležitým aspektem je přehled použitých způsobů svařování a nastavených parametrů stroje (DOE data). [7]

DOE je procedura, která se využívá na proces nebo produkt, který chceme optimalizovat a na něhož působí řada vlivů. Vlivy, které jsou říditelné se nazývají faktory a těmi jsou v našem případě použité materiály, teplota, výběr procesů a další. Další je měřitelný výstup, který se nazývá odezva. A právě úkolem DOE je najít takovou kombinaci faktorů, aby odezva bylo co nejpříznivější vzhledem k omezeným možnostem změny faktorů. Čtyři hlavní nastavení bondovacího stroje jsou: nastavení pracovní teploty, intenzita ultrazvukového vlnění, síla bondovacího nástroje a bondovací čas. [6]

Teplo změkčuje zlatý bondovací drátek a dochází k pokovení desky zlatem. Síla a čas se nastavuje pro zajištění dostatečné doby působení a velikosti amplitudy ultrazvukového vlnění. Parametr síla je přítláčná síla nástroje působící na bondovaný povrch. Při bondování dochází k oscilování nástroje ze strany na stranu, aby došlo ke zjemnění malé části bondovacího vodiče, který je zachycen mezi nástrojem a bondovanou ploškou. Teplo a ultrazvuková energie změkčuje drátek a zároveň pokovovanou plošku, tím umožňuje prolnutí obou materiálů. Nástroj deformuje drátek vůči podložce tak, že dochází k mikrosváru propojujícího dva materiály. [7]

Tento spoj se následně testuje silou tahem. Test je realizován zachycením „smyčky“, která je vytvořena mezi sváry na háček testovacího zařízení, které postupně zvyšuje tahovou sílu působící na spoj do doby, než dojde k viditelnému narušení spoje. Tuto zkoušku nazýváme destruktivní, protože dojde při ní k narušení integrity spoje a k jeho znehodnocení. [7]

### 3 Parametry bondovacího procesu

Před každým bondovacím procesem je nutné upravit parametry bondovací stanice, tak aby odpovídali požadovanému způsobu bondování.

#### 3.1 Ultrazvuková síla

Ultrazvuková energie má největší vliv na kvalitu a vizuální vzhled bondu, protože ovládá rozsah změkčení bondovaného mikrodrátku. Nedostatečná energie by mohla mít za následek, nevyhovující propojení drátku s kontaktovací ploškou. Na druhou stranu nadměrné množství US (ultrazvuková) energie vede k pomačkanému vzhledu bondu a trhlinám. [7]

#### 3.2 Bondovací síla

Bondovací síla je parametr, který určuje velikost přitlačné síly působící nástrojem na bondovaný povrch. Tím umožňuje řádné působení ultrazvukové energie na drátek a bondovanou plošku. Příliš velká bondovací síla se může projevit drhnutím nástroje o bondovaný povrch (omezení možnosti vibrování nástroje), dochází tak k zamezení vzniku metalického spojení. Nadměrná bondovací síla má také za následek vznik nebondovaných oblastí. K tomu dochází, když nečistoty a oxidy na bondovaném povrchu byli zataženy do středu bondu a tím narušily jednotnost spoje, který by se měl tvořit rovnoměrně a ne jen po okraji. Proto je potřeba bondovací sílu nastavit s ohledem na použité materiálové kombinace a způsob bondování. [7]

#### 3.3 Bondovací čas

Bondovací čas se nastavuje vzhledem k použitému materiálu (každý materiál má odlišnou potřebnou dobu působení ultrazvukové energie pro vytvoření kvalitního spoje). Z toho vyplývá, že se jedná o dobu působení ultrazvuková energie. Nadměrně dlouhý bondovací čas může mít za následek snížení výrobní kapacity. [7]

#### 3.4 Bondovací teplota

Bondovací teplota je nastavení ohřevu pracovního držáku, který zahřívá bondovaný substrát. Bondovací teploty jsou pro různé substráty a jednotlivé způsoby bondování odlišné a také se nastavují s ohledem na výstupní aplikaci výrobku, požadavků koncového spotřebitele. [7]



## 3.5 Používané materiály

### 3.5.1 Zlatý mikrodrátek (Au)

Zlato je nejvíce používaným materiálem, především pro bondování metodou termokomprese nebo termosonicky. Kritickým faktorem při vytváření bondu za pomoci zlatého drátku je čistota daného povrchu, nečistoty mohou mít za následek ucpání kapilární trubice (u termokomprese). [5]

Ultra čisté zlato je příliš tvárné (nízká mez pevnosti), proto je uměle znečišťováno malým množstvím Berylia (5 – 10 ppm) nebo mědi (asi 30 – 100 ppm), aby se zajistila dostatečná pevnost. Zlato obohacené Beryliem má až o 10 – 20 % větší pevnost než při obohacení mědí. Takto dotované zlato se využívá u automaticky prováděné termokomprese, kde je vysokou rychlostí kapilár značně drátek namáhán tahovým napětím. Bondování na kuličku termokompresí se právě kvůli rychlejšímu provozu využívá v automatizované výrobě. [5]

### 3.5.2 Hliníkový mikrodrátek (Al)

Hliníkový drátek je nejčastěji používán při ultrazvukovém bondování. Čistý hliník je příliš měkký pro tažení kvalitních spojů, proto se obohacuje asi 1% křemíku nebo hořčíku, aby bylo dosaženo požadované pevnosti. Při laboratorních podmínkách se atomy křemíku vlivem difuze shlukují do vlastní krystalové mřížky uvnitř hliníku. Počet a velikost křemíkových krystalů (zrn) závisí na rychlosti chlazení (tváření hliníkového drátku probíhá za tepla). Pomalejší chlazení je příčinou vzniku většího počtu křemíkových zrn, jejichž objem se zvyšuje v závislosti na čase chlazení. Díky rychlému chlazení nedochází k tvorbě velkých křemíkových zrn, ale tvoří se rovnoměrně rozprostřená zrna. Velikost křemíkových zrn ovlivňuje mechanické vlastnosti (např. tažnost drátu). Důsledkem těchto zrn je náchylnost drátku na vznik trhliny z důvodu zvýšení únavy materiálu. [5]

Hliník obohacený 1 % hořčíku se vyznačuje stejnou pevností jako hliníkový drát znečištěný 1% křemíku. Slitina hliníku s hořčíkem je mnohem kvalitnější oproti slitině hliníku a křemíku, zejména v odolnosti proti únavě materiálu a poklesu pevnosti při zvýšených teplotách. [5]

### 3.5.3 Měděný mikrodrátek (Cu)

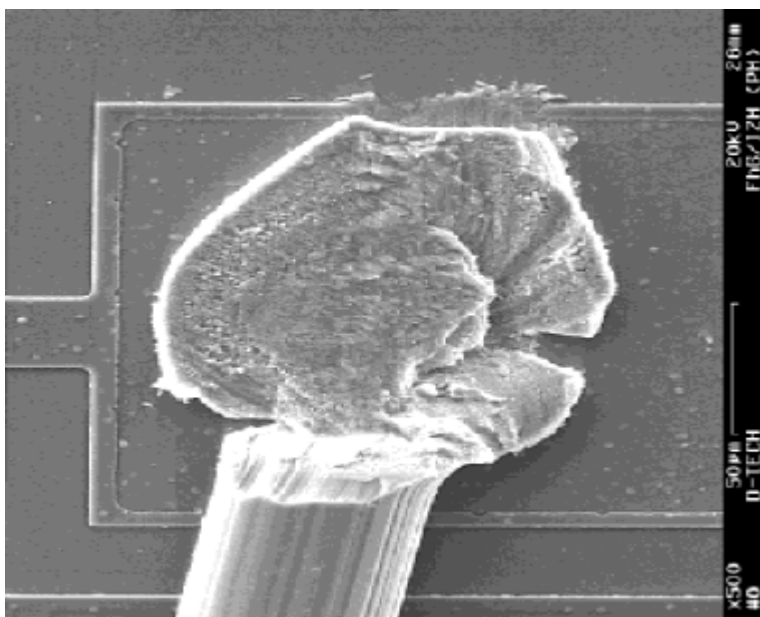
V poslední době budí významnou pozornost použití mědi při bondování. Hlavním důvodem je samozřejmě úspora, ale také odolnost proti ohybu (při spojování mikrodrátku kolmo k plošce). [5]

Největším problémem je samotné bondování měděného drátku, protože měď je tvrdší

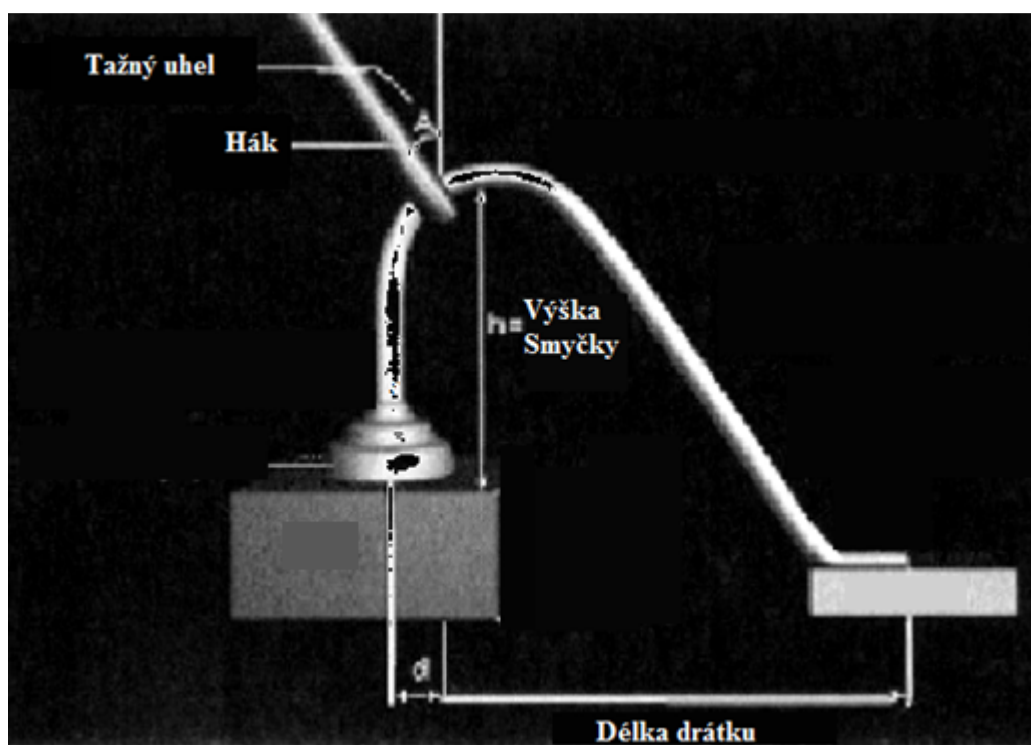
než zlato nebo hliník. Může dojít k rozdrčení čipu, protože je potřeba větší přitlačné síly. Mezi nevýhody bondování měděným drátkem také patří jeho rychlá oxidace, proto se spojování musí provádět v inertní atmosféře. [5]

#### 4 Vznik defektů při bondování

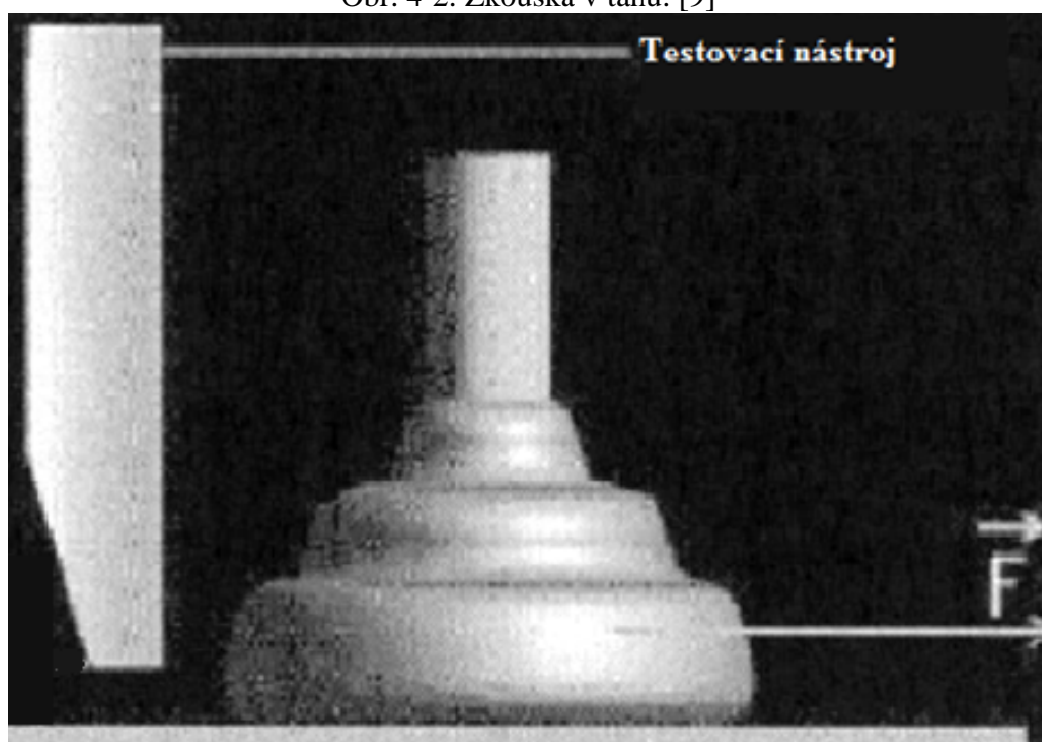
Poruchy vzniklé při bondovacím procesu jsou nejčastěji odhalovány jednou ze tří metod. A ty jsou následující. Vizuální kontrola (obr. 4-1), která se využívá pro ověření dobré kvality bondu (klínového nebo kuličkového). Dále slouží pro kontrolu správného umístění bondu vzhledem k bondovací plošce, substrátu a s ohledem na kryt, který musí zakrýt celý čip i s mikrodrátky. Dalším testem je zkouška v tahu (obr. 4-1), kde měřící přístroj, působí tažnou silou na drátek. Tím testuje pevnost spoje a drátku. Obecně platí, že háček testovacího zařízení je umístěn v poloviční délce drátku, tímto test ukáže nejslabší článek bondu. Nejběžnějším místem, kde dojde k přerušení drátku je jeho hrdlo (hned nad bondem). Posledním, z této trojice testů, je zkouška smykem, která je dalším ukazatelem kvality bondu (obr. 4-2). [9]



Obr. 4-1. Vizuální kontrola bondovaného spoje. [10]



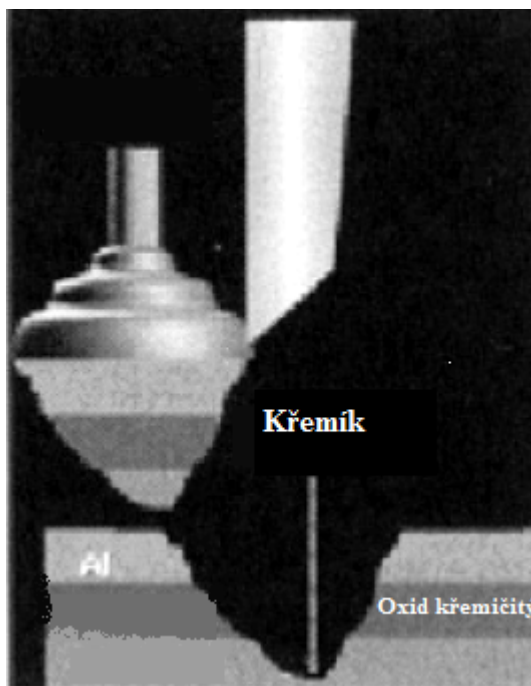
Obr. 4-2. Zkouška v tahu. [9]



Obr. 4-3. Zkouška smykem. [9]

#### 4.1 Kráterování podložky

Jedná se o typicky doprovodný jev při ultrazvukovém bondování. Jde o poškození části polovodičového substrátu, popřípadě jiných vrstev, které se nacházejí pod kontaktní ploškou. Poškození nejčastěji nebývá na pohled viditelné, přesto se jedná o poruchu, která může silně zhoršit vlastnosti zařízení, pro které je daná součástka vyráběna. Zařazuje se mezi elektrické poruchy. [5]



Obr. 4-4. Ukázka popraskané podložky. [8]

#### 4.2 Praskliny u spojů

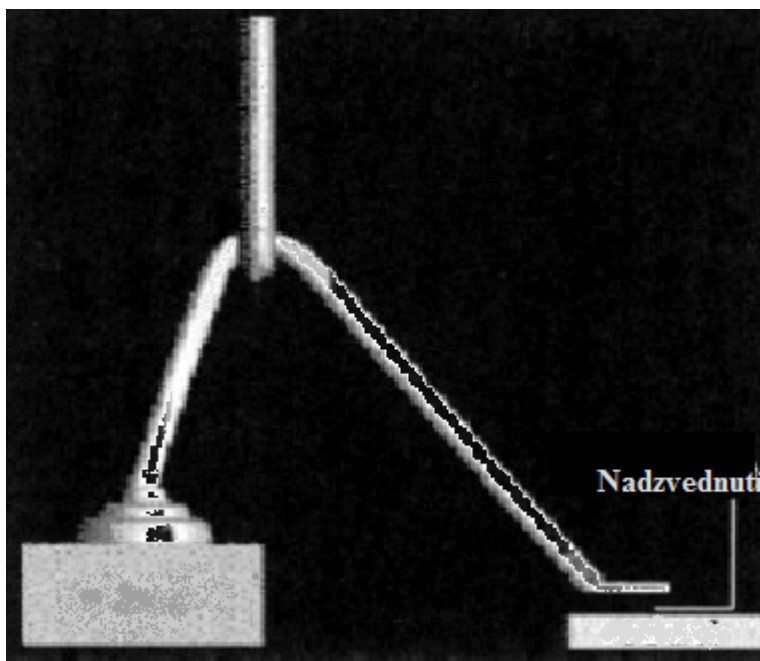
Patka spoje je v průběhu ultrazvukového bondování oslabována oscilací klínového nástroje a to je častou příčinou vzniku prasklin. Tvorba prasklin je hlavním problémem tohoto způsobu bondování. Nejčastěji vznikají v místě patky prvního spoje. K jejich vzniku, může dojít i při bondování na kuličku v důsledku přílišného ohýbání mikrodrátku během utváření smyčky. Vysoké smyčky vedou k většímu pohybu hrotu a tím se zvyšuje pravděpodobnost vzniku prasklin. [5]

#### 4.3 Nekonzistentní konce

Tento problém se nejčastěji vyskytuje při bondování na hranu (klínovém bondování) a je jeden z nejhůře odstranitelných. Příliš krátké konce znamenají, že síla vytvoření prvního spoje je přenášena přes mnohem menší oblast a tím vzniká pnutí a následná deformace spoje. Příliš dlouhé konce zase mají za následek zkrácení oblasti mezi kontaktovacími ploškami. [5]

#### 4.4 Nadzvednutý bond

Toto označení znamená nadzvednutí bondu od křemíkového čipu (nedostatečné přilnutí bondu) nebo nepřilnutí bondu k bondované plošce. Možné příčiny jsou následující. Bondovaná ploška byla kontaminovaná nečistotami, které brání difúzi mezi drátkem a ploškou. Dalším možnou příčinou je nesprávné nastavení bondovacích parametrů nebo použití drátku, který pro daný spoj nemá požadované vlastnosti. Nepřilnutí bondu může být také zapříčiněno korozí bondované plošky (před začátkem bondování nutno očistit). [9]



Obr. 4-4. Nadzvednutí spoje. [8]

#### 4.5 Intermetalické sloučeniny

Podmínka intermetalické sloučeniny je účast dvou a více kovových částí. Intermetalická reakce je tvořena v závislosti na čase a teplotě, může mít dopad na mechanické a elektrické vlastnosti spoje. Hlavním důvodem je vytváření Kirkendallových dutin. Tyto mezery po okrajích můžou způsobit, že spoj vypadá mechanicky pevně, ale má velký elektrický odpor. Naopak tvorba těchto mezer pod spojem za čas způsobí, že spoj selže v důsledku mechanické únavy. Formování intermetalických částic je většinou podmíněno přítomností zvýšené teploty (1 hodinu a za teploty 300 – 300 °C u Au – Al systémů). K formování částic dochází, i při pokojové teplotě, ale byl by k tomu potřeba velmi dlouhý čas. Při moderním bondování nedosahujeme takových teplot ani takového času v průběhu tváření spoje, z toho důvodu je selhání součástky vlivem intermetalických sloučenin velice nepravděpodobné. [5]

#### 4.6 Ohnutí drátku

Spoj realizovaný za pomoci mikrodrátků může selhat vlivem vzniku mikroprasklin na patce spoje. Metalurgické mikropraskliny se mohou rozšiřovat po drátu a tím způsobit chyby během provozní doby daného zařízení. Praskliny na patce spoje jsou způsobeny ohýbáním drátku při vytváření spoje. Tyto praskliny by mohli eventuelně způsobit únavové selhání drátku. Obdobné problémy mohou nastat vlivem teplotních změn. V této souvislosti bylo zjištěno, že jsou hliníkové spoje vytvořené za pomoci ultrazvuku mnohem odolnější vůči změnám teploty než vytvořené za pomoci termokomprese. Výška smyčky musí dosahovat alespoň 25 % vzdálenosti mezi jednotlivými spoji, abychom zmenšili možnost poruchy vlivem ohnutí drátku. [5]

#### 4.7 Nadzvednutí spoje

Při bondování na kuličku se může drát přetrhnout u krčku spoje. Hlavním zdrojem těchto poruch je thalium, které se formuje u nízkotavitelných eutektik se zlatem a může být přenášeno do Au drátku z pozlacené kontaktní plošky. Při vytváření spoje se pak velice rychle z bondované plošky do drátku rozšíří thalium a dochází k jeho koncentraci nad krčku kuličky, kde se vytváří eutektikum (tuhá směs dvou látek, jejichž krystaly se vytvářely při tuhnutí společně). Během zakrývacích procedur nebo změn teploty mohou spoje popraskat právě v těchto místech. Prasknutí kuličkového spoje má za následek nadzvedávání. Prasklina se může během pouzdření dále rozšiřovat. [5]

#### 4.8 Koroze drátů a podložek

Koroze zamezuje vzniku dobře vodivého spoje a může způsobit oddělení jednoho nebo obou konců drátu od čipu, respektive podložky. To může vyvrcholit v nekontrolovatelný pohyb drátu uvnitř pouzdra a vytvářet tak jiné nové elektrické obvody. Koroze je závislá na přítomnosti vlhkosti a kontaminací. Například přítomnost chlóru nebo bromu během kontaktování způsobuje vytváření chloridů respektive bromidů, což vede ke korozi spoje. Koroze má za následek zvyšování elektrického odporu spoje až do té míry, kdy se stane zařízení nefunkčním. [5]

#### 4.9 Únava vibracemi

Obvyklé vibrace nemají za následek poškození vytvořeného spoje. Minimální frekvence, která může zapříčinit vznik rezonance a tím i poškození spojů, je v rozsahu 3 – 5 kHz pro zlaté spoje a 10 kHz pro hliníkové. Obecně dochází k poškození vibracemi při ultrazvukovém čištění, a proto se doporučuje použití zařízení s frekvencí v rozsahu 20 – 100 kHz. [5]

## 5 Popis ovládacích prvků

Popis ovládacích prvků pro semi-automatickou bondovací stanici KULICKE & SOFFA 4700(obr. 5-1).



Obr. 5-1 Bondovací stanice KULICKE & SOFFA 4700. [12]



Obr. 5-2 Levý ovládací panel.

### 5.1.1 Popis levého ovládacího panelu a jeho nastavení

<b>Hlavní vypínač -</b>	ovládání napájení bondovací stanice
<b>Tail -</b>	tlačítko určené k nastavení délky drátku visícího z kapiláry po dokončení druhého bondu
<b>Test -</b>	okamžitý test ultrazvukového generátoru
<b>Manual spark -</b>	okamžité vytvoření jiskry, pro tavení bondovacího drátku
<b>Light -</b>	spínač, který ovládá osvětlení bondovací oblasti
<b>Search -</b>	ovládání výšky výchozí pozice (search pozice)
<b>Power -</b>	ovládá amplitudu ultrazvukového generátoru
<b>Time -</b>	čas působení ultrazvukové energie na bond
<b>Force -</b>	přítlačná síla bondovacího nástroje
<b>Loop -</b>	nastaví výšku, do které se bondovací nástroj zvedne po vytvoření prvního bondu [13]

### 5.1.2 Popis světelné signalizace na levém ovládacím panelu

<b>1st -</b>	rozsvícená kontrolka signalizuje začátek prvního bondovacího cyklu Bondovací nástroj je ve výchozí poloze, kontrolka zhasne po dokončení prvního bondu
<b>2nd -</b>	tato kontrolka signalizuje, že se nástroj nachází na námi nastavené „loop“ výšce, zhasne poté, co nástroj dokončí druhý bond
<b>U/S -</b>	signalizace zapnutého ultrazvukového generátoru, pokud je tlačítko test přepnuto do horní polohy kontrolka se rozsvítí poté, co je ultrazvukový generátor správně nastaven [13]





Obr. 5-3 Pravý ovládací panel.

### 5.1.3 Popis displeje pro nastavení teploty

- Set** - po stisknutí tlačítka, lze nastavit teplotu pracovní drážky
- Up** - zvýšení nastavené teploty o jeden stupeň
- Down** - snížení nastavené teploty o jeden stupeň

### 5.1.4 Světelná signalizace

- Ball** - svítí-li tato kontrolka, pak je nástroj v poloze pro bondování na kuličku
- Wedge** - svítí-li tato kontrolka, pak je nástroj v poloze pro bondování na hranu
- Short** - signalizuje, že N.E.F.O (systém pro vytvoření tavící jiskry) nevytváří jiskru z důvodu vzniklého zkratu
- Open** - N.E.F.O nevytváří jiskru, protože je obvod ve stavu naprázdno

### 5.1.5 Popis pravého ovládacím panelu a jeho nastavení

- Ball Size** - Nastavení velikosti kuličky
- Clamp** - přepínač, který ovládá sevření kleštin kolem drátku (horní poloha – otevřeno, dolní - zavřeno), při provlékání mikrodrátku skrze nástroj musí být přepínač v horní poloze
- Speed** - volba rychlosti motoru, který slouží k pohybu v ose z
- N.E.F.O** - přepínač, který ovládá zapnutí/vypnutí napájení N.E.F.O

<b>Tear -</b>	nastavení délky pohybu pro odtržení drátku od druhého bondu
<b>Set up/Reset -</b>	tento třípolohový přepínač se používá pro ovládání bondovací síly. Poloha „set up“ umožňuje aplikaci přítláčné síly bondovacím nástrojem, prostřední poloha přepínače je pro normální provoz a poslední poloha je okamžité nastavení bondovacího nástroje do výchozí polohy. Tím se umožní změna režimu bondovacího cyklu.
<b>Motor -</b>	dvoupolohový přepínač ovládá zapnutí / vypnutí stejnosměrného servo motoru, který umožňuje pohyb v ose z
<b>Reset Level -</b>	slouží k volbě výchozí výšky nástroje (vysoká / nízká)
<b>SMT/Man Z -</b>	umožňuje výběr nastavení polohy pracovního držáku v ose z (Semi / auto nebo manuálně) [13]

### 5.1.6 Ovládání myši

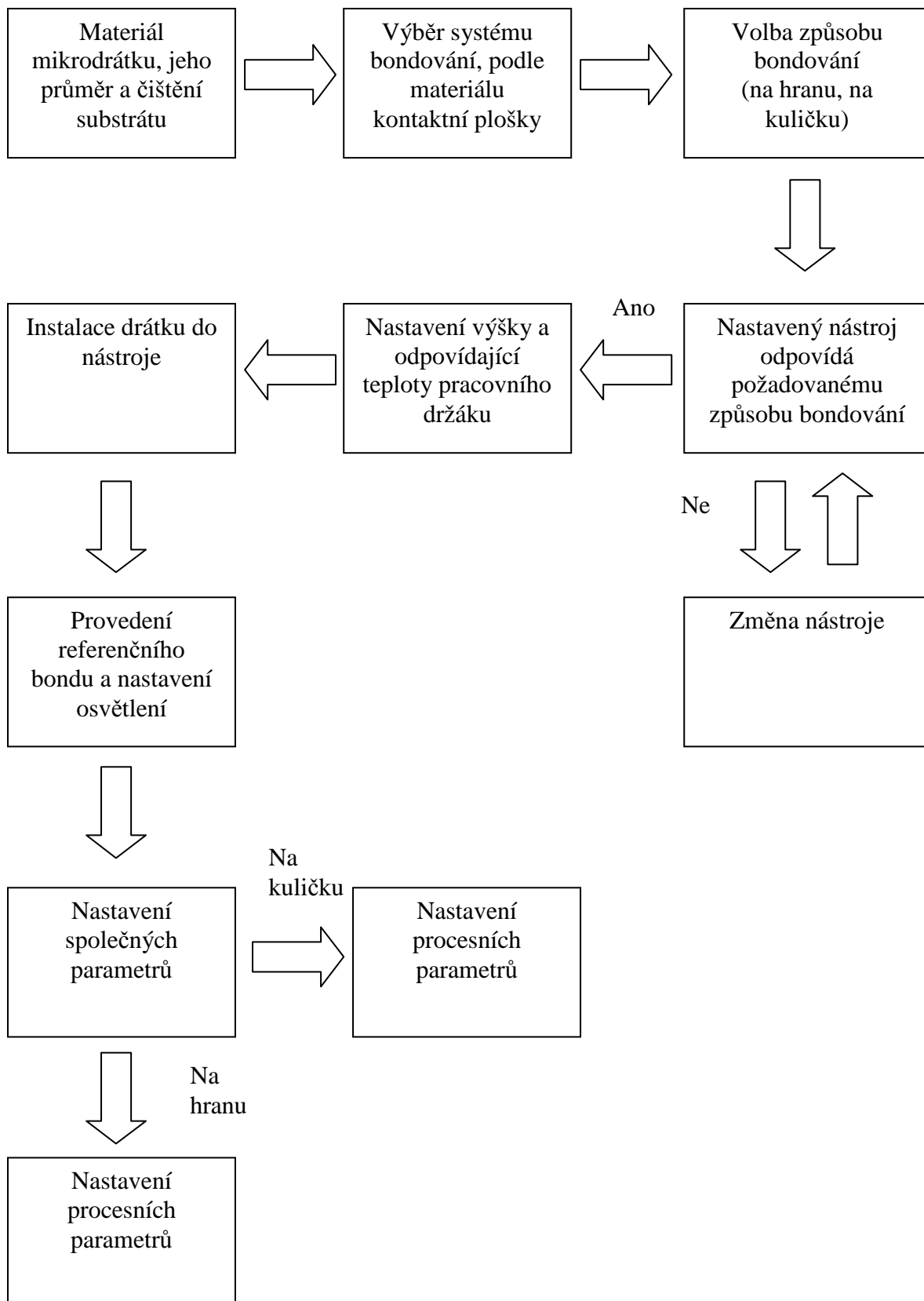
Tato myš slouží k ovládání pohybu pracovního držáku a také k volbě mezi poloautomatickým a manuálním ovládáním pohybu hlavy bondovacího nástroje. Další funkcí je aktivace „stitch“ módu (kontinuální režim bondování, který umožňuje provádět více po sobě jdoucích bondů).



Obr. 5-4 Popis pracovní myši. [13]

<b>Tlačítko 1. -</b>	stisknutím tlačítka dojde k přepnutí na poloautomatický bondovací cyklus nebo provedení bondu
<b>Tlačítko 2. -</b>	stisknutím a držením tohoto tlačítka, po provedení prvního bondu, dojde k aktivaci „stitch“ módu
<b>Tlačítko 3. -</b>	postranní tlačítko aktivuje manuální z režim, který umožňuje ovládání pohybu hlavy bondovacího nástroje. [13]

## 6 Optimální postup bondování pro semi-automatickou stanici



## 6.1 Výběr materiálu

Správně zvolený materiál a nastavení bondovací stanice chrání spoj před potenciálními chybami. Výběr se řídí podle následujících specifikací.

Důležité je provést správný výběr technologie, nosného propojovacího substrátu, materiálu bondované plošky a mikrodrátku (materiál a průměr). Například při použití Au mikrodrátků a Au kontaktních plošek můžeme vybírat ze všech dostupných technologií (termokompresní, termosonické a ultrazvukové bondování). Použitou technologii volíme na základě požadavků na výrobu a použitý materiál. [5]

Při výběru mikrodrátku je důležitý použitý materiál a jeho průměr, dále jeho mechanické a elektrické vlastnosti jako jsou elektrická vodivost, dostatečná pevnost v tahu a stříhu, koeficient teplotní roztažnosti co nejbližší bondované plošce. [5]

## 6.2 Čištění substrátu

Pro zajištění spolehlivého spojení je nutné před samotným bondovacím procesem očištění substrátu, které se provádí metodami chemického, molekulárního čištění, plazmatem nebo UV – ozonem. [5]

### 6.2.1 Plazmové čištění

Plazmové čištění je technika využívající vysoce výkonného budícího zdroje, schopného převést použitý plyn na plazma. Ionty plynu, pohybující se vysokou rychlostí bombardují bondovací povrch a odstraňují z něho znečišťující látky tím, že dochází ke kombinování s molekulami kontaminace nebo k jejich rozkladu. Ve většině případů je použit ionizovaný kyslík a argon (80 % Ar + 20 % O<sub>2</sub> nebo 80 % O<sub>2</sub> + 20 % Ar). Kromě těchto kombinací se také využívá O<sub>2</sub> / N<sub>2</sub> plazma [11]

### 6.2.2 Ultrafialové – ozonové čištění

UV (ultrafialové záření) – ozonové čištění je navrženo tak, že emituje významné množství záření o těchto vlnových délkách (184,9 nm a 253,2 nm). Používá se pro odstranění organických nečistot z bondovacího povrchu a to následujícím způsobem. UV energie o vlnové délce 184,9 nm dokáže rozdělit molekuly kyslíku na atomy (O + O), a jejich kombinací s ostatními molekulami kyslíku vytvořit ozón (O<sub>3</sub>). Ozón může být zpětně rozdělen na atom kyslíku a O<sub>2</sub> pomocí UV 253,2 nm energie. Veškerá voda, která je přítomna může být rozdělena do OH – volných radikálů. Všechny tyto prvky (OH, O<sub>3</sub> a O) opustí

bondovací povrch jako plyn. [11]

V případě, kdy je povrch substrátu ovrstvený tenkou vrstvou zlata nelze zlepšit bondovatelnost povrchu oxidovou plazmou, kvůli možnému riziku oxidace bondovaných elementů. Proto v tomto případě je dosaženo lepších výsledků za pomoci bezkyslíkatého argonového plazmatu. [11]

### **6.3 Výběr systému bondování, podle materiálu kontaktní plošky, mikrodrátku**

Při bondovacím procesu se běžně používají různé materiály pro pokovení bondované plošky a různé materiály mikrodrátků. Nejčastější druhy spojení jsou.

#### **6.3.1 Au – Au spojení**

Zlaté drátky bondované na zlatou plošku vytvářejí spolehlivé spojení, protože se jedná o materiály, které nejsou náchylné vůči korozním vlivům. Dokonce i špatně svařený spoj nabývá na pevnosti vlivem času a teploty. Toto spojení se realizuje nejlépe za tepla ale je možné i jeho tváření ultrazvukem za studena. Výhoda této vazby je její snadná a spolehlivá tvorba termokompresí nebo termosonicky. [11]

#### **6.3.2 Au – Al spojení**

Au – Al (zlatý drátek na hliníkovou plošku) je nejběžněji používaný systém při mikrodrátkovém bondování. Nevýhodou tohoto spojení je tvorba Kirkendallových dutin. [11]

#### **6.3.3 Au – Cu spojení**

Z důvodu možné oxidace mědi, je nutné spojování v ochranné atmosféře. [11]

#### **6.3.4 Au – Ag spojení**

Jedná se o velice spolehlivý spoj, i pro aplikace vystavené po dlouhou dobu tepelnému namáhání. Bondování v tomto případě je realizováno termosonicky při teplotě kolem 250 °C. Toto spojení oproti spoji Au – Cu nepodléhá korozním vlivům. [11]

#### **6.3.5 Al – Al spojení**

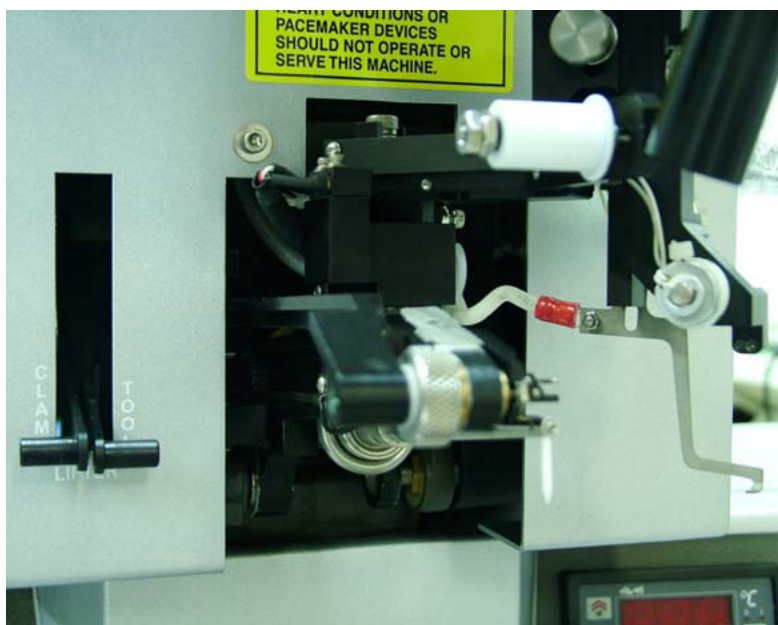
Realizace spojení za pomoci ultrazvukového bondování. [11]

## 6.4 Volba způsobu bondování

Způsob bondování volíme podle vybraného druhu spojení. Na výběr je ze dvou možností bondování a ty jsou: bondování na kuličku nebo na hranu. Na základě tohoto rozhodnutí se provede případná změna nástroje.

## 6.5 Změna nástroje

Po zapnutí stanice (tlačítkem power), které je umístěno na levém ovládacím panelu dochází k automatické kalibraci, kde si stanice zjišťuje polohu nástroje. Zmíněná bondovací stanice je určena jak pro bondování na kuličku tak na hranu. Před zahájením bondování, je proto potřeba zkontrolovat zda svítí kontrolka signalizující požadovaný typ bondování (wedge / ball) umístěná na pravém ovládacím panelu V opačném případě, je potřeba otočit nástrojem, vlevo pro bondování na hranu, vpravo pro bondování na kuličku. (obr. 6-1), přitom sledovat rozsvícení výše uvedené signalizace. [12]



Obr. 6-1 Bondovací nástroj. [12]

## 6.6 Nastavení výšky pracovního držáku.

- Vložit bondované zařízení do pracovního držáku a zajistit bezpečnostními svorkami
- Nastavit výšku, do které se nástroj zvedne po vytvoření prvního bondu, otočením ovládacího prvku „LOOP“ do polohy 1
- Stisknout a opět uvolnit tlačítko „SEMI / AUTO, dojde k posunu hlavy bondovacího nástroje do nejnižší polohy
- Zkontrolovat rozsvícení signalizace „2nd“

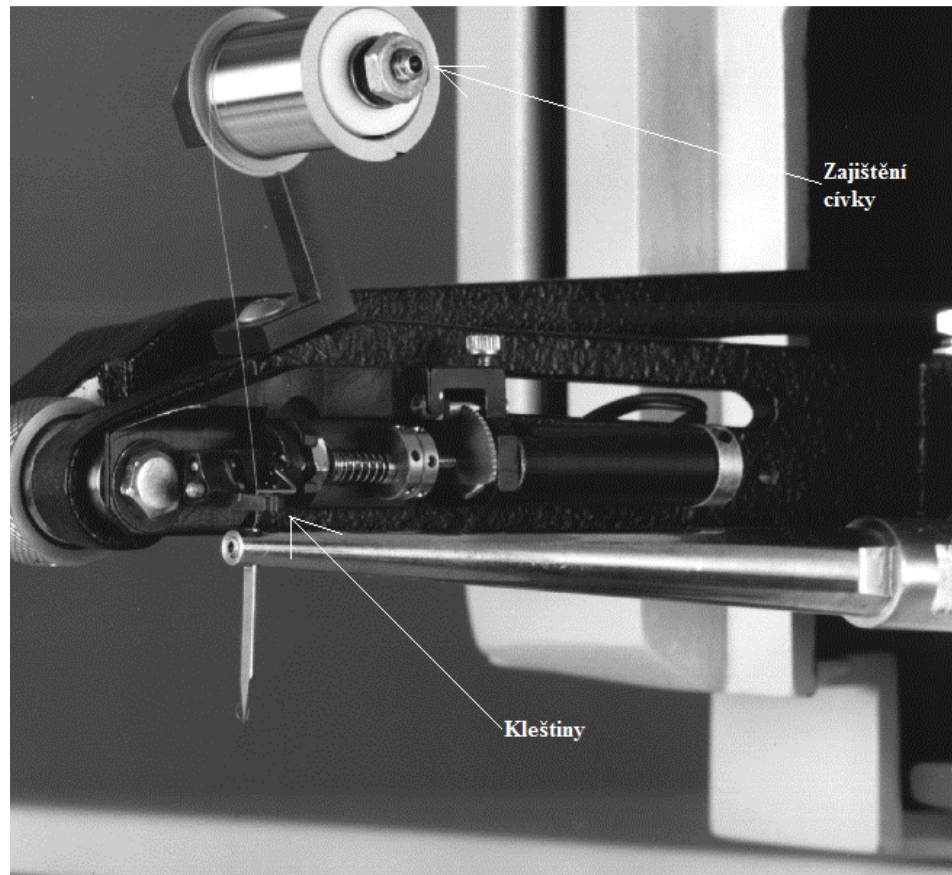
- Uchopit vrchní část pracovní držáku a zároveň otáčet jeho základnou po směru hodinových ručiček dokud se nejnižší bondovaná ploška nedotkne bondovacího nástroje (klínového / kapiláry)
- Nastavit ovládací prvek „LOOP“ do polohy 10
- Stisknout tlačítko „SEMI / AUTO“ pro vrácení hlavy bondovacího nástroje do výchozí pozice [13]

## 6.7 Nastavení teploty pracovního držáku

- Stisknout tlačítko SET, umístěné v pravém rohu panelu se zabudovaným displejem pro nastavení teploty, držet po 3 sekundy
- Zkontrolovat, zda dioda číslo 1 bliká, (do tří sekund bliká dioda číslo 2)
- Stisknout tlačítko „UP“ (zvyšování teploty) nebo „DOWN“ (snížování teploty), po dobu, než bude docíleno požadované teploty
- Uvolnit tlačítko, během 3 sekund dojde k uložení teploty do paměti, nyní displej zobrazuje aktuální teplotu pracovního držáku a dochází k jeho zahřívání
- Zkontrolovat, zda je dioda 1 rozsvícená (signalizace zapnutého vyhřívání držáku) [13]

## 6.8 Instalace drátku do nástroje

- Zapnout napájení bondovací stanice
- Zkontrolovat umístění hlavy bondovacího nástroje, musí se nacházet ve výchozí poloze (signalizace „1st“ svítí)
- Nasunout cívku s drátkem na čep, který se nachází vpravo od hlavy bondovacího nástroje (obr. 6-2)
- Otevřít svorku, tažením upínacího pístu směrem k sobě
- Otočit pístem a tím ho opatrně zajistit v otevřené pozici
- Protáhnout drátek otvorem v nástroji
- Zkontrolovat, zda je drát tažen z horní části cívky aby bylo zajištěno jeho řádné odvíjení.
- Drátek musí procházet kleštinami do nástroje
- Uvolnit píst a ručně uzavřít svorku
- Umístit přepínač „CLAMP“ do horní polohy, tím dojde k otevření kleštin
- Zkontrolovat volný pohyb drátku vytažením jeho malé části
- Umístit přepínač „CLAMP“ do spodní polohy, dojde k uzavření kleštin [13]



Obr. 6-2 Ukázka správně protaženého drátku. [13]

## 6.9 Vytvoření referenčního bondu

- Nastavit ovládací prvek „LOOP“ do polohy 10
- Umístit substrát s ploškou pro referenční bond pod hlavu bondovacího nástroje
- Pohybem myši umístit plošku přesně pod bondovací nástroj
- Levým tlačítkem myši vytvořit referenční bond
- Nepohybovat myší po vytvoření bondu, nástroj se zvedne do výšky nastavené v prvním kroku a rozsvítí se „2nd“ signalizace [13]

## 6.10 Osvětlení bondované oblasti

- Povolit upínací šroub krytu reflektoru
- Posunout kryt do takové úrovně, kdy dojde k osvětlení referenčního bondu
- Otočit ovládacím prvkem pro regulaci zaostření tak, aby se kolem bondu vytvořil kruh ostrého světla
- Jemné doladění pomocí otáčení šroubků s vroubkováním, umístěných ve spodní části krytu [13]



## 6.11 Nastavení stanice pro bondování na hranu

Následující nastavení je určeno pro bondování na hranu ale je z části platné v kombinaci s kapitolou 6.12 i pro bondování na kuličku.

### 6.11.1 Nastavení výkonu US generátoru

Nastavení tohoto výkonu se dělí do skupin dvou hodnot (vysoké a nízké). Nízké hodnoty se nastavují pro drátky o průměru do 50  $\mu\text{m}$ . Pro drátky, které mají průměr v rozsahu (50 - 75  $\mu\text{m}$ ), je třeba použít nastavení pro vysoké hodnoty. Přepínání mezi těmito rozsahy se provádí na logické desce „HIGH / LOW“ přepínačem. [13]

Konkrétní nastavení výkonu US generátoru se volí ovládacím prvkem „POWER“ (horní ovládací prvek pro první pozici, spodní pro druhou).

### 6.11.2 Nastavení bondovacího času

Volba této veličiny se opět pohybuje v rámci nastavení dvou hodnot (dlouhého / krátkého bondovacího času). Maximální hodnota krátkého času je do 120 ms. V rámci továrního nastavení. Po změně na dlouhý čas je možno nastavovat hodnoty v rozsahu do 1000 ms. Využití dlouhého bondovacího času, může být za potřebí při bondování materiálu jiného než je zlato. [13]

Konkrétní nastavení bondovacího času se volí ovládacím prvkem „TIME“ (horní ovládací prvek pro první pozici, spodní pro druhou).

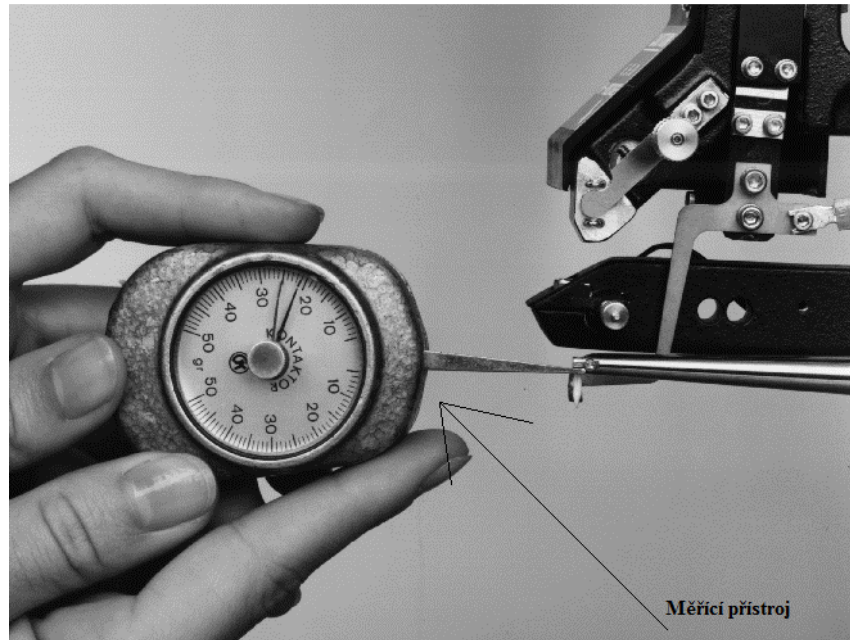
#### 6.11.2.1 Postup pro změnu rozsahu bondovacího času

- Přepnout přepínač „SETUP / RESET“ do polohy „RESET“
- Ihned stisknout a držet „STITCH“ zároveň s tlačítkem „SEMI / AUTO“ po dobu, než dojde k zhasnutí signalizace „2nd“.
- Uvolnit stisknutá tlačítka
- Kontrola aktuálního módu bondovacího času
- Stisknout tlačítko „STITCH“
- Kontrolka „1st“ nebo „2nd“ bliká s vysokou frekvencí, pak je aktivován režim pro krátký bondovací čas
- Kontrolka „1st“ nebo „2nd“ bliká s nízkou frekvencí, pak je aktivován režim pro krátký bondovací čas [13]

Konkrétní nastavení času se volí ovládacím prvkem „Time“.

### 6.11.3 Nastavení přítlačné síly nástroje

- Ujistit se, že bondovací hlava se nachází ve výchozí pozici (signalizace „1st“ svítí)
- Odstranit pracovní držák z pracovní desky
- Přepnout přepínač „SET UP / RESET“ do polohy „SET UP
- Nastavit hodnotu 0 otočením ovládacího prvku „SEARCH“
- Zmáčknout a držet tlačítko „SEMI / AUTO,,
- Použít měřicí přístroj pro snímání tlaku (obr. 6 – 3)
- Zvedat hlavu bondovacího nástroje, dokud hodnota na měřicím přístroji nezačne stoupat
- Přechází hodnotu, tato síla je nutná pro vytvoření prvního bondu
- Nastavit horní ovládací prvek „ FORCE“ na odpovídající hodnotu podle konkrétního typu drátku (tab. 2)
- Uvolnit tlačítko „SEMI / AUTO,,
- Zmáčknout a držet tlačítko „SEMI / AUTO,, (hlava bondovacího nástroje se přesune na druhou „search“ bondovací pozici)
- Použít měřicí přístroj pro snímání tlaku
- Zvedat hlavu bondovacího nástroje, dokud hodnota na měřicím přístroji nezačne stoupat
- Přechází hodnotu, tato síla je nutná pro vytvoření druhého bondu
- Nastavit spodní ovládací prvek „ FORCE“ na odpovídající hodnotu podle konkrétního typu drátku (tab. 2)
- Uvolnit tlačítko „SEMI / AUTO,,
- Nastavit přepínač „SET UP“ do střední polohy pro normální provoz [13]



Obr. 6 – 3 Měření přítlačné síly. [13]

#### 6.11.4 Nastavení „LOOP“ výšky

Jedná se o výšku, do které se bondovací nástroj zvedne po vytvoření prvního bondu. Tato hodnota odpovídá konkrétním specifikacím drátku (průměru a materiálu). Nastavení se provádí pro vybraný materiál podle tabulky 2.

#### 6.11.5 Nastavení „SEARCH“ výšky

Jedná se o výchozí pozici bondovacího nástroje. Tato výška pohybuje v rozsahu 75 – 100  $\mu\text{m}$  od bondovaného povrchu.

- Zapnout napájení bondovací stanice
- Zkontrolovat zda svítí signalizace „1st“
- Pohybem pracovního držáku umístit bondované zařízení do pozice pro první bond
- Nastavit horní ovládací prvek „SEARCH“ na vysokou hodnotu, aby se nástroj (klínový, kapilára) nedotknul bondovaného povrchu
- Stisknout a držet tlačítko „SEMI / AUTO“, tím se bondovací hlava sníží na první „search“ pozici
- Nastavit horní ovládací prvek „SEARCH“ na odpovídající hodnotu (74 – 100  $\mu\text{m}$ )
- Pomocí posuvného měřítka změřit výšku
- Uvolnit tlačítko „SEMI / AUTO“, hlava bondovacího nástroje klesne a vytvoří první bond, následně se zvedne do výšky „LOOP“ a rozsvítí se signalizace „2nd“

- Nastavit spodní ovládací prvek „SEARCH“ na vysokou hodnotu
- Pohybem pracovního držáku umístit bondované zařízení do pozice pro druhý bond
- Stisknout a držet tlačítko „SEMI / AUTO“, tím se bondovací hlava přesune na druhou „search“ pozici
- Nastavit spodní ovládací prvek „SEARCH“ na odpovídající hodnotu (74 – 100  $\mu\text{m}$ )
- Pomocí posuvného měřítka změřit výšku
- Uvolnit tlačítko „SEMI / AUTO“, hlava bondovacího nástroje klesne a vytvoří druhý bond, následně se zvedne do výšky do výchozí pozice [13]

## 6.12 Specifické nastavení pro bondování na kuličku

Kromě nastaveních, které jsou popsány v kapitole 6.11 a v následujících podkapitolách, je potřeba zmínit ještě specifické parametry týkající se bondování na kuličku.

### 6.12.1 Velikost kuličky

Velikost míčku se nastavuje za pomoci otočného ovládacího prvku „BALL SIZE“. Velikost tvářeného míčku by měla být 2x – 3x větší než průměr použitého drátku, pokud je kulička příliš malá může následkem toho dojít k ucpání kapilárního nástroje. Naopak nadměrná velikost kuličky může způsobit zkrat mezi N.E.F.O a drátkem. Některá doporučená nastavení jsou popsána v tabulce 2. [13]

### 6.12.2 Nastavení „Tail“ délky

Popisovaná veličina je délka drátku visícího z kapiláry po dokončení druhého bondu. Nastavuje se otáčením ovládacího prvku „TAIL“, který se nachází na levém panelu. [13]

Doporučené hodnoty pro vybrané průměry drátku jsou popsány v tabulce 2.

**Tab. 2:** Přehled doporučených nastavení pro vybrané průměry zlatých drátků [13]

Nastavovaný parametr	Hodnoty		
	25 $\mu\text{m}$ zlato	50 $\mu\text{m}$ zlato	75 $\mu\text{m}$ zlato
Vzdálenost N:E. F.O od kapiláry [ $\mu\text{m}$ ]	500	570	625
Nastavení velikosti kuličky	1,5 – 2,5	2,5 – 4,5	5 – 7
Nastavení délky „Tail“	4 – 5	5 – 6	6 – 7
Výkon US generátoru pro 1. pozici	1 - 2	1,5 – 2,5	2 – 3
Bondovací čas pro 1. pozici	5	4 – 10	5 *
Přítlačná síla nastavení pro 1. pozici	1 – 2	2 – 3	4 – 5
Přítlačná síla [gm] pro 1. pozici	40	60	80
Nastavení výšky „LOOP“	4	5	7
Výkon US generátoru pro 2. pozici	2 – 3	3 – 4	6 – 8
Bondovací čas pro 2. pozici	5 – 7	10	3 – 5 *
Přítlačná síla nastavení pro 2. pozici	4 – 6	7	8 – 10
Přítlačná síla [gm] pro 2. pozici	80	100	120

### 6.12.3 Postup vytvoření kuličkového bondu

- Nastavit velikost kuličky (dle tabulky 2 a kapitoly 6.12.1 – 2)
- Přepnout přepínač „CLAMP“ do horní polohy pro otevření kleštin
- Vytáhnout část drátku z kapiláry a ohnout směrem nahoru
- Přepnout přepínač „CLAMP“ do dolní polohy pro sevření kleštin, hlava bondovacího nástroje se přesune do pozice „LOOP“
- Vytvořit bond.

## **7 Závěr**

Bondování se využívá v mnoha odvětvích elektrotechnického průmyslu a je používáno již mnoho let i v České republice. Přesto je u nás nedostatek informací o této metodě nebo postupech v českém jazyce. Proto považuji za hlavní přínos této práce ucelený přehled aspektů bondovacího procesu, možných defektů a informací o postupech a způsobech bondování.

## Použitá literatura "

- [1] HARMAN, George. THE MCGRAW-HILL COMPANIES, Inc. Wire Bonding in Microelectronics: Third Edition. 3. vyd. USA: The McGraw-Hill Companies, 2009. ISBN 978-0-07-164265-1.
- [2] DR.-ING.SCHNEIDER-RAMELOW. Wire Bonding Quality Assurance and Testing Methods: Visual and mechanical testing methods of wire bonds. s. 30.
- [3] Pb-free Universal Pad Finish (ENEPIG): wire bonding. *Novel finish speeds PCB production: wire bonding* [online]. 2012, roč. 1, č. 3, s. 1 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.cube.cz/technicke-moznosti/universal-pad-finish.htm>
- [4] Systém potlačení šumu: Poruchy způsobené šumem. *Systém potlačení šumu* [online]. 2007, roč. 1, 13 00 83, s. 24 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: [http://www2.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/125000-149999/130083-an-01-cs-Syst\\_potlaceni\\_sumu.pdf](http://www2.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/125000-149999/130083-an-01-cs-Syst_potlaceni_sumu.pdf)
- [5] NOVOTNÝ, Marek. *Optimalizace procesu kontaktování CMOS čipů pro vyšší proudové zatížení*. Brno, 2009. 19688. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=19688](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=19688). Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. IVAN SZENDIUCH CSc.
- [6] MILLER, Ivan. Co to je statisticky navržený experiment?: Jaký je princip DOE?. *DOE - Návrh a analýza experimentu s pomocí MINITAB®: DOE* [online]. 2007, roč. 1, č. 1, s. 1 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.interquality.cz/internikurzy/doeInterquality/tabid/79/Default.aspx>
- [7] ROONEY, Daniel T., DeePak NAGER, David GEIGER a Dongkai SHANGUAN. Evaluation of wire bonding performance, process conditions, and metallurgical integrity of chip on board wire bonds: Wire bond process parameters. *Microelectronics Reliability: Wire bond process parameters*. 2005, 0026-2714, č. 45, s. 12. ISSN 0026-2714. DOI: 10.1016/j.microrel.2004.06.008. Dostupné z: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- [8] WANG, Caiyuan. Modern Applied Science: The Quality Test of Wire Bonding. *Modern Applied Science*. 2009, roč. 3, č. 12, s. 7. Dostupné z: [www.ccsenet.org/journal.html](http://www.ccsenet.org/journal.html)
- [9] Wire Bond / Ball Shear Application Note: Wirebonding. *The Nordic Electronics Packaging Guideline: Wirebonding* [online]. 2005, roč. 1, č. 1, s. 16 [cit. 2012-06-08]. Dostupné z: <http://www.dilabs.com/UserFiles/File/Wirebonding%20Application%20Notes.pdf>
- [10] SCHNEIDER-RAMELOW. Wire Bonding Quality Assurance and Testing Methods: Visual and mechanical testing methods of wire bonds. *IZM*. 2009, č. 1, s. 31.
- [11] *Wire Bonding: Conclusions and guideline*. 1999, 16 s. Dostupné z: <http://www.vps.nu/img/image/Docs/safe%20light.pdf>
- [12] KULICKE & SOFFA INDUSTRIES INC. *K&S 4700 Dual Manual Machine: Operation and Maintenance Manual*. P.O. Box 90 Yokneam Elite, Israel 20692, 2008. Dostupné z: [www.kns.com](http://www.kns.com)
- [13] KULICKE & SOFFA INDUSTRIES. *K&S 4500 Series Manual Wire Bonders: Operation and Maintenance Manual*. 2101 Blair Mill Road Willow Grove, PA 19090 USA, 2002. Dostupné z: [www.kns.com](http://www.kns.com)