

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Nástroje pro mikrodrátkové bondování**

**vedoucí práce: Ing. Silvan Pretl**

**2012**

**autor: Jozef Didek**

Zadání Bakalářské práce:

**Anotace**

Bakalářská práce se věnuje nástrojům pro mikrodrátkové bondování. V úvodní části jsou popsány různé skupiny bondovacích nástrojů. Dále jsou vysvětleny principy bondování spolu s vlivem tvaru bondovacího nástroje na provedení výsledného spoje.

Další část práce seznamuje čtenáře s jednotlivými výrobci nástrojů a poukazuje na jejich rozdílné přístupy a směřování při výrobě nástrojů. Detailně jsou zde popsány konstrukční parametry nástrojů s poukazem na rozmanitost tvarů a jejich význam při bondování.

Závěrečná část práce se věnuje nástrojům pro bondovací stanici Kulicke a Soffa 4700. V této části je vysvětlen způsob volby nástroje a postup při výběru nástroje z katalogu.

**Klíčová slova**

Mikrodrátkové bondování, termosonické bondování, ultrazvukové bondování, kuličkové bondování, klínové bondování, kapiláry, klínové nástroje, páskové bondování.

**Abstract**

This bachelor's thesis is developed to tools for micro wire bonding. The thesis describes various groups of the micro wire bonding tools, explains the principles of the bonding and shows the influences of the bonding tool shape on the bonding performance.

The thesis introduces readers with separate tooling manufacturers and shows their different attitudes and approaches of manufacturing the micro wire bonding tools.

The thesis describes the bonding tool construction parameters and also shows the bonding tool shape variety and bonding tool shape significance during the bonding.

In the last part of the bachelor's thesis is paid the attention to the bonding tools for the bonding station Kulicke and Soffa 4700. There is explained the way of choosing the bonding tool and the way how to look it up from the catalog.

**Key words**

Wire bonding, thermosonic bonding, ultrasonic bonding, ball bonding, wedge bonding, capillary, wedge tools, ribbon 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 bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 2.6.2012

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Silvanu Pretlovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Také bych rád poděkoval panu Danielu Stričkovi ze společnosti PBT Rožnov p.R. za ochotu a pomoc při výběru nástrojů a stanovení jejich ceny pro bondovací stanici K&S 4700.

## Obsah

<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM POUŽÍVANÝCH POJMŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 POPIS MIKRODRÁTKOVÉHO BONDOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 PŘEDSTAVENÍ MIKRODRÁTKOVÉHO BONDOVÁNÍ .....	12
1.2 PRINCÍPY BONDOVÁNÍ .....	12
1.3 ZÁKLADNÍ VARIANTY BONDOVÁNÍ.....	14
1.4 PODMÍNKY OVLIVŇUJÍCÍ BONDOVÁNÍ.....	16
1.5 MATERIÁLY MIKRODRÁTKU A BONDOVACÍCH PLOŠEK .....	17
1.6 VOLBA TECHNOLOGIE BONDOVÁNÍ A BONDOVACÍHO NÁSTROJE .....	18
<b>2 VÝROBCI NÁSTROJŮ PRO BONDOVÁNÍ .....</b>	<b>21</b>
2.1 KULICKE AND SOFFA.....	21
2.2 GAISER PRECISION BONDING TOOLS.....	21
2.3 SMALL PRECISION TOOLS - SPT .....	22
2.4 DEWEYL TOOL COMPANY.....	22
<b>3 NÁSTROJE PRO BONDOVÁNÍ NA KULIČKU .....</b>	<b>23</b>
3.1 STANDARDNÍ KAPILÁRY.....	23
3.2 KAPILÁRY PRO JEMNOU ROZTEČ .....	23
3.3 ZÁKLADNÍ GEOMETRICKÉ PARAMETRY KAPILÁR.....	24
3.4 MATERIÁLY A POVRCHOVÁ ÚPRAVA NÁSTROJŮ .....	28
<b>4 NÁSTROJE PRO KLÍNOVÉ BONDOVÁNÍ.....</b>	<b>30</b>
4.1 STANDARDNÍ KLÍNOVÉ NÁSTROJE .....	30
4.2 NÁSTROJE PRO PÁSKOVÉ BONDOVÁNÍ .....	32
4.3 NÁSTROJE PRO BONDOVÁNÍ MIKRODRÁTKEM O VELKÉM PRŮMĚRU .....	33
4.4 TĚLO KLÍNOVÉHO NÁSTROJE.....	35
4.5 ZÁKLADNÍ GEOMETRICKÉ TVARY KLÍNOVÝCH NÁSTROJŮ.....	37

4.6	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝBĚR KLÍNOVÝCH NÁSTROJŮ .....	38
4.7	MATERIÁLY A POVRCHOVÁ ÚPRAVA KLÍNOVÝCH NÁSTROJŮ .....	45
<b>5</b>	<b>BONDOVACÍ NÁSTROJE PRO BONDOVACÍ STANICI K&amp;S 4700 .....</b>	<b>47</b>
5.1	KAPILÁRY PRO BONDOVÁNÍ NA KULIČKU. ....	47
5.2	NÁSTROJE PRO KLÍNOVÉ BONDOVÁNÍ.....	48
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>53</b>

## **Seznam příloh**

- Příloha A      Ukázka postupu bondování na kuličku.  
Příloha B      Ukázka postupu klínového bondování.  
Příloha C      Parametry hrotů nástrojů pro bondování na kuličku.  
Příloha D      Kapiláry pro bondování na kuličku.  
Příloha F      Značení klínových nástrojů.



## Seznam používaných pojmů a zkratk

Tabulka pojmů

Používaný pojem	Anglický orginál	Zkratka
Hloubkové bondovací nástroje	Deep Access Tools	
Bondování s jemnou roztečí	Fine Pitch bonding	
Kapiláry pro jemnou rozteč	Fine Pitch Capillary	
Klínové bondování	Wedge bonding	
Klínové nástroje	Wedge tools	
Kuličkové bondování	Ball bonding	
Mikrodrátkové bondování	Wire bonding	
Obloukové tvarování kuličky	Elektronic-Fame-Off systém	EFO
Obrábění elektrickým výbojem	Electro Discharge Machining	EDM
Páska	Ribbon	
Páskové bondovací nástroje	Ribbon Tools	
Přetržení pohybem stolu	Table Tear	
Přetržení tahem svorek	Clamp Tear	
Termokompresní bondování	Thermocompresion bonding	TC
Termosonické bondování	Thermosonic bonding	TS
Ultrasonické bondování	Ultrasonic bonding	US

Tabulka zkratek

Zkratka	Používaný pojem	Anglický originál
BL	Bélka bondu	Bond Lenght
BPO	Šířka kontaktní plošky	Bond Pad Openinig
BPP	Vzdálenost sousedních plošek	Bond Pad Pitch
CA	Úkos otvoru kapiláry	Chamfer Angle
Ca	Úhel spodní hrany	Clearance Angle
CD	Měřený průměr zmáčklé kuličky	Chamfer Diameter
CLH	Kritická výška smyčky mikrodrátku	Critical Loop Height
FA	Úhel čela hrotu	Face Angle
IC	Vnitřní úkos	Inner Chamfer
MBD	Celkový průměr rozmáčklé kuličky	Mashed Ball Diameter
MBH	Výška rozmáčkle kuličky	Mashed Ball Height
OR	Poloměr zaoblení	Outer Radius
SL	Délka kontaktu mikrodrátku s ploškou	Stitch Lenght
T	Průměr hrotu nástroje	Tip Diameter
BKCER	Černý cermet	Black Cermet
BR	Zadní poloměr	Back Radius
CD	Hloubka zaoblení hrotu	Concave Depth
CER	Cermet	Cermet
CG	Příčna drážka	Cross Grove
F	Délka kontaktní části nástroje	Wedge Foot
Fa	Úhel pro vstup drátku	Funnel Angel
FR	Přední poloměr	Front Radius
H	Průměr otvoru pro drátek	Hole Diameter
Ha	Úhel otvoru	Hole Angel
PL	Délka spodního otvoru	Pocket Lenght
S	Délka hrotu nástroje	Throat Size
SD	Průměr těla nástroje	Shank Diameter
SDF	Plochý průměr těla nástroje	Shank Diameter Flat
TiC	Karbid titanu	Titanium Carbide
VSRh	Výška čelního profilu	Vertical Side - Height
VSRw	Šířka čelního profilu	Vertical Side - Width
W	Šířka hrotu nástroje	Width Size
WC	Karbid wolframu	Tungsten Carbide
WD	Průměr mikrodrátku	Wire diameter

## Úvod

Současný technologický vývoj umožňuje provádět mnohé technologické operace, které v minulosti nebyly v oblasti malovýroby nebo pokusných podmínkách škol a vývojových ústavů myslitelné. V oblasti elektrotechnických zařízení tento směr také výrazně zasáhl do výroby jednotlivých součástí. Také pro mikrodrátkové bondování přinesla poslední desetiletí mnohá technologická vylepšení.

Technologie mikrodrátkového bondování je zvládnutá natolik, že umožňuje vyrábět bondovací stanice pro manuální bondování za cenu, která je dostupná i pro malovýrobu.

V rámci zakoupení manuální bondovací stanice K&S 4700 elektrotechnickou fakultou ZČU vznikla potřeba seznámit se s využitím jejích možností pro co nejširší okruh použití. Jedním z mnoha problémů, které vznikly při jejím praktickém používání, je i základní orientace v široké nabídce bondovacích nástrojů.

K tomu, abychom se mohli orientovat v problematice bondovacích nástrojů jsou potřebné základní znalosti o samotné technologii bondování. Této oblasti je věnována první část bakalářské práce, která má za úkol představit mikrodrátkové bondování a vysvětlit základní principy technologie. Věnuje se podmínkám, které ovlivňují proces bondování a poukazuje na používané materiály mikrodrátků a bondovacích plošek.

Ve druhé části jsou představeni výrobci bondovacích nástrojů. Tato část představuje jejich historii a poukazuje na jejich vliv na vývoj technologie bondování.

Ve třetí a čtvrté části jsou popsány bondovací nástroje pro kuličkové a klínové bondování. Hlavní důraz je položen na ukázky rozměrových parametrů a jejich význam pro provedení bondování. Velký prostor je věnován materiálům, používaným pro bondovací nástroje a jejich vývoji.

Poslední, pátá část se věnuje výběru konkrétních bondovacích nástrojů pro bondovací stanici Kulicke & Soffa 4700.

Tato práce má umožnit základní orientaci v problematice mikrodrátkového bondování. Jedním z cílů je popsat konstrukci bondovacích nástrojů. Na základě znalosti jejich konstrukce se můžeme snáz pohybovat v široké nabídce výrobců a vybírat nejvhodnější typ pro naši aplikaci. Tato práce si dává také za cíl ulehčit výběr bondovacího nástroje pro bondovací stanici K&S 4700.

# 1 Popis mikrodrátkového bondování

## 1.1 Představení mikrodrátkového bondování

Mikrodrátkové bondování představuje techniku, která mechanicky a elektricky propojuje mikrodrátek o velmi malém průměru, řádově  $\mu\text{m}$  se speciálně upravenou ploškou. Propojení probíhá při časově přesném vymezení doby působení tepla, tlaku a ultrazvukové energie na místo kontaktu.

Mikrodrátkem jsou touto technologií propojeny dva komponenty elektrické sestavy, většinou jde o polovodičový čip (integrováný obvod), který je umístěn na nosné propojovací struktúře. Velké množství vývodů čipu - mohou to být až stovky vývodů - je pomocí mikrodrátku propojeno s vývody na nosném substrátu (kontaktními ploškami). Může však jít i o propojení dvou objektů umístěných vedle sebe [1].

Mikrodrátkové bondování představuje pevnou fázi svařovacího procesu, při které nedochází k natavení materiálů. Dva kovové materiály (mikrodrátek a ploška) jsou přivedené do velmi těsného kontaktu. Při těsném kontaktu povrchů materiálů elektrony povrchových vrstev vzájemně proniknou do atomových struktur, což má za následek vytvoření pevného a vodivého propojení [1].

Použitý tlak v procesu mikrodrátkového bondování vede k materiálové deformaci a narušení povrchové vrstvy. Narušení může být zvětšeno použitím ultrazvukové energie. Použité teplo napomáhá uskutečnění meziatomární difúze a tím k vytvoření propojení materiálů [1].

## 1.2 Principy bondování

K tomu, aby se podařilo vytvořit spojení, které by bylo schopné přenášet potřebný signál po dostatečně dlouhou dobu musí spojení mikrodrátku s ploškou zabezpečovat [1]:

- vysokou elektrickou vodivost,
- mechanickou odolnost,
- odolnost vůči prostředí.

Kontaktní plošky jsou velmi malé, používá se mikrodrátek průměru desítek  $\mu\text{m}$ . Od 60-tých let minulého století se ustálily tři základní způsoby vytváření kontaktu.

### A) Termokompresní bondování

Kontakt mikrodrátku s ploškou se vytváří za současného působení zvýšeného tlaku a teploty na mikrodrátek. Doba působení těchto faktorů se nastavuje tak, aby bylo dosaženo co nejkvalitnější propojení materiálů. Tomuto technologickému procesu se v anglické literatuře říká *Thermocompression bonding*. Používaná zkratka „TC“ [2].

Byl to první používaný způsob při provádění propojení. Jsou pro něj určeny speciální nástroje, zvané kapiláry. Ty využívají k vytvoření kontaktu speciálně vytvořenou kuličku na konci mikrodrátku, v anglické literatuře označovanou termínem *Ball*, odkud vznikl název *Ball bonding*. V současné době se tento způsob bondování používá minimálně. Je nahrazen termosonickým bondováním, při kterém se ve většině případů dosahují lepší výsledky.

### B) Termosonické bondování

Tlak a teplota výrazně ovlivňují použité materiály. Tlak na mikrodrátek často poškozoval kontaktované plošky. V polovině 60-tých let byl nalezen způsob, který optimalizuje teplotu a snižuje tlak. Experimentálně se zjistilo, že kvalitní spoj je možno vytvořit při nižší teplotě a menším tlaku za současného působení ultrasonické energie, která se přivede do místa kontaktu prostřednictvím bondovacího nástroje. Tento technologický postup má anglický název *Thermosonic bonding*. Používaná zkratka „TS“. V dnešní době je využíván v 80% aplikacích bondování [2].

### C) Ultrasonické bondování

Při hledání neoptimálnějšího materiálu bylo v začátcích využito zlata jako elektricky nejvhodnějšího materiálu z pohledu vodivosti i stálosti v prostředí. Při velkém množství vytvářených kontaktů se zvyšují provozní náklady vzhledem k ceně zlata. Při hledání dalších vhodných materiálů bylo zjištěno, že se tímto způsobem může kontaktovat i hliník, jehož cena je výrazně nižší. Hliník má však jiné mechanické a tepelné vlastnosti než zlato, hlavně není tak dobře tvárný. Hliníkový mikrodrátek je schopen vytvořit kvalitní a odolný spoj, mikrodrátek ale není možné tak lehce tvarovat jako zlato. Na tuhle vlastnost musel reagovat i vývoj trochu jiné technologie provedení kontaktu. Mikrodrátek je přitlačen k podložce speciálně upravenou hranou hrotu ve tvaru klínu. Přes bondovací klín se ke kontaktu dostává ultrazvukové energie, která naruší povrchovou strukturu obou materiálů a umožní vznik propojení. V anglickém jazyce se ujal název nástroje dle jeho tvaru *Wedge* odtud *Wedge bonding*. Technologický postup dostal název *Ultrasonic bonding*. Používaná zkratka „US“ [2].

Původně byl tento technologický postup určen pro hliníkový mikrodrátek. Kontaktování hliníkového mikrodrátku je nutně svázáno s technologií ultrasonického bondování kvůli jeho mechanickým vlastnostem. Současné možnosti bondovacích stanic a znalosti v oblasti materiálové struktury látek umožňují využití této technologie i pro jiné materiály (zlato, měď, paladium, stříbro, platina). Hlavní rozšíření této technologie bondování však stále v současné době směřuje ke hliníkovému a zlatému mikrodrátku [2].

V posledním desetiletí se experimentovalo i s využitím měděného mikrodrátku. V současnosti je i tento způsob využíván pro specifické druhy bondování hlavně z ekonomických důvodů.

### 1.3 Základní varianty bondování

V předcházející části bylo uvedeno, že existují dva odlišné způsoby provedení propojení mikrodrátku a plošky. Pro objasnění se budu jednotlivým technologickým postupům věnovat podrobněji.

#### A) Bondování na kuličku

V prvopočátku byl prováděn kontakt jenom při použití tlaku. Následně byla přidána teplota, což je v současnosti považováno za termokompresní bondování (TC). Používají se speciální nástroje, které se nazývají kapiláry. Později byl technologický postup doplněn o ultrazvukovou energii. Tato technika se využívá i v současné době, především pro termosonické bondování (TS). Při této technologii je mikrodrátek provlečen otvorem kapiláry. Elektrický oblouk nataví mikrodrátek pod hrotem kapiláry do kuličky. Tento způsob se v anglické literatuře označuje jako *Elektronic-Flame-Off system*, používaná zkratka „EFO“.

Kulička mikrodrátku je tvarovaná při tuhnutí materiálu mikrodrátku povrchovým napětím roztaveného kovu. Kulička je pak přitlačena ke kontaktní plošce přesně stanovenou silou. Za současného působení teploty a ultrazvuku se materiály plasticky deformují, povrchové atomy vzájemně difundují do povrchových krystalických struktur. Tímto způsobem je vytvořen první kontakt – první bond. Bondovací zařízení pak zvedne kapiláru, mikrodrátek je jedním koncem upevněn k plošce, takže je vlastně provlékán skrz kapiláru. Pohybem kapiláry je tak tvarován vzhled mikrodrátku tzv. smyčka [1].

Kapilára se nastaví nad druhou kontaktní plošku k vytvoření druhého bondu. Kapilára opět zatlačí na mikrodrátek, ten se promáčkne a v místě přimáčknutí vzniká druhý

bond, který má srpkovitý tvar. Kapilára se zvedne o stanovenou vzdálenost zbytkové délky mikrodrátku. Mikrodrátek je mechanicky uchycen do speciálních svorek. Dalším pohybem kapiláry se mikrodrátek přetrhne. Pak se mikrodrátek nastaví na potřebnou délku pod kapiláru k vytváření kuličky metodou „EFO“ a postup se může opakovat. Celý proces bondování je zobrazen v Příloze A.

Pro kuličkové bondování se používá zvýšená teplota materiálů, která se pohybuje od 150 °C do 200 °C. Teplo se k materiálu dostává od bondovací stanice a to hlavně prostřednictvím nosné části, která nese bondované součásti [1].

V prvních letech se při provádění bondování nevyužívala energie ultrazvuku. K propojení docházelo využitím termokompresního bondování (TC). K vytvoření bondu se používala vyšší teplota kolem 300 až 500 °C. Na kontakt působil větší tlak po delší dobu. Docházelo k větší deformaci plošky. Kvalitní bond byl náročnější na kvalitu povrchu plošky a její čistotu. Ultrazvuková energie zkracuje dobu působení nástroje na mikrodrátek, což je také podstatná výhoda této technologie. Ke kontaktu se přivádí skrz kapiláru od zdroje kmitočtu umístěného v bondovací hlavě zařízení. Tradičně se používá se kmitočet 60 kHz [1].

## B) Klínové bondování

Odlisný způsob provádění kontaktu představuje klínové bondování. Mikrodrátek je přitlačen k plošce spodní části nástroje, který má tvar klínu, podle toho se tyto nástroje jmenují klínové bondovací nástroje, v anglické literatuře jsou nazývané *Wedge tools*. Postup provádění bondování je odlišný vůči kuličkovému bondování. Konec mikrodrátku je veden pod spodní částí nástroje. Nástroj je bondovacím zařízením nasměrován nad bondovanou plošku. Pak je mikrodrátek přitlačen k podložce. Je vytvořeno propojení při současném působení tepla, tlaku a ultrazvukové energie [1].

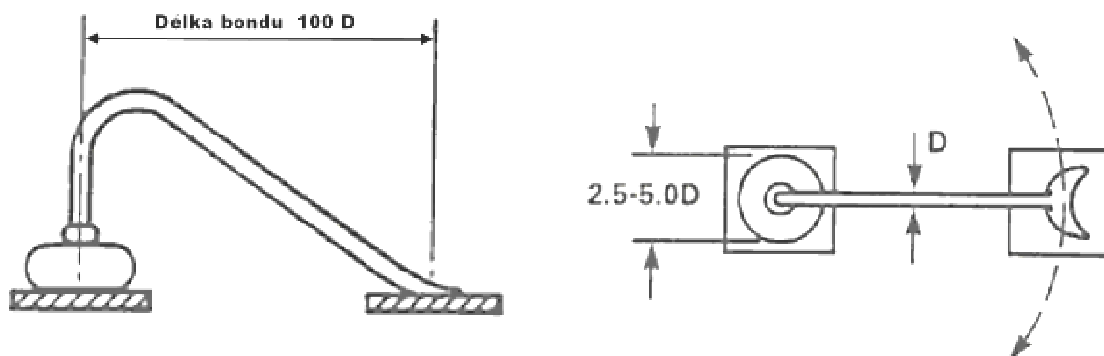
Mikrodrátek je následně veden v těle nástroje a pohybem nástroje je tvarována smyčka mikrodrátku. Nástroj se přesune nad druhou plošku pro vytvoření druhého bondu. Přitlačením mikrodrátku je vytvořen druhý bond. Pomocí svorek, popřípadě pohybem podložky je zabezpečeno přetržení mikrodrátku. Celý cyklus se pak může opakovat. Postup klínového bondování je podrobněji popsán v Příloze B.

Klínové bondování se odlišuje:

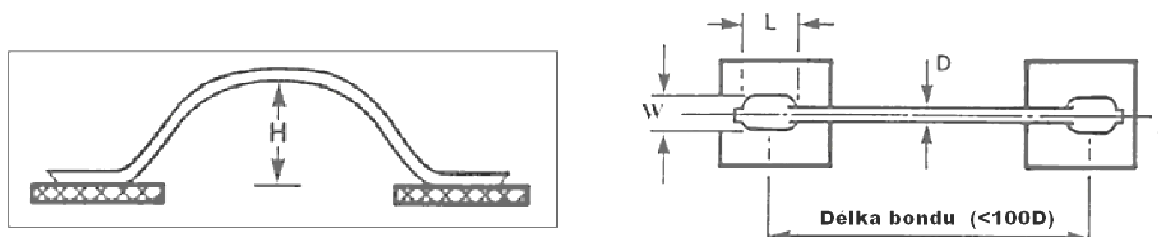
- nástroje mají jiný tvar, mikrodrátek je veden v nástroji pod úhlem 30 ° až 60 °,
- na mikrodrátku se nevytváří kulička,
- menší velikost plošky vzhledem k průměru drátku, plošky mohou být těsněji u sebe,

- kuličkové bondování umožňuje vytvoření druhého bondu na kružnici kolem 1. bondu, klínové bondování jenom na přímce v ose nástroje (přímka c na obr. 1.3.1),
- klínové bondování je pomalejší, rozdíl může být až 50 % .

### Kuličkové bondování



### Klínové bondování



Obr. 1.3.1. Ukázka základního rozdílu mezi kuličkovým a klínovým bondováním [3].

## 1.4 Podmínky ovlivňující bondování

Vhodný návrh bondování ovlivňuje kvalitu provedení kontaktů. Při správném vyhodnocení podmínek můžeme eliminovat chyby v provedení, které jsou způsobené: námahou mikrodrátku v ohybu a stříhu, spojením plošky a substrátu, vzájemnou difúzi materiálů, korozí, vibracemi, změnou impedance a dalšími aspekty [1].

Mezi podmínky, které ovlivňují návrh bondování patří:

- technologie výroby propojovaného čipu, materiál čipu, jeho tloušťka,
- materiál bondovaných plošek, jejich vzdálenost, délka, šířka a tloušťka plošek,
- parametry signálu který bude mikrodrátkem přenášet (napětí, proudu, frekvence),
- přípustná propojovací impedance,
- navržená kapacitní zátěž výstupu.



Návrh spojení mikrodrátku s ploškou úzce souvisí s jeho průměrem. Minimální průměr drátku je závislý na přípustném elektrickém odporu mikrodrátku vzhledem k jeho délce. Rozměr bondované plošky, její šířka, délka a rozteč se musí počítat tak, aby bylo možno signál přenést průměrem mikrodrátku. Mezi další parametry patří také samotný materiál mikrodrátku. Dále sem patří jeho elektrická vodivost, pevnost ve smyku, v tahu, elasticita, tvrdost a koeficient tepelné roztažnosti [1].

Materiál bondovací plošky musí být vybrán vzhledem k materiálu mikrodrátku. Mezi důležité vlastnosti materiálu bondovacích plošek patří vodivost, schopnost vzájemného propojení, vlastnosti intermetalické fáze, tvrdost, odolnost vůči prostředí a koeficient tepelné roztažnosti [1].

## 1.5 Materiály mikrodrátku a bondovacích plošek

Pro mikrodrátek se využívají tři základní druhy materiálu:

- zlato,
- hliník,
- měď.

### A) Zlato

Zlatý mikrodrátek se používá hlavně při termokompresním a termosonickém bondování. Čisté zlato má přiměřenou pevnost v tahu. Může být taženo a prodlužováno v délce bez výrazné změny vlastností. Je však velmi měkké a proto se k němu přidávají prvky na zvýšení tvrdosti, a to buď malé množství berylia nebo mědi.

S přídavkem berylia je mikrodrátek tvrdší a proto se používá hlavně pro automatizované systémy s větší rychlostí bondování, při kterých vyšší rychlost bonderů zvyšuje namáhání v tahu oproti pomalejším, manuálním bonderům pro které je vhodnější mikrodrátek s přídavkem mědi [1].

### B) Hliník

Čistý hliník je také velmi měkký pro tenký mikrodrátek. Proto je často legován 1% křemíku nebo 1% manganu k posílení pevnosti. Mikrodrátek s křemíkem se používá při pokojové teplotě nebo při vyšší teplotě dochází k vytváření nerovnoměrného rozložení křemíku v materiálu a tím k narušení jeho struktury. Hliník s 1% manganu je vlastnostmi

obdobný jako s 1% křemíkem má však lepší teplotní vlastnosti a může se používat pro vyšší teploty [1].

### C) Měď

V poslední době se hlavně z ekonomických důvodů začíná používat i měděný mikrodrátek. Měď má také lepší odolnost mikrodrátku vůči pohybu při plastickém zapouzdření bondů protože je tvrdší. Velký problém u mědi je však její schopnost propojení bondováním. Měď je tvrdší, což vede k poškozování povrchů plošek. Proto se vyžaduje tvrdší pokovení plošek a také se kontakt provádí ve speciální inertní atmosféře z důvodu rychlé oxidaci mědi na vzduchu [1].

Pro povrchovou úpravu bondovací plošky je nejčastěji voleno pozlacení popřípadě nanesení hliníkového materiálu. Pro úpravu povrchu plošky je možné využít i stříbro, nikl nebo měď.

Pokud je to možné, je výhodné volit stejný materiál mikrodrátku a plošky. Když jsou materiály shodné, mají stejné podmínky pro vytvoření propojení, odpadají problémy s vyhledáním vhodné teploty, dochází k lepšímu vzájemnému propojení na atomární úrovni, minimální tvorbě kráterů a poškozování plošek [1].

## 1.6 Volba technologie bondování a bondovacího nástroje

Pro provedení bondování je potřeba posoudit, která technologie je vhodnější pro konkrétní podmínky za kterých bude bondování prováděno. Každá technologie má své požadavky.

Kuličkové bondování [1].

- Průměr kuličky je přibližně 2 až 3 krát větší než průměr mikrodrátku. V případě užití kapilár pro jemnou rozteč to může být i 1,5 krát.
- Velikost bondu (samotný kontakt mikrodrátku s ploškou) by neměl přesahovat  $\frac{3}{4}$  velikosti bondovací plošky a 2 až 5 krát přesahovat průměr mikrodrátku v závislosti na geometrii a směru pohybu kapiláry.
- Výška smyčky mikrodrátku se pohybuje kolem 150  $\mu\text{m}$ , závisí na průměru drátku a druhu aplikace.
- Délka smyčky by neměla přesáhnout 100 násobek průměru mikrodrátku, v některých aplikacích se může prodloužit až na 5 mm.

Klínové bondování [1].

- Kvalitní bond může být dosažitelný, i když je bondovací ploška jenom o 2-3  $\mu\text{m}$  širší než průměr mikrodrátku.
- Délka plošky musí být tak velká aby přesahovala délku hrotu nástroje i délku kontaktovaného mikrodrátku.
- Osa plošky by měla směřovat ve směru pohybu nástroje.
- Rozteč plošek musí být navržena tak aby se udržela konstantní vzdálenost mezi mikrodrátky.

K volbě technologie je důležité správně posoudit vhodnost použitých materiálů pro vzájemný kontakt mikrodrátku a plošky. Jaké parametry jsou vhodné pro tu kterou kombinaci je problematické jednoznačně stanovit.

Obecně lze říci, že kuličkové bondování je rychlejší a umožňuje všesměrové umístění druhého bondu. Naproti tomu klínové bondování umožňuje využívat mikrodrátek z hliníku, bondovací plošky mohou být těsněji u sebe a umožňuje využívat mikrodrátek ve tvaru pásky, co může vést k lepším podmínkám propojení u vysokofrekvenčních aplikací.

### **Bondovací nástroj**

Volba bondovacího nástroje vychází ze stanovení podmínek bondování. Všeobecně můžeme říci že bondovací nástroj je dán:

- svým určením,
- velikostí a tvarem hrotu,
- materiálem a povrchovou úpravou,
- tvarem a délkou těla nástroje.

Jednotliví výrobci vyrábí nástroje s různou délkou a různým tvarem těla nástroje. Tvar těla je většinou dán upevněním nástroje do bondovacího zařízení a způsobem přivádění mikrodrátku od cívky k místu kontaktu.

### **Pro výběr bondovacího nástroje jsou důležité :**

- bondovací zařízení,
- velikost bondovací plošky,
- průměr mikrodrátku.

**Bondovací zařízení**

Výrobců bondovacích zařízení je několik. Tyto stanice umožňují provádět bondování za stanovených podmínek. S tím souvisí i výběr vhodných bondovacích nástrojů. Nemusí jít vždy o nutnost použít bondovací nástroj od určeného výrobce, ale mohou nastat problémy s použitím libovolného bondovacího nástroje. Je nutno tuto stránku mít také na paměti při výběru nástroje, hlavně z důvodu upevnění do zařízení a vhodnosti pro dané podmínky.

**Velikost bondovací plošky**

Bondovací nástroj musí přenést potřebnou energii do místa kontaktu mikrodrátku s ploškou. Proto velikost plošky, její povrch, umístění plošky vzhledem k ostatním částem bondovaného objektu je nutno mít na zřeteli při výběru samotného nástroje.

**Průměr mikrodrátku**

Mikrodrátek je veden nástrojem od prvního bondu ke druhému. Jeho materiál a průměr výrazně ovlivňují bondovací nástroj. Také je nutno brát v úvahu umístění mikrodrátku na plošce a jejich vzájemnou velikost vzhledem k přenášenému signálu.

## 2 Výrobci nástrojů pro bondování

Od prvních pokusů o výrobu integrovaných obvodů na konci 50-tých let se s vývojem technologie vytvářely nové postupy ve výrobě komponentů pro bondování. Vznikaly malé společnosti na výrobu jednotlivých nástrojů. Vývoj technologie směřoval různými směry a výrobci se různě seskupovali, vznikali a sdružovali se do nových konkurenceschopných celků.

### 2.1 Kulicke and Soffa

Společnost vznikla v roce 1951 spojením dvou jmen Fred Kulicke a Al Soffa ve Spojených státech. Je historicky zajímavé že spojení dvou lidí před 60 lety je základem tak velké společnosti, která obsáhla celý svět a podílí se na vývoji produktů polovodičů a polovodičové techniky. Základ úspěchu byl v tom, že mohli být u zrodu technologie [4].

Rozvoj společnosti umožnil začátkem 70-tých let přičlenění společnosti „Mikro-Point-Pro“, která se věnovala výrobě nástrojů pro bondování. O rok později přišli na trh s vlastní bondovací stanicí. V 70-tých letech rozšiřovali výrobu s rozvojem polovodičové techniky. V 80-tých letech rozšířili působnost do zahraničí a v současné době mají zastoupení po celém světě. Výroba se rozšířila hlavně v asijských státech Singapur, Malaisie, Čína [4].

V současnosti jde o největší společnost věnující se procesu automatizovaného bondování, věnuje se vývoji prostředků pro automatickou výrobu s minimálním zásahem obsluhy do výrobního procesu.

### 2.2 Gaiser Precision Bonding Tools

Společnost Gaiser se objevila v roce 1962 jako *Micro EDM Job Shop* v Kalifornii ve Spojených státech. Od začátku se věnovala přesnému strojírenství a podílela se na vývoji nových nástrojů. Roku 1967 vznikla jako společnost *Gaiser Tool company* a tímto rokem se datuje vznik první bondovací kapiláry vyrobené touto společností [5].

Během 70-tých let se společnost rozšířila, vznikaly nové výrobní závody a na začátku 80-tých let se společnost stala největším výrobcem bondovacích nástrojů na světě. V roce 2007 došlo ke spojení s mezinárodní korporací *CoorsTek* pro rozšíření možností uplatnění v celosvětovém měřítku [5].

Hlavním přínosem společnosti je neustále zlepšování kvality materiálů a přesnosti výroby kapilár.

### 2.3 Small Precision Tools - SPT

Firma se ve své historii odkazuje do 19. století, k začátku vzniku skupiny Roth Group Business v roce 1890. Tato společnost vznikla ve Švýcarsku a v počátcích se věnovala výrobě průmyslových klenotů a hodinek [6].

V roce 1964 společnost APROVA vyráběla kapiláry pro bondování tranzistorů a integrovaných obvodů [6].

Na těchto základech vznikla v Kalifornii v roce 1974 společnost *Small Precision Tools*. Jednou z oblastí, které se firma věnuje je i výroba nástrojů pro mikrodrátkové bondování. Společnost se vytvořila jako další směr v širokém portfoliu „Roth Group“, která reagovala na možnosti rozšíření své působnosti do nově vznikajícího výrobního odvětví s nástupem polovodičové techniky [6].

V 1976 společnost metodou *Ceramic Injection Molding*, vyrobila kapiláru pro bondování. Jde o metodu, která využívá keramický materiál, tvarovaný do velmi přesných rozměrů. Používá se kombinace keramického prášku, vstřikovací formy a spékací technologie. Touto metodou společnost vyrábí velmi přesné nástroje pro užití v mnohých odvětvích průmyslu [6].

Společnost se věnuje bondovacím nástrojům v celé šířce možných druhů. Vyrábí nástroje pro kuličkové i klínové bondování. Vzhledem k svým možnostem výroby, je schopná reagovat na různé směry v oblasti vývoje bondování. Neustále se věnuje vývoji nových kombinací materiálů pro zlepšení možnosti kontaktu mikrodrátku a bondovací plošky.

### 2.4 DeWeyl Tool Company

Společnost DeWeyl se specializuje na výrobu klínových nástrojů, speciálních nástrojů pro polovodičové technologie, letecký průmysl a lékařství [7].

Richard Cliene založil v roce 1969 společnost, která stále patří jeho rodině. Sídlí ve městě Petaluma v severní Kalifornii. Dodává nástroje pro různé účely po celém světě. Na každém kontinentě najdeme několik společností, které využívají služeb společnosti DeWeyl.

V oblasti klínových nástrojů může nabídnout nástroje jak pro automatické, tak pro manuální bondovací stanice, nástroje pro mikrovlnné aplikace, páskové bondování, hloubkové bondování i bondování velkým průměrem mikrodrátku. [7]

Její hlavní předností je rozmanitost nabídky výrobků. Specializuje se na malovýrobu, na speciální nástroje, které jsou schopny plnit speciální účely, jsou spolehlivé a vyznačují se dlouhou životností.

### 3 Nástroje pro bondování na kuličku

Propojování kontaktních plošek zlatým mikrodrátkem bylo od svých počátků spojeno se speciálním nástrojem který dostal název dle svého vzhledu – kapilára.

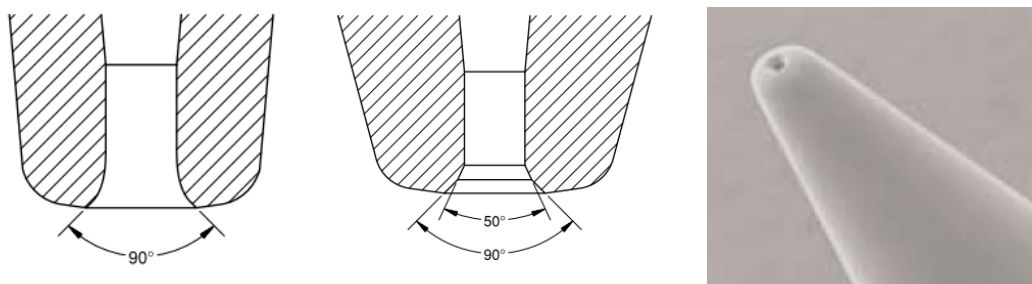
V současnosti existuje mnoho druhů kapilár. Jeden z nejdůležitějších parametrů, který ovlivňuje tvar kapiláry je průměr mikrodrátku. Nejpoužívanější jsou standardní kapiláry.

#### 3.1 Standardní kapiláry

Do této skupiny spadá velké množství kalipár které jsou určeny pro široké spektrum průměrů mikrodrátků. Nejpoužívanější jsou průměry od 25  $\mu\text{m}$  do 40  $\mu\text{m}$ . Bondování s tímto průměrem je velmi dobře technologicky zvládnuto, je nenáročné na použité materiály plošek a mikrodrátku.

Bondování na kuličku umožňuje provádět propojení plošek i podstatně větším průměrem mikrodrátku. Je možné použít až průměr do 152  $\mu\text{m}$ . Při větších průměrech ale již musíme zvažovat jaké podmínky bondování a použité materiály zvolíme aby bylo dosaženo neoptimalnějších výsledků. Jednotliví výrobci ponúkajú nástroje pro tyto specifické účely, jsou však již více specifikované co do jednotlivých rozměrových parametrů.

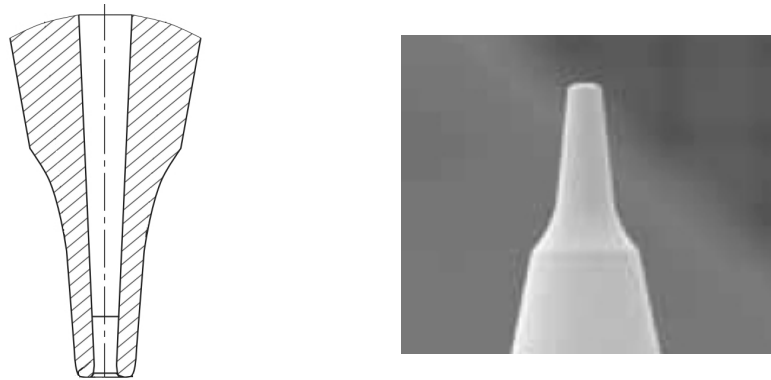
Základní tvar kapilár však zůstává stále stejný. V Příloze C je ukázka používaných variant tvarů pro hroty kapilár [16]. Základní profil nástroje je zobrazen na obr. 3.1.1



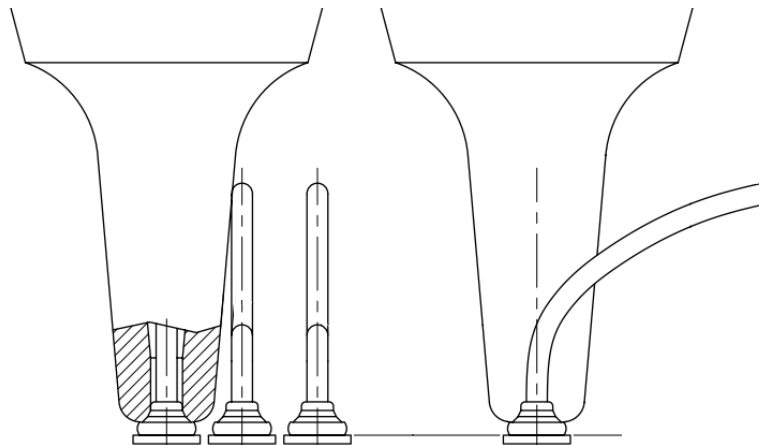
Obr. 3.1.1 Ukázka geometrických tvarů kapilár [16].

#### 3.2 Kapiláry pro jemnou rozteč

Kapiláry pro jemnou rozteč jsou určeny pro bondování plošek které jsou těsněji u sebe. Svým tvarem jsou uzpůsobené k tomu aby umožnily vedení samotného mikrodrátku tak, aby nedošlo k dotyku těla kapiláry s mikrodrátkem, který je již přibondován. V anglickém jazyce dostaly název *Fine Pitch Capillary* [16].



Obr. 3.2.1 Ukázka tvaru hrotu kapilár pro jemnou rozteč [16].



Obr. 3.2.2 Ukázka bondování kapilárami pro jemnou rozteč [24].

### 3.3 Základní geometrické parametry kapilár

Geometrie kapilár je ovlivněna geometrickými a materiálovými parametry bondovaných součástí, kam patří materiál a průměr mikrodrátku, velikost bondovaných plošek a jejich povrchová úprava [16].

Jak již bylo zmíněno bondování probíhá ve dvou etapách :

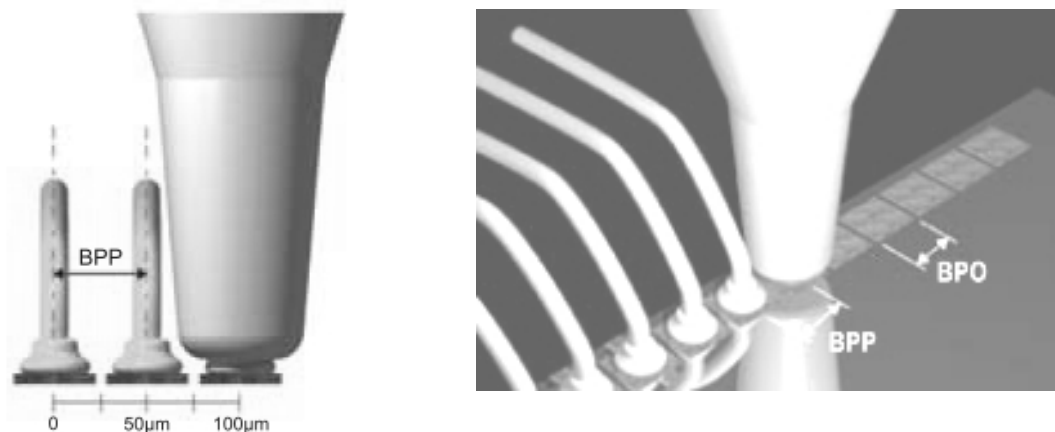
- vytvoření prvního bondu a tvarování smyčky mikrodrátku,
- vytvoření druhého bondu a přetržení mikrodrátku.



### A) Vytvoření prvního bondu a tvarování smyčky mikrodrátku

Pro tuto etapu jsou důležité geometrické rozměry [8]:

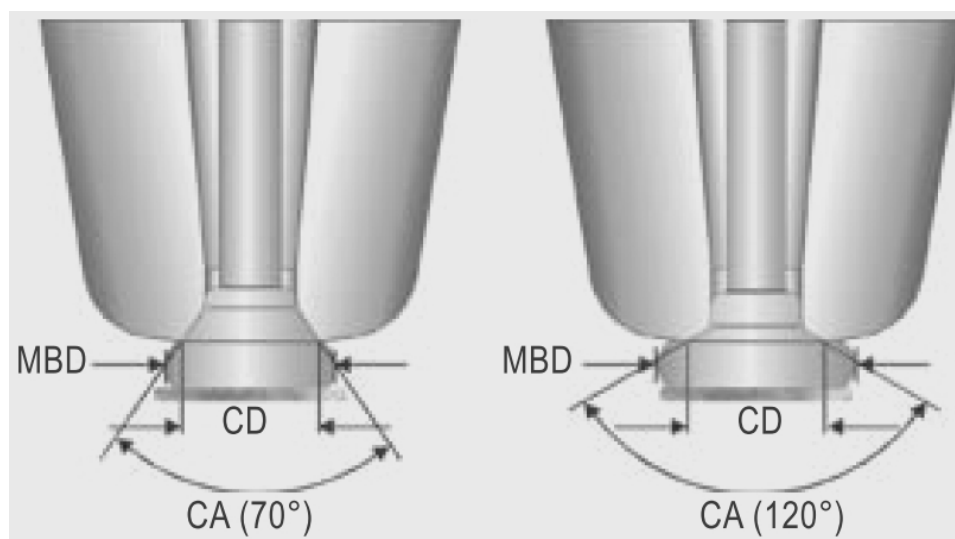
- vzdálenost středů dvou sousedních bondovacích plošek (BPP),
- šířka kontaktní plošky (BPO),
- průměr mikrodrátku (WD),
- průměr otvoru kapiláry (H),
- kritická výška smyčky mikrodrátku (CLH),
- měřený průměr zmáčklé kuličky (CD),
- celkový průměr zmáčklé kuličky (MBD),
- úkos otvoru kapiláry (CA).



Obr. 3.3.1 Ukázka rozestupu a šířky kontaktní plošky [8].

Vzdálenost dvou sousedních plošek (BPP) je velmi důležitá pro výběr kapilár. Například katalog kapilár společnosti K&S řadí kapiláry do skupin na základě vzdálenosti sousedních plošek (BPP). Pro jemné kapiláry je dělení do skupin vytvářené až do jemnosti 10 μm na jednu skupinu kapilár [16].

Průměr otvoru kapiláry (H) je vázán na velikost průměru drátku (WD). Její velikost bývá 1,2 až 1,5 krát průměru mikrodrátku. Při jemných aplikacích bývá menší, vzhledem k menšímu průměru zmáčklé kuličky [8].

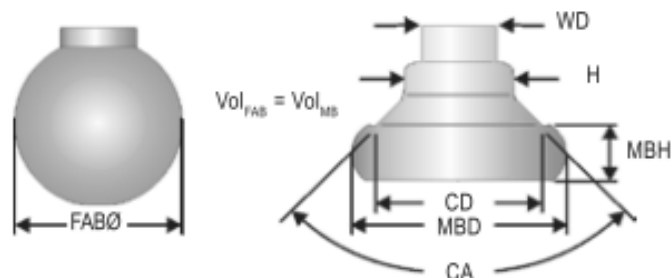


Obr. 3.3.2 Ukázka zmáčklé kuličky a úkosu otvoru [8].

Úkos otvoru kapiláry (CA) zabezpečuje zmáčknutí kuličky a vytvoření celkového průměru zmáčklé kuličky (MBD). Je důležitým prvkem při vystředění kuličky pod kapilárou. Má také význam při přenosu ultrazvukové energie do místa kontaktu.

Při bondování jemnými kapilárami je velmi důležitý pravidelný tvar kuličky na mikrodrátku. Na kuličce závisí tvar zmáčklé kuličky (CD), tvar smyčky mikrodrátku a pevnost prvního bondu [9].

Jednotlivé geometrické rozměry nástroje jsou podstatné pro provedení bondu. Na základě jejich rozměru je možné spočítat jak velká má být kulička na mikrodrátku a podle toho nastavit parametry bondovacího zařízení.



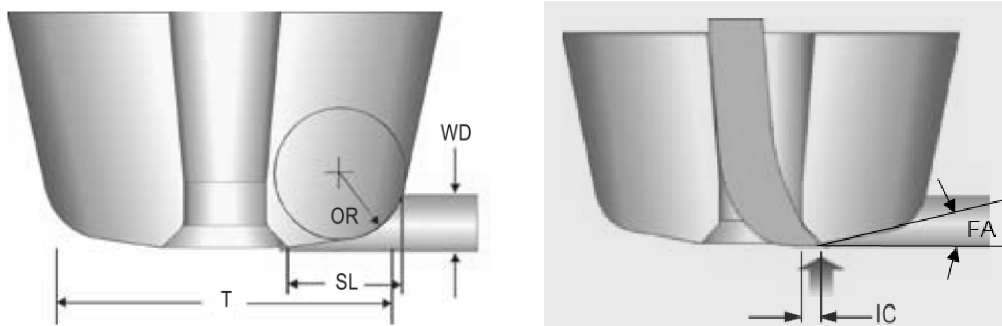
$$FAB\varnothing^3 = 1.5H^2(H-WD) + (CD^3 - H^3) / 4\tan(0.5CA) + 1.5MBD^2(MBH)$$

Obr. 3.3.3 Ukázka výpočtu velikosti kuličky na mikrodrátku [9].

## B) Vytvoření druhého bondu a přetržení mikrodrátku

Pro tuto etapu jsou důležité geometrické rozměry [10]:

- délka kontaktu mikrodrátku s ploškou (SL),
- průměr hrotu nástroje (T),
- poloměr zaoblení (OR),
- úhel čela hrotu (FA),
- vnitřní úkos otvoru (IC).



Obr. 3.3.4. Ukázka geometrických rozměrů kapiláry. [10]

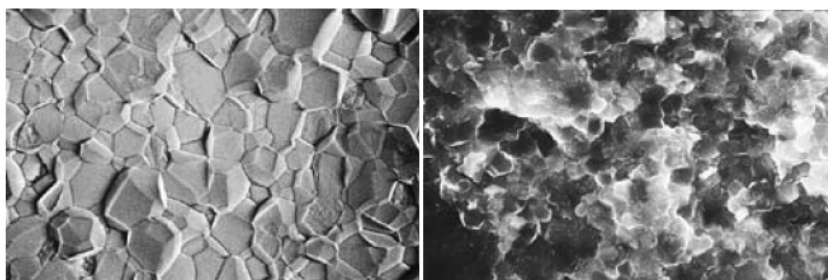
Tvar druhého bondu je odlišný od prvního. Mikrodrátek je zamáčklý a musí být přetržen v místě druhé bondu. Pro přetržení mikrodrátku je podstatný vnitřní úkos otvoru (IC). Také je důležité, aby hrot nástroje zůstal přitlačen k plošce a došlo k zatáhnutí mikrodrátku pomocí uchycovacích svorek. Dochází k namáhání na střih, při kterém dojde k přetržení mikrodrátku.

Pro výběr vhodného bondovacího nástroje je potřebné věnovat velkou pozornost vzájemné kombinaci průměru hrotu (T), poloměru zaoblení (OR) a úhlu čela hrotu (FA). V případě, že nejsou zvoleny správně, může dojít k poškození bondu [10].

### 3.4 Materiály a povrchová úprava nástrojů

Společnost SPT používá pro standardní kapiláry vysoce čistý  $Al_2O_3$  (Oxid hlinitý) ve formě velmi jemného prachu. Jde o běžně používaný materiál pro konstrukční keramiku. Vyznačuje se vysokou tvrdostí, ořezuvzdorností a chemickou odolností. Je také odolný vůči vysokým teplotám [11].

Na kapiláry pro jemnou rozteč se používá kompozitní keramický materiál označovaný zkratkou AZ.

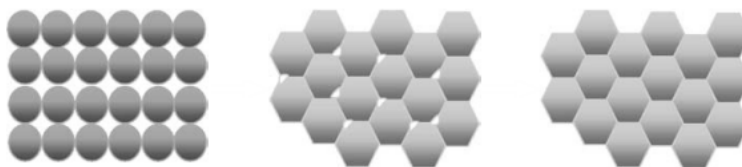
 $Al_2O_3$ 

Keramika AZ

Obr. 3.4.1 Rozdíl ve struktuře materiálu  $Al_2O_3$  vz. keramika AZ. [11]

Sloučení keramických mikrostruktur, rozmístění a velikost zrn, jejich rovnoměrnost a polyformní složení ovlivňují konečné mechanické a geometrické vlastnosti kapiláry. Rozvoj technologie, zmenšování velikosti a vzdálenosti bondovacích plošek, stále zvyšuje nároky na konstrukční materiál, hlavně pro těsnější bondovací plošky s vyšší integrací prvků [11].

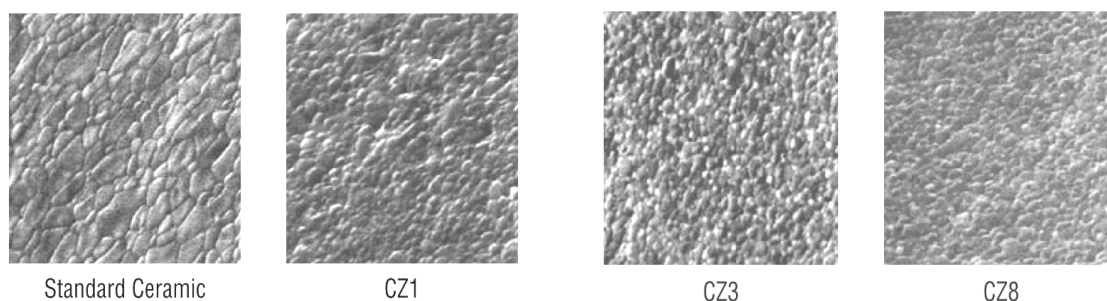
Na obrázku 3.4.2 je vidět mikrostruktura zrn materiálu před spékáním, po spékání a po dalším zhutňování materiálu.



Obr. 3.4.2 Struktura materiálu při postupném zhutňování [11].

Kapiláry může mít matný nebo leštěný povrch. Matný povrch poskytuje lepší dotykovou adhezi mezi zlatým mikrodrátkem a kontaktní ploškou, při spojení povrchových struktur během doby působení ultrazvukové energie. Leštěný povrch umožňuje hladší průchod (menší otěr) mikrodrátku při tvarování smyčky. Menší otěr materiálu může prodloužit životnost nástroje. Leštěný povrch je vhodnější pro použití při předpokládaném větším otěru mikrodrátku a při tvarování složité smyčky [11].

Obdobně řeší problematiku materiálu pro jemné kapiláry společnost Gaiser. Ve své nabídce má dokonce 3 materiály pro tuto oblast. Jde o kompozitní sloučeniny na základě Zirkonia a dalších materiálů (ZTA). Označují se CZ1, CZ3 a CZ8. Na obrázku 3.4.3 jsou vidět rozdíly v struktúře mezi jednotlivými materiály.



Obr. 3.4.3 Ukázka struktúry povrchů různých materiálů

Tabulka č. 3. 1 Porovnání technických parametrů [25].

Technické specifikace materiálů				
	Standardní keramika	CZ1	CZ3	CZ8
Prům. velikost zrna	1,3 $\mu\text{m}$	0,5 $\mu\text{m}$	0,35 $\mu\text{m}$	0,4 $\mu\text{m}$
Hustota	3.96 $\text{g/cm}^3$	4.29 $\text{g/cm}^3$	4.38 $\text{g/cm}^3$	4.27 $\text{g/cm}^3$
Pevnost v ohybu	572 MPa	1013 MPa	1120 MPa	1046 MPa
Přenos ultrazvuku	81.2 %	85.2 %	88.8 %	84.4 %
Tvrдость - Vickers	2144 HV	1716 HV	2658 HV	2000 HV
Barva	bílá	světle růžová	tmavě růžová	bílá

## 4 Nástroje pro klínové bondování

Jde o velkou skupinu bondovacích nástrojů, které využívají ke kontaktu mikrodrátku s ploškou přítlak hrotu nástroje na mikrodrátek. Protože nástroje mají tvar klínu, nazývají se klínové nástroje. Původní anglický název pro tuto skupinu je *Wedge tools*.

Protože klínové bondování je výrazně závislé na specifických podmínkách, je klínových nástrojů velké množství. S vývojem technologie se měnily i tvary hrotů nástrojů. Jednotlivé druhy nástrojů se mezi různými výrobci liší co do jednotlivých rozměrů. V celkovém přehledu ale můžeme najít společné znaky nástrojů a vzájemně je ztotožnit.

Aby se v tomto přehledu nástrojů dalo orientovat, vytvořil jsem vlastní skupiny, které zobrazují nástroje napříč spektrem výrobců. Nejsou popsány všechny z důvodu velkého množství. Volil jsem ty nejzajímavější a nejvíce názorné, co do tvaru hrotu.

Klínové nástroje jsem rozdělil do třech skupin:

- standardní klínové nástroje,
- nástroje pro páskové bondování,
- nástroje pro bondování mikrodrátkem o velkém průměru.

### 4.1 Standardní klínové nástroje

Jde o velkou skupinu, která se používá pro bondování hliníkového nebo zlatého mikrodrátku od minimálního průměru 13  $\mu\text{m}$ . Nejvíce se využívá mikrodrátek o průměru od 20  $\mu\text{m}$  do 60  $\mu\text{m}$ . Pro sjednocení a zjednodušení celého spektra výrobků jsem je seskupil do tří podskupin. Jako základ pro vytvoření těchto skupin jsem volil profil hrotu.

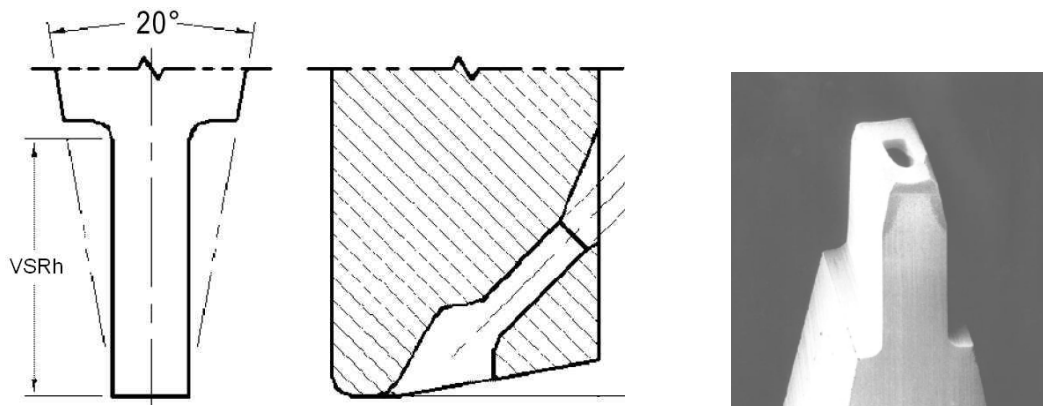
Standardní klínové nástroje můžeme rozdělit :

- klínové nástroje pro jemnou rozteč,
- univerzální klínové nástroje,
- klínové nástroje pro manuální bondovací stanice.

#### A) Klínové nástroje pro jemnou rozteč

Jsou určené pro bondování velmi těsně umístěných plošek. V anglické literatuře se nazývají *Fine Pitch Wedge Tools*. Všeobecně se pro jemné bondování udává vzdálenost bondovaných plošek menší než 100  $\mu\text{m}$  [11]. Obvyklá je vzdálenost 60  $\mu\text{m}$  a může být i

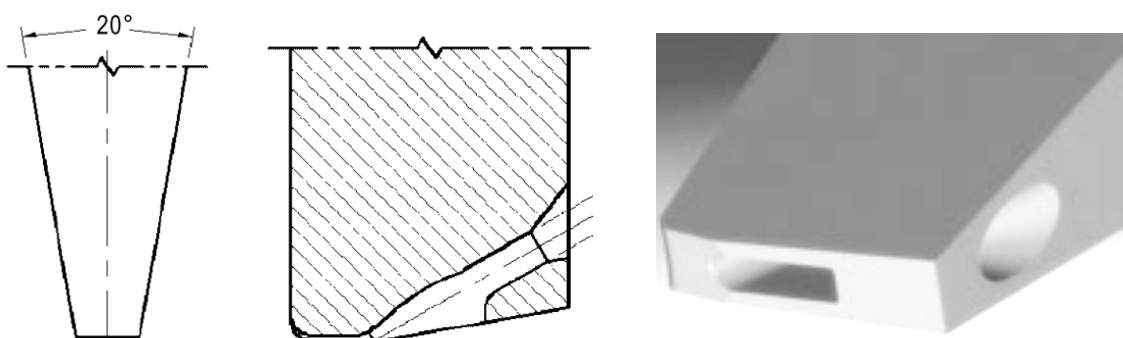
menší. Pro takto umístěné bondovací plošky je obtížný přístup bondovacího nástroje. Tvarem hrotu je řešen problém, jak se k plošce dostat tak, aby se nástroj nedotkl předcházející smyčky. Velikost rozměru VSRh závisí na vzájemné vzdálenosti plošek [12].



Obr. 4.1.1. Ukázka profilu klínového nástroje pro jemnou rozteč [12].

### B) Univerzální klínové nástroje

Tato oblast zahrnuje velké množství klínových nástrojů, které se používají pro automatizované bondovací stanice. Používají se pro běžné průměry mikrodrátku od 13  $\mu\text{m}$  do 60  $\mu\text{m}$ . Odlišují se hlavně geometrickými rozměry hrotu nástroje. Existuje velké množství vzájemných kombinací. Velmi podstatný je úhel vstupu mikrodrátku do nástroje. Tento parametr má velký vliv na tvarování smyčky mikrodrátku. Jsou konstruovány pro co nejlepší kontakt mikrodrátku s bondovací ploškou. Využívají zlatý i hliníkový mikrodrátek. Vyznačují se vysokou přesností v umístění mikrodrátku na plošku.

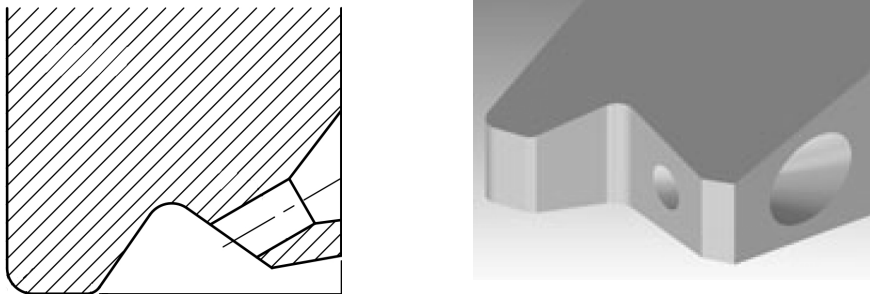


Obr. 4.1.2 Ukázka profilu univerzálního klínového nástroje [13].

### C) Klínové nástroje pro manuální bondovací stanice

Tato velká skupina nástrojů se používá hlavně pro bondování zlatého mikrodrátku v mikrovlnných aplikacích. Vyznačuje se speciálně upraveným hrotem nástroje ve tvaru drážky. Používá se jak pro velmi tenké mikrodrátky kolem 18  $\mu\text{m}$  tak pro velké průměry.

Mikrovlnné aplikace mají některé speciální požadavky, které jsou specifické různými variantami požadovaných parametrů, hlavně tvaru smyčky mikrodrátku, popřípadě jejího nastavování.



Obr. 4.1.3 Ukázka profilu klínového nástroje [14].

## 4.2 Nástroje pro páskové bondování

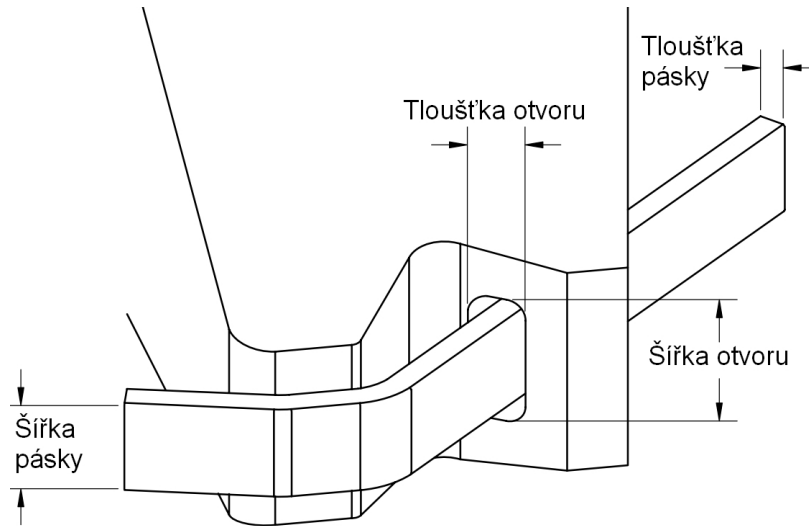
Zajímavou oblastí klínového bondování je propojení bondovacích plošek namísto kulatého mikrodrátku páskou, která má obdélníkový průřez ( $a \times b$ ). Odtud se nazývají páskové bondovací nástroje. V originálním anglickém výrazu *Ribbon Tools*. Páska je vyrobena většinou ze zlatého materiálu kvůli zvýšené námaze mikrodrátku v ohybu.

Rozměry bondovaných pásek se pohybují v rozpětí (tloušťka  $\times$  šířka) od 13  $\mu\text{m} \times 25 \mu\text{m}$  až do 76,2  $\mu\text{m} \times 508 \mu\text{m}$  (K&S) [36]. Společnost Gaiser používá trochu jiné rozpětí rozměrů od 6  $\mu\text{m} \times 51 \mu\text{m}$  po 51  $\mu\text{m} \times 254 \mu\text{m}$  [26.] V daném rozpětí obě společnosti nabízí velkou řadu nástrojů, které se liší svými rozměry. Nástroje pro páskové bondování dodávají všichni velcí výrobci klínových bondovacích nástrojů. V podstatě jde o jiný profil mikrodrátku. Její hlavní použití je pro propojení ve výkonových zařízeních typu automobilového a leteckého průmyslu, kde větší průřez propojovacího materiálu můžeme zatížit větší energií.

Společnost K&S upřednostňuje použití páskového bondování u vysokofrekvenčních zařízeních. Využívá vlastnosti šíření VF energie v materiálech nazývanou „Skin Effect“, která zmenšuje odpor materiálu k šíření vf energie.



Nástroje pro páskové bondování jsou navrženy obdobně jako běžné klínové nástroje s výjimkou vodícího otvoru pro mikrodrátek, který má tvar horizontální štěrbiny namísto typického kulatého otvoru. Velikost otvoru je závislá na průřezu mikrodrátku.



Obr. 4.2.1 Ukázka vedení pásy v nástroji. [27]

### 4.3 Nástroje pro bondování mikrodrátkem o velkém průměru

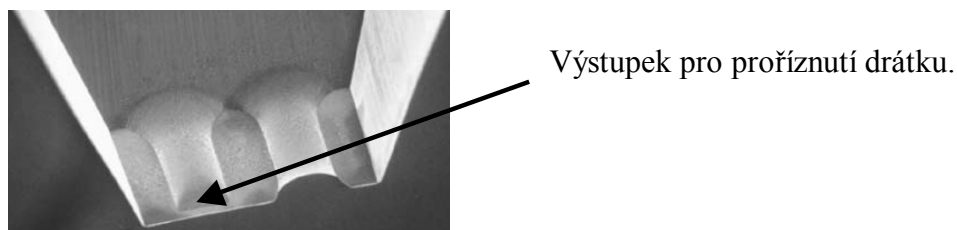
Pro větší výkonové zatížení je možné provádět bondování i mikrodrátkem, který má výrazně větší průměr. Jde o alternativu k páskovému bondování. Rozhodnutí o tom, jestli použijeme bondovací pásku nebo bondovací mikrodrátek je ovlivněné celou řadou podmínek. Vývojem nových aplikací v tomto směru se vyvinuly postupy, které umožňují pracovat s mikrodrátkem až do průměru 508  $\mu\text{m}$  [28]. Z důvodu provozních nákladů se při tomto způsobu používá hlavně hliníkový materiál. Využití je obdobné jako u páskového bondování ve výkonových zařízeních v automobilové výrobě a dalších odvětvích průmyslu.

Používají se tři druhy řízení klínového bondování velkým průměrem mikrodrátku. Odlišují se v různém způsobu ukončení bondu – přetržení bondovacího mikrodrátku [28].

- klasický způsob bondování,
- klínový nástroj používá vlastní přetrhávací mechanismus – vlastní nůž,
- klínový nástroj je oddělený od mechanismu na přetržení – proříznutí mikrodrátku.

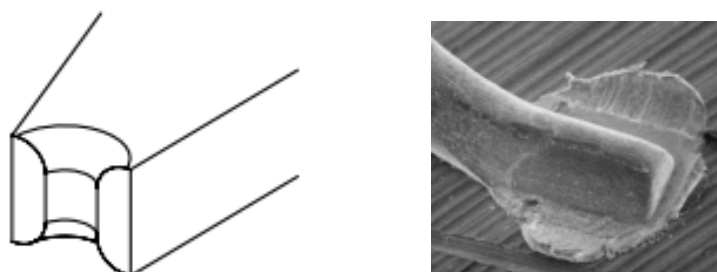
Klasický způsob se využívá pro menší průřezy mikrodrátku, kdy nám klasická metoda přetržení zabezpečuje vytvoření konzistentního přetržení bez deformace průřezu. Pro představu jde o průřez, který je menší než 127  $\mu\text{m}$ . [28]

Druhý způsob je vyřešen zvláštním tvarem hrotu nástroje. Hrot nástroje má dvě paralelní drážky. Jednou drážkou se udělá první bod, při vedení mikrodrátku ke druhému bondu se mikrodrátek přehodí do druhé drážky, která má specifické ukončení drážky řezacím výstupkem, který po převedení druhého bondu přeřeže mikrodrátek [28].

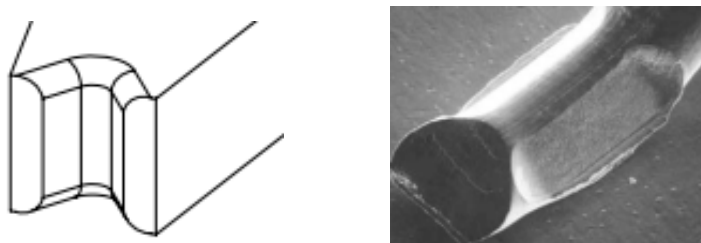


Obr. 4.3.1 Detail hrotu klínového nástroje se dvěma paralelními drážkami [28].

Třetí způsob je používán pro velké průměry drátku, kdy přeřezávací mechanismus mikrodrátku je součástí bondovací stanice, která řídí jeho pohyb při proříznutí mikrodrátku. Při velkých průměrech drátku musí být specificky upravený tvar hrotu nástroje. Používá se tvar „U“ nebo tvar „V“.



Obr. 4.3.2 Tvar hrotu „U“ pro klínový nástroj [28].



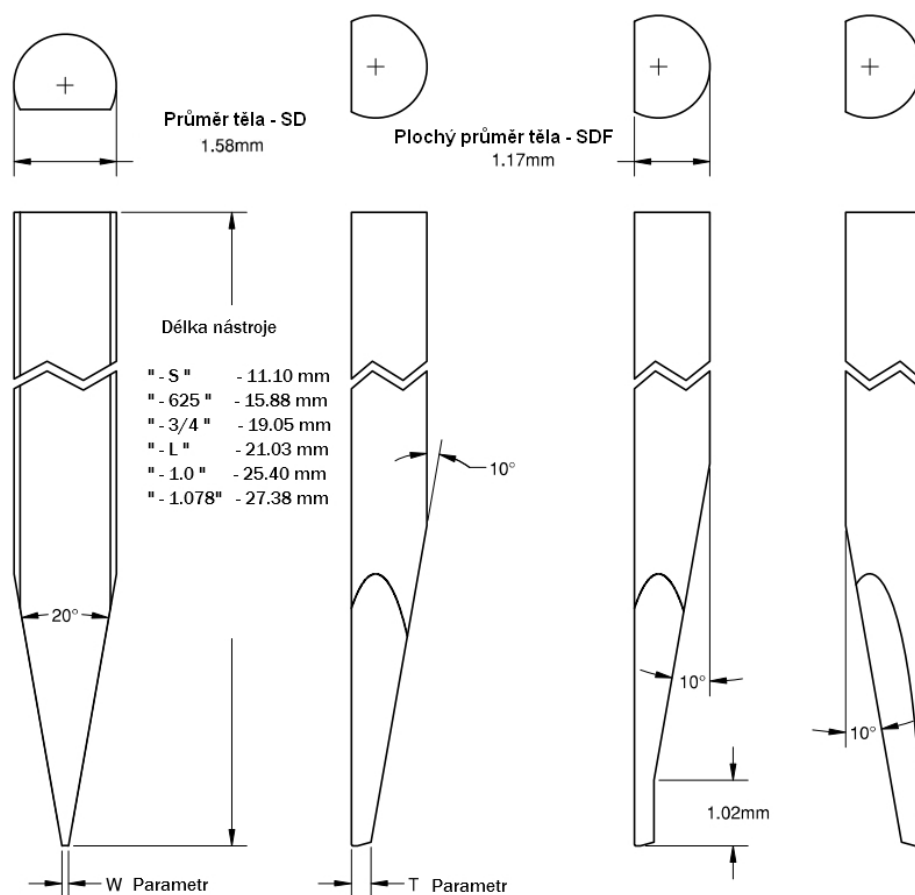
Obr. 4.3.3 Tvar hrotu „V“ pro klínový nástroj [28].

Tvar nástroje „U“ je používán méně z důvodu vytvoření tzv. „uší“ ,které přesahují kolem mikrodrátku a zvětšují plochu kontaktu.

#### 4.4 Tělo klínového nástroje

Klínový bondovací nástroj není vytvořen jenom z hrotu nástroje. Důležitý význam má i tělo nástroje. V anglickém orginálu označované jako *Shank*. Jeho nejdůležitějším úkolem je uchycení nástroje v bondovacím zařízení – bondovací hlavě. Přenáší z bonderu do místa kontaktu energii na vytvoření propojení (potřebný přitlak, ultrazvukovou energii a v některých případech i teplotu).

Obdobně jako existuje velké množství tvarů hrotů, existuje i velké množství tvarů těla bondovacího nástroje. Každý výrobce má několik variant různých kombinací. Mezi nejvýznamnější parametry patří délka nástroje a způsobu uchycení v bondovací hlavě.

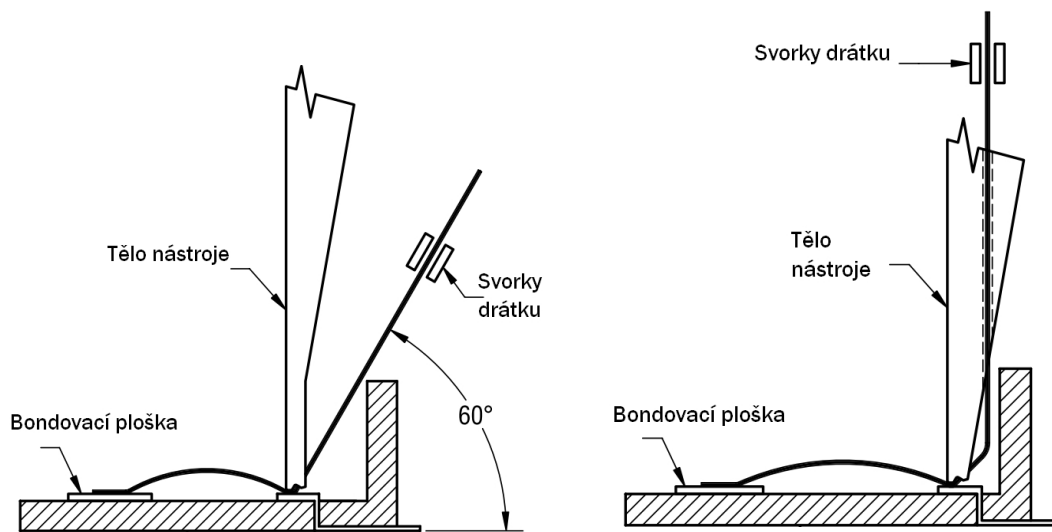


Obr. 4.4.1 Tvar těla klínového bondovacího nástroje [29].

Parametry W a T jsou základní parametry hrotu nástroje. Délka nástroje je udávána dle kódu, jak je uvedeno na obrázku 4.4.1. Označení délky se může u jednotlivých výrobců lišit. Obrázek je z katalogu firmy Gaiser.

Průměr těla nástroje (SD) a plochý průměr těla (SDF), jsou základní rozměry pro uchycení nástroje v bondovací hlavě zařízení. Jednotliví výrobci udávají několik rozměrů tohoto parametru.

Klínové bondování se často provádí v prostorech, kde není dostatek místa kolem bondovacích plošek. Pro tento druh bondování jsou vytvořené speciální tvary těla nástroje. Tyto nástroje se nazývají „Nástroje pro hloubkové bondování“. V anglickém orginálu *Deep Access Tools*. Pro tyto aplikace umožňuje tělo nástroje vedení mikrodrátku kolmo k podložce, čímž se umožňuje lepší přístup k plošce.

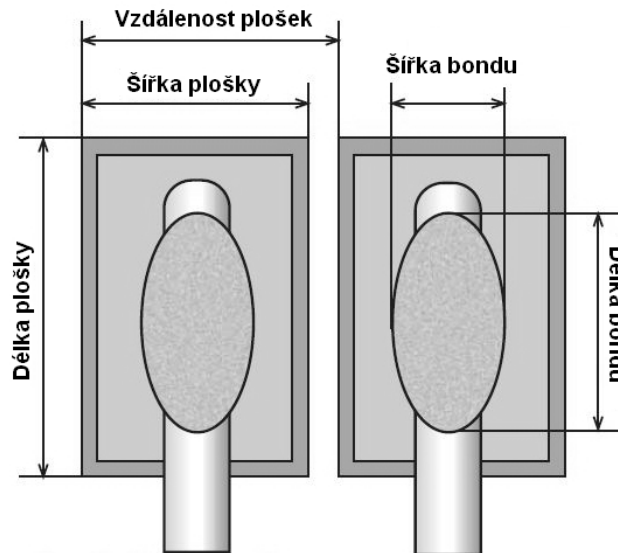


Obr. 4.4.2 Ukázka rozdílu při hloubkovém bondování ( vpravo) [30].

Pro tento typ bondování musí být uzpůsobena i konstrukce hrotu nástroje. Je jinak tvarovaný hrot pro odtržení mikrodrátku a jeho další vedení k následujícímu bondu. Přetržení mikrodrátku při tomto způsobu je řešeno pohybem podložky s ploškou - přetržení pohybem stolu. V anglickém orginálu *Table - Tear*.

#### 4.5 Základní geometrické tvary klínových nástrojů

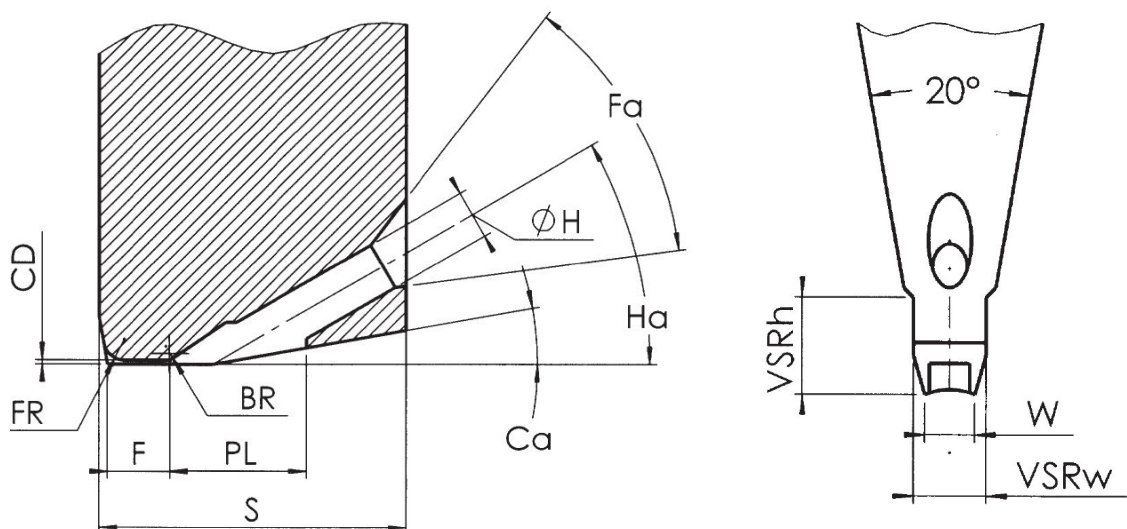
Předtím než začneme rozebírat geometrické rozměry nástrojů, seznámíme se s rozměry samotného bondu a bondovací plošky.



Obr. 4.5.1 Základní rozměry bondu [17].

Délka bondu se řídí průměrem mikrodrátku a velikostí bondovací plošky. Typická délka bondu (BL) je 1,5 až 2,5 krát průměru mikrodrátku [22].

Geometrické rozměry samotného klínového bondovacího nástroje jsou na obrázku 4.5.2. Každý z rozměrů klínových nástrojů hraje specifickou úlohu v procesu bondování. Slučitelnost parametrů klínových nástrojů s aplikačními požadavky definuje kvalitu provedení bondování.



Obr. 4.5.2 Geometrické rozměry klínových bondovacích nástrojů. [17]

Tabulka 5.1 Význam jednotlivých parametrů klínových bondovacích nástrojů [17].

P.č.	Název	Zkratka	Anglický název
1	Délka hrotu nástroje (značená i písmenem „T“)	S	<i>Throat Size</i>
2	Šířka hrotu nástroje	W	<i>Width Size</i>
3	Průměr otvoru pro drátek	H	<i>Hole Diameter</i>
4	Délka bondu	BL	<i>Bond Length</i>
5	Přední poloměr	FR	<i>Front Radius</i>
6	Zadní poloměr	BR	<i>Back Radius</i>
7	Délka kontaktní části nástroje	F	<i>Wedge Foot</i>
8	Úhel otvoru	Ha	<i>Hole Angel</i>
9	Úhel pro vstup drátku	Fa	<i>Funnel Angel</i>
10	Úhel spodní hrany	Ca	<i>Clearance Angle</i>
11	Hloubka zaoblení hrotu	CD	<i>Concave Depth</i>
12	Délka spodního otvoru	PL	<i>Pocket Length</i>
13	Výška čelního profilu	VSRh	<i>Vertical Side - Height</i>
14	Šířka čelního profilu	VSRw	<i>Vertical Side - Width</i>

## 4.6 Faktory ovlivňující výběr klínových nástrojů

### A) Vzdálenost plošek

Je definovaná jako vzdálenost mezi dvěma sousedními kontaktními ploškami pro bondování. Bývá označována zkratkou (BPP), která je odvozená z anglického originálu *Bond Path Pitch* [17].

### B) Rozměry prvního bondu

Šířka a délka bondu je odvozená z velikosti kontaktní plošky a průměru mikrodrátku. V zásadě se vyžaduje celý bond na kontaktní plošce. Rozměry bondu musí být zvažovány vzhledem k cílům bondování [17].

### C) Průměr mikrodrátku

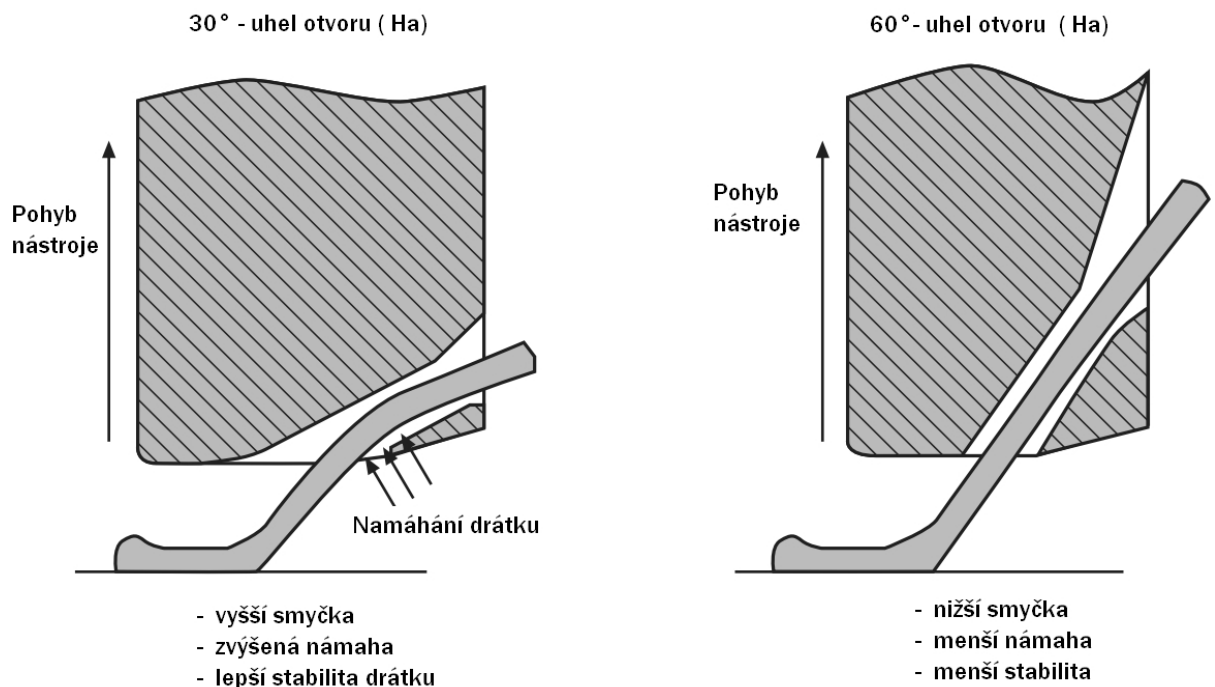
Průměr mikrodrátku úzce souvisí s rozměry prvního bondu. Od jeho velikosti také závisí průměr otvoru pro drátek (H). Obecně, větší průměr mikrodrátku je vhodnější v důsledku větší pevnosti a lepší odolnosti v ohybu během vytváření smyčky. Nicméně je

potřebná rovnováha mezi otvorem v nástroji a průměrem mikrodrátku. Musí být dodržena kritická mezera mezi mikrodrátkem a nástrojem z důvodu volného, nenamáhaného pohybu mikrodrátku uvnitř otvoru nástroje. Dodržení této kritické mezery je zásadní pro úspěšné bondování, protože na jedné straně eliminuje případy „houpaní“ mikrodrátku a na druhé straně jeho tření o hrany otvoru [17].

#### D) Tvarování smyčky mikrodrátku

Různé způsoby bondování a přístrojové uspořádání vyžadují odlišný profil smyčky, její různou výšku a délku. Výšku smyčky určuje úhel otvoru ( $H_a$ ). Používají se úhly  $30^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ . Pro vytvoření smyčky jsou podstatné vnitřní rozměry klínového nástroje, kam patří tvar otvoru (kulatý, oválný), průměr otvoru ( $H$ ), délka spodního otvoru ( $PL$ ) [17].

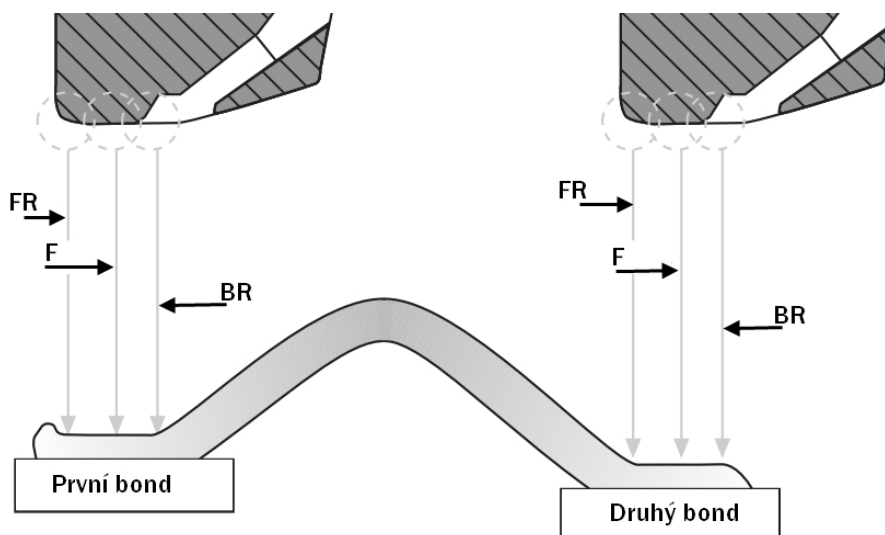
Kulatý otvor dostatečně zabezpečuje kontrolu délky krčku pro většinu aplikací. Oválný otvor je vhodný pro náročnější aplikace, jako například bondování s malým rozestupem, při kterém umožňuje lepší kontrolu umístění bondu na podložku a zmenšuje namáhání mikrodrátku. Vnitřní tvar otvoru společně s kvalitou povrchu nástroje jsou klíčové faktory pro hladký pohyb mikrodrátku v nástroji, avšak na druhé straně jsou náročnější na výrobu a tím i na cenu [17].



Obr. 4.6.1 Vliv úhlu otvoru ( $H_a$ ) na tvarování smyčky mikrodrátku [17].

### E) Tvarování prvního a druhého bondu

Pro tvarování prvního a druhého bondu jsou důležité parametry nástroje, které se podílejí na přitlačení mikrodrátku k plošce. Jde o přední poloměr (FR), zadní poloměr (BR), délka plošky (F), příčná drážka (CG).



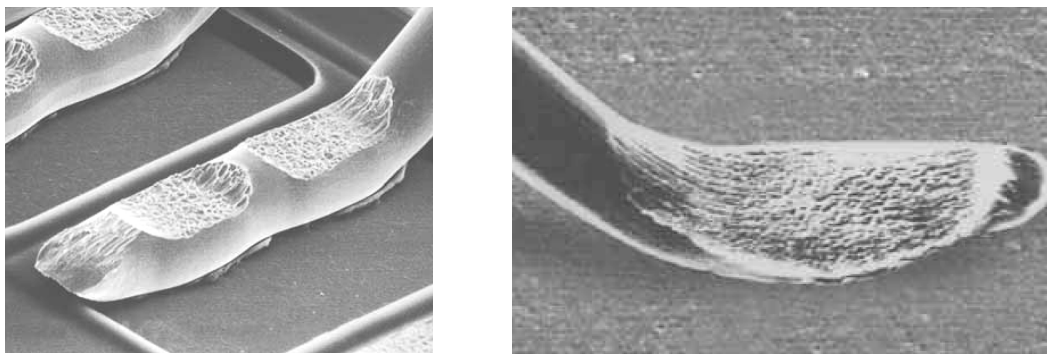
Obr. 4.6.2 Tvarování prvního a druhého bondu [18].

#### První bond

Pro první bond je důležité :

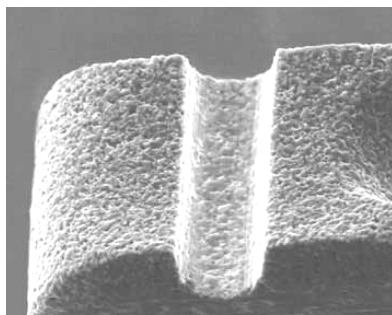
- přesné umístění na kontaktní podložce,
- kvalita přední části mikrodrátku,
- přimáčknutí a bondovací energie ( síla a ultrazvuk).

Mikrodrátek je po přimáčknutí mírně deformován, vytváří se první bond mikrodrátku. Tvar prvního bondu závisí na délce kontaktní části nástroje (F), předního a zadního poloměru (FR) a (BR) a přenesené ultrazvukové energii [18].

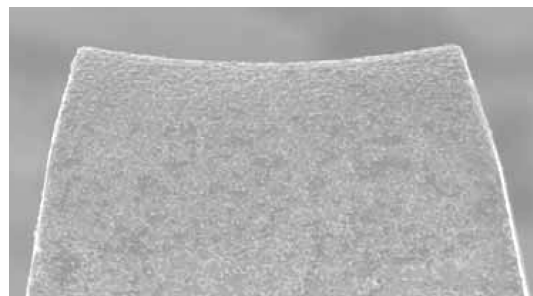


Obr. 4.6.3 Ukázky prvního bondu [19], (vlevo s příčnou drážkou) [20].





Příčná drážka.



Zaoblený tvar

Obr. 4.6.4 Ukázky hrotu bondovacího nástroje [19].

Pro kvalitnější první bond může být bondovací nástroj opatřen plochým nebo zaobleným tvarem hrotu, také na hrotu může být příčná drážka a navíc může mít povrch nástroje různou povrchovou úpravu. Zaoblený tvar hrotu (s CD parametrem) je vhodný k aplikacím s hliníkovým drátkem. Plochý tvar hrotu se nejvíce používá k bondování zlatým drátkem pro malé kontaktní plošky. Příčná drážka je vhodná pro bondování zlatým mikrodrátkem v aplikacích kde je potřeba zlepšit přítlak mikrodrátku k podložce [19].

Pro první bond je pevnost bondu v tahu ovlivněná zadním poloměrem (BR). Když je přechodní část otlačku zadního poloměru příliš ostrá, bond se oslabí a při táhnutí mikrodrátku se může přerušit. Pro zesílení kritické oblasti bondu je nutné velmi pečlivě posuzovat a vybírat právě zadní poloměr (BR) [18].

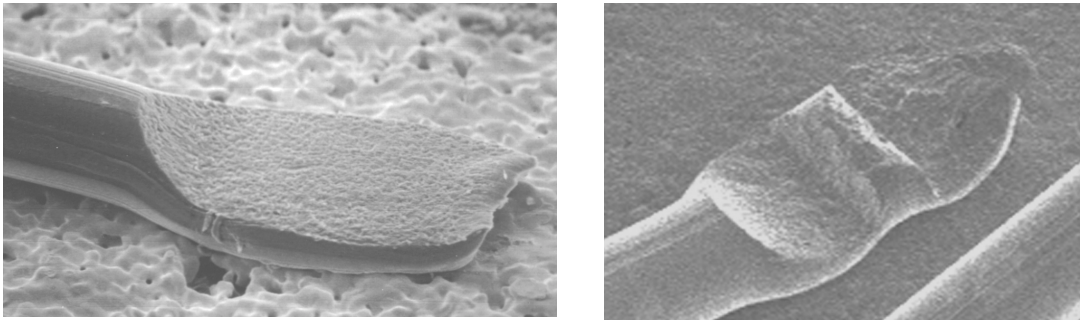
Průměr otvoru (H) ovlivňuje umístění prvního bondu. Čím těsnější je otvor, tím je lepší umístění prvního bondu na plošku. Na druhé straně příliš malý otvor může způsobit oslabení krčku mikrodrátku při odtržení a tím zhoršit jeho kvalitu.

Kvalita krčku pro první bond je do značné míry ovlivněna vstupem mikrodrátku do nástroje. Zejména úhlem vstupu, tvarem otvoru a kvalitou povrchové úpravy bondovacího nástroje. [18]

### Druhý bond

V porovnání s prvním bondem si přední poloměr (FR) a zadní poloměr (BR) vymění své funkce. Přední poloměr a délka bondu ovlivňují hlavně pevnost druhého bondu. V tomto okamžiku zadní poloměr ovlivňuje hlavně kvalitu krčku a namáhání v bodě mikrodrátku, kde musí dojít k jeho přetržení [18].

Obvykle se druhé bondy provádějí na kontaktních ploškách, které jsou v mnoha případech méně ohraničené prostorově (jsou větší) a proto není důležité tak přesné umístění druhého bondu [18].



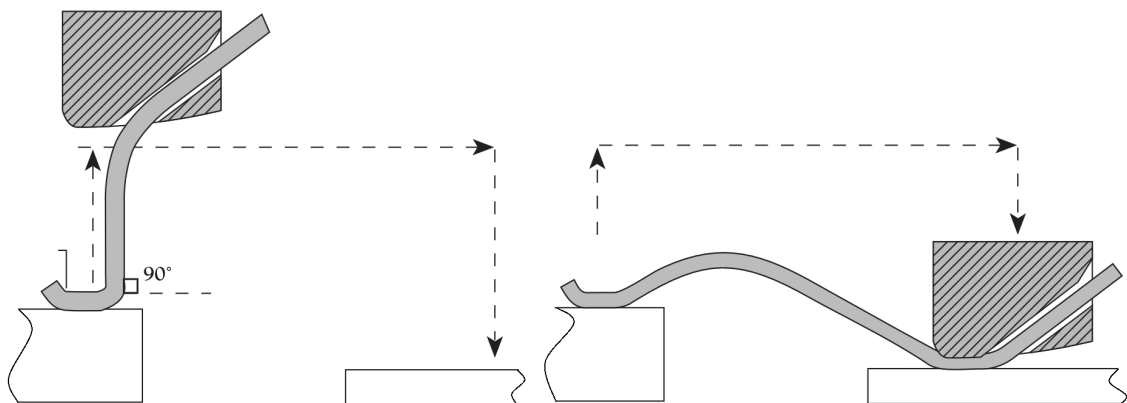
Obr. 4.6.5 Ukázky druhého bondu [22].

#### F) Trhliny v ohybu prvního bondu u hliníkového mikrodrátku

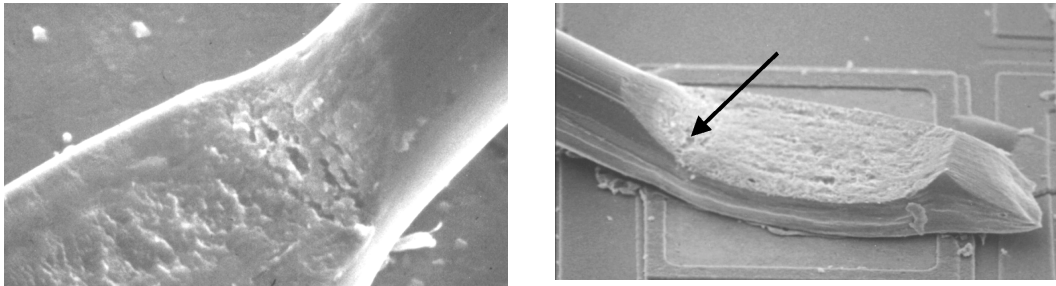
Trhliny bondovaného hliníkového mikrodrátku jsou považované za základní problém. Jsou častější pro malé úhly vstupu mikrodrátku (kolem  $30^\circ$ ). Jsou důsledkem namáhání mikrodrátku na ohyb během tvarování bondovací smyčky. Při vytváření smyčky se klínový nástroj pohybuje po čtvercové nebo trojúhelníkové dráze.

Počáteční úhel mikrodrátku je  $30^\circ$ , pak se zvětší na  $90^\circ$  a pak opět na hodnotu kolem  $30^\circ$  po vytvoření druhého bondu. Tento pohyb způsobuje ohyb mikrodrátku. Při pohybu se vytváří v místě kontaktu hrotu nástroje s mikrodrátkem napětí způsobující trhliny ve struktuře materiálu [19].

Vznik trhlin při pravouhlém ohýbání drátku podstatně eliminuje spojení konkávního tvaru hrotu nástroje s úhlem zadního poloměru nástroje (BR). Tato konstrukční úprava umožňuje zesílení oblasti ohybu bondu a tím eliminuje vznik trhlin v materiálu mikrodrátku.



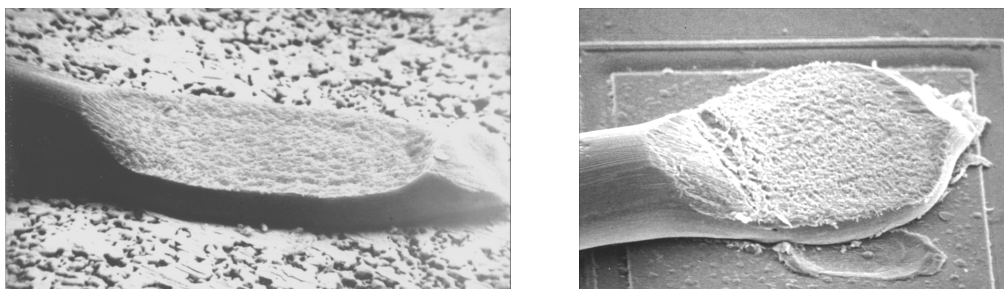
Obr. 4.6.6 Ukázky ohybu mikrodrátku [19].



Obr. 4.6.7 Ukázky trhlin mikrodrátku [19].

Mikrodrátek po přetržení má mít potřebnou délku aby se vytvaroval správně velký první bond. V případě že mikrodrátek je příliš dlouhý, může přesahovat přes plošku a vytvářet nebezpečí zkratu. V případě, že je krátký, způsobuje nerovnoměrné rozdělení přitlačné síly a poškození prvního bondu; tzv. roztrísnění bondu. V anglické literatuře označované *Smash*. Takový bond je oslabený a v místě ohybu často dochází ke vzniku prasklin [22].

Velký vliv na velikost mikrodrátku po odtržení má zadní poloměr (BR). Stanovení jeho správné velikosti závisí i na způsobu přetržení mikrodrátku [22].



Obr. 4.6.8 Porovnání vzhledu prvního bondu při krátkém mikrodrátku ( vpravo) [22].

### G) Způsob přetržení mikrodrátku

Poznáme dva zásadně odlišné způsoby přetržení mikrodrátku:

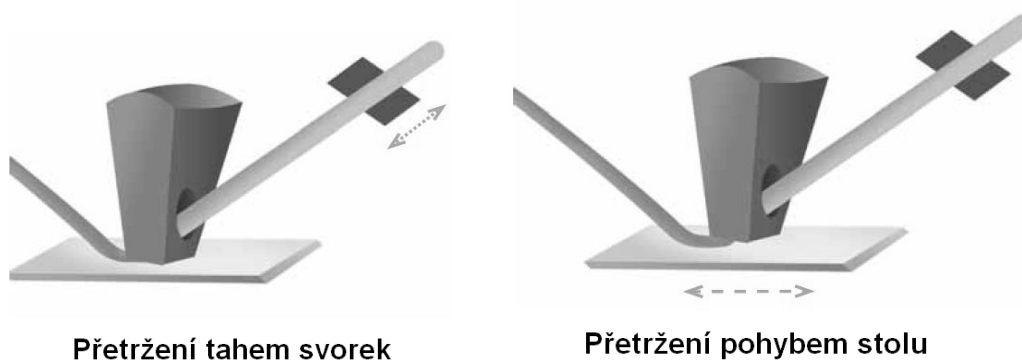
- přetržení tahem svorek,
- přetržení pohybem stolu.

#### Přetržení tahem svorek.

V anglické literatuře se označuje *Clamp Tear*. Používá se v případě že kolem bondovacího nástroje je dostatek místa pro pohyb uchycovacích svorek v ose mikrodrátku. Bondovací nástroj je přitlačen na mikrodrátek. Speciální svorky uchopí mikrodrátek a pohybem v ose mikrodrátku dojde k přetržení [23].

### Přetržení pohybem stolu

V anglické literatuře se označuje *Table Tear*. Používá se při bondování nástrojem pro hloubkové bondování. Konstrukce nástroje je uzpůsobená ke kolmému přístupu mikrodrátku k bondovací plošce z důvodu nedostatku místa kolem nástroje. Kdyby se mikrodrátek přerušoval tahem svorek, nejdříve by se musel narovnat a pak natáhnout. Tento pohyb by však způsobil nepravidelné natažení a přerušování mikrodrátku. Proto se při tomto způsobu používá pohyb stolu [23].



Obr. 4.6.9 Ukázka způsobu přetržení mikrodrátku [21].

Mikrodrátek je jenom uchycen svorkami a k přetržení dochází prostřednictvím pohybu stolu. Na mikrodrátku bývají zřetelné stopy; kde se dotkne těla nástroje, vzniká rýha. V anglické literatuře označovaná *Nick*.

Přetržení mikrodrátku tahem svorek je výhodnější co do namáhání bondu. Bond není přetížený ( nadzvedávaný ) a nevzniká na mikrodrátku rýha. Při přetržení pohybem stolu mikrodrátek musí být uvolněn ze strany nástroje, aby došlo k pohybu nástroje vůči bondu. Největší nevýhodou přetržení tahem svorek je, že mechanismus svorek může zasahovat do okolních prostor bondování, ve kterém se mohou vyskytovat okraje zařízení [23].

#### 4.7 Materiály a povrchová úprava klínových nástrojů

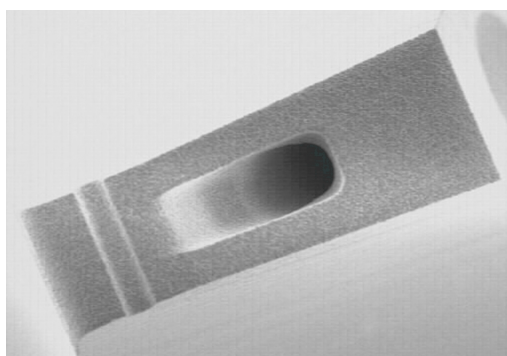
Materiál mikrodrátku určuje, z jakého materiálu je bondovací nástroj. Také je ním ovlivněn tvar a povrchová úprava hrotu nástroje. Jednotliví výrobci používají své vlastní způsoby zpracování samotných materiálů. Všeobecně se používají dva základní materiály:

- karbid wolframu (WC),
- karbid titanu (TiC).

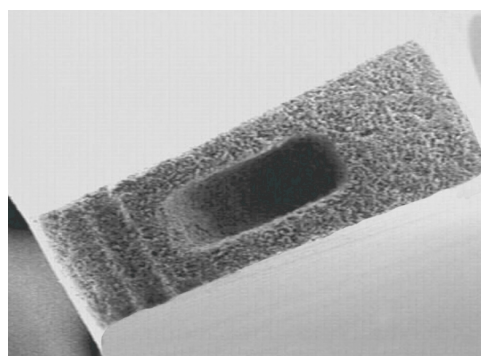
Karbid wolframu kombinovaný s konkávním tvarem hrotu nástroje je považován za průmyslový standart pro hliníkový mikrodrátek [31].

Karbid titanu s plochým hrotem se používá pro zlatý mikrodrátek. Hrot nástroje může být doplněn příčnou drážkou „CG“ [31].

Oba materiály se vyznačují velmi dobrou schopností přenášet ultrazvukovou energii. Mají vysokou hustotu materiálu a jemnou strukturu zrn.



Karbid Wolframu



Cermet

Obr. 4.7.1 Ukázka materiálu pro klínové nástroje [31].

Vývoj v oblasti používaných materiálů se v poslední době posunul dále. Novějším materiálem který se používá pro nástroje je cermet.

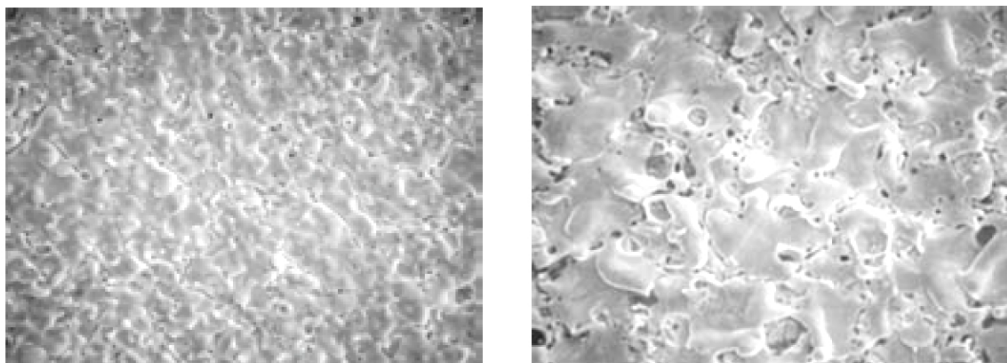
Cermet je vhodný pro bondování zlatého mikrodrátku při nižších teplotách. Jde o speciální spojení keramického a kovového práškového materiálu formou spékání do pevného tvaru klínového nástroje, který vykazuje velmi hrubou a drsnou povrchovou úpravu. Hrubý povrch zajišťuje mechanické propojení s mikrodrátkem a efektivně přenáší nastavenou ultrazvukovou energii z reduktoru výkonu [31].

Příčná drážka (CG) klínového nástroje také hraje významnou úlohu v mechanickém propojení pro zabezpečení přenosu ultrazvukové energie mezi nástrojem a mikrodrátkem. Když je mikrodrátek vtlačován do příčné drážky, zlepšuje se mechanické propojení mezi

nástrojem a mikrodrátkem v průběhu bondování a tím se také zlepšuje přenos ultrazvukové energie do bondovaného kontaktu. Délka bondu má být přinejmenším 38  $\mu\text{m}$  k zabezpečení dostatečného prostoru pro příčnou drážku. Příčná drážka v kombinaci s cermetovým materiálem prokázala vysokou účinnost hlavně při bondování zlatého mikrodrátku [31].

Společnost Gaiser představila navíc k zlatě zbarvenému cermetovému materiálu (CER) i materiál označovaný jako černý cermet (BKCER). Černý cermet vykazuje zlepšenou rozměrovou stálost a hladší otvor pro mikrodrátek. Hladší otvor pomáhá omezit poškrábání a tím umožňuje využít menšího rozměru otvoru. Nedochozí však ke zhoršení kvality hrubosti a drsnosti povrchu v prostou hrotu bondovacího nástroje. Ve srovnání se standartním zlatým cermetem černý cermet vykazuje zlepšení tahové síly pro materiál. A navíc vizuální kontrast černého cermetu vůči zlatému napomáhá operátorům k zlepšení činnosti při nastavování a při kontrole bondování [31]....

Společnost SPT používá jako novější materiál speciální karamický materiál *Microloy*. *Microloy* je vyroben ze speciální keramiky a osmia (Os). Jde o materiál, který se vyznačuje vysokou hustotou, tvrdostí a tvárností, odolností vůči opotřebení, jemnou strukturou zrn a malou pórovitostí [15].



Obr. 4.7.2 Ukázka povrchové úpravy Microloy [15].

Pro klínové bondování materiál *Microloy* umožňuje plynule zatěžovat mikrodrátek při tvarování smyčky. Svou strukturou umožňuje optimalizovat parametry bondování jako použitou energii, tlak a dobu působení. Umožňuje optimalizovat deformaci bondu, jeho vlastnosti jsou schopny nahradit příčnu drážku a také prodlužuje životnost nástroje [15].

## 5 Bondovací nástroje pro bondovací stanici K&S 4700

Manuální bondovací stanice KULICKE & SOFFA 4700 umožňuje provádět kuličkové a klínové bondování v rámci jednoho zařízení. Je konstruována tak, aby mohly být oba způsoby jednoduše nastavovány.

Na této bondovací stanici můžeme používat [32]:

zlatý mikrodrátek	od průměru	17 $\mu\text{m}$ do 75 $\mu\text{m}$ ,
hliníkový mikrodrátek	od průměru	20 $\mu\text{m}$ do 75 $\mu\text{m}$ ,
zlatý pásek	až do rozměru	25x250 $\mu\text{m}$ .

Umožňuje použít tři druhy délek kapilár pro kuličkové bondování, a to 9,52 mm, 11,10 mm a 15,87 mm. Pro klínové bondování je doporučena délka nástroje 19,05 mm. Bondovací stanice je předurčena pro hloubkové bondování s vertikálním přístupem mikrodrátku k nástroji [32].

Materiál plošek může být různorodý, avšak po provedení pevných propojení se doporučuje použít stejný materiál jako u mikrodrátku, z důvodu odstranění problému se slučitelností materiálů.

V základních datech o bondovací stanici jsou stanoveny možnosti provádění bondování. Bondovací nástroje se vybírají z katalogů na základě rozměru bondovacích plošek, jejich rozteči a potřebné velikosti kontaktní plochy mezi mikrodrátkem a bondovací ploškou [16].

Tato bondovací stanice umožňuje provádět bondování v širokém rozsahu parametrů. Celkový přehled vhodných nástrojů by byl v rozsahu této práce nemožný. Všichni velcí výrobci bondovacích nástrojů nabízí ve svých katalozích nástroje, které jsou vhodné pro tuto bondovací stanici. Výběr dodavatele nástrojů závisí na dodavatelských vztazích a smlouvách, které jsou uzavřené s nákupem bondovací stanice. V rámci možného přístupu k dodavatelům se elektrotechnická fakulta ZČU rozhodla využívat služby společnosti Kulicke & Soffa. Proto se zaměřím na tuto společnost a vyberu několik představitelů.

### 5.1 Kapiláry pro bondování na kuličku

Bondovací nástroje jsou seřazeny v katalogu a rozděleny na skupiny. Skupiny nástrojů jsou vytvořeny na základě vzdálenosti bondovacích plošek. Je vytvořeno 11 skupin nástrojů. Tyto skupiny jsou dále děleny na základě rozměrových parametrů na další jemnější části. Základem pro další dělení je požadovaný průměr prvního bondu. Průměr prvního bondu

představuje průměr rozmáčklé kuličky mikrodrátku přitlačené k ploše. Velikost průměru bondu závisí na velikosti kuličky mikrodrátku, rozměrech hrotu nástroje a dalších podmínkách bondování [16].

Výběr ukázkových nástrojů je volen v rámci požadavků elektrotechnické fakulty ZČU. Největší důraz při výběru byl kladen na co nejpevnější a nejstabilnější propojení mikrodrátku s bondovací ploškou. Průměr prvního bondu je největší pro daný průměr mikrodrátku. Tento požadavek ovlivňuje maximální hodnotu parametru „ Měřený průměr zmáčklé kuličky (CD) “. Pro ukázkou jsou vybrány nástroje ze skupin označených písmenným kódem LW a STD. Konkrétní ceny poskytla společnost PBT Rožnov p.R., s.r.o. Ceny nástrojů jsou uvedeny v dolarech pro 10 kusů.

Tabulka č. 5. 1. Základní rozměry vybraných nástrojů [16]:

Označení nástroje	Skupina nástrojů	Průměr drátku	Velikost bondu	Průměr otvoru	Průměr hrotu	Cena 10 ks nástrojů
4 1 4 L 8 - D2 20 - R 3 4	LW	51 $\mu\text{m}$	135-145 $\mu\text{m}$	76 $\mu\text{m}$	381 $\mu\text{m}$	380 USD
4 1 4 L 8 - F2 30 - R 3 4	LW	76 $\mu\text{m}$	180-193 $\mu\text{m}$	107 $\mu\text{m}$	508 $\mu\text{m}$	380 USD
4 1 4 1 8 - D2 10 - R 3 4	STD	25-28 $\mu\text{m}$	84-107 $\mu\text{m}$	38 $\mu\text{m}$	165 $\mu\text{m}$	380 USD

Význam jednotlivých parametrů je detailně rozpracován v katalogu.

V Příloze D je tabulka skupin nástrojů, která ukazuje, jak jsou tvořené jednotlivé skupiny nástrojů na základě vzdálenosti bondovaných plošek. V katalogu jsou vysvětleny všechny parametry ovlivňující bondování. Výběr jednotlivých rozměrových detailů není možný v rozsahu této práce naznačit pro obrovské množství kombinací jednotlivých parametrů [16].

## 5.2 Nástroje pro klínové bondování

Bondovací stanice umožňuje používat jak zlatý, tak hliníkový mikrodrátek pro klínové bondování [32]. Materiál bondovacího nástroje závisí na materiálu mikrodrátku. Pro hliníkový mikrodrátek se používá karbid wolframu, pro zlatý mikrodrátek karbid titanu.

Klínové bondování je velmi rozmanité, co do jednotlivých druhů nástrojů. Používá se tam, kde není možné použít kuličkové bondování, popřípadě kde u něho vychází nižší



pořizovací a provozní náklady. V Příloze F je obrázek, který ukazuje na rozmanitost jednotlivých parametrů pro klínové nástroje.

Nástroje jsou rozděleny do skupin, které se odlišují co do svého určení. Některé skupiny nástrojů jsou určeny pro manuální bondovací stanice a proto výběr představitelů nástrojů je směřován na tyto skupiny.

V tabulce č. 5.2. je seznam vybraných nástrojů i s cenou konkrétního nástroje. Ceny poskytla společnost PBT Rožnov p.R., s.r.o. a jsou vztaženy na 5 kusů nástrojů. Jde o kompromis, který umožňuje optimalizovat cenu nástrojů a množství, pro které je výrobcem ekonomicky možné danou sadu nástrojů vyrábět. Ceny jsou uvedené v dolarech. Přepočet na koruny závisí na aktuálním kurzu dolaru ke koruně.

Tabulka č. 5. 2. Vybrané klínové bondovací nástroje ze základními rozměry.

Označení nástroje	Materiál drátku	Průměr drátku	Průměr otvoru	Délka bondu	Úprava hrotu	Cena 5 ks nástrojů
4WC F 4 - 25 25 - T 5 G - F 0 0	Zlato	30-38 $\mu\text{m}$	63,5 $\mu\text{m}$	63,5 $\mu\text{m}$	Lesklý drážka	693 USD
4WD F 4 - 15 20 - T 5 G - R 0 0	Zlato	18-20 $\mu\text{m}$	38,1 $\mu\text{m}$	50,8 $\mu\text{m}$	Lesklý drážka	693 USD
4WD H 4 - 30 35 - W 5 C - M 0 0	Hliník	38-46 $\mu\text{m}$	72,6 $\mu\text{m}$	88,9 $\mu\text{m}$	Matný konkáva	693 USD
4WV E 4 - 15 15 - C 5 D - F 0 0	Zlato	18-20 $\mu\text{m}$	38,1 $\mu\text{m}$	38,1 $\mu\text{m}$	Lesklý drážka	693 USD
4WV G 4 - 25 30 - W 5 C - B 0 0	Hliník	30-38 $\mu\text{m}$	63,5 $\mu\text{m}$	72,6 $\mu\text{m}$	Lesklý konkáva	693 USD
4WR G 4 - B1 25 - T 5 F - M 0 0	Zlato	13x76,2 $\mu\text{m}$		63,5 $\mu\text{m}$	Lesklý drážka	738 USD
4WR F 4 - G2 40 -T 5 G - F 0 0	Zlato	25x203,2 $\mu\text{m}$		101,6 $\mu\text{m}$	Matný plochý	738 USD

### Skupina nástrojů 4WC

Je určena pro speciální aplikace COB (čip na substrátu). Tento typ bondovacích nástrojů má kulatý otvor. Úhel otvoru bývá 30 °, 38 ° a 45 °, nástroj má náklon 10 ° pro spodní ústí nástroje. Tento tvar je vhodný pro většinu automatických a manuálních bondovacích zařízení [33]. Skupinu 4WC v rámci dělení nástrojů můžeme zařadit k univerzálním nástrojům ze skupiny standartních nástrojů.

**Skupina nástrojů 4WD**

Tyto modely nástrojů jsou vhodné pro aplikace, ve kterých jsou prostory pro bondování omezené blízkostí nebo výškou okrajové stěny. V těchto případech mikrodrátek vstupuje k nástroji svisle [34]. Bondovací stanice K&S 4700 je určena především pro tento způsob klínového bondování [32].

Tato skupina klínových nástrojů je vhodná pro metodu, která zabezpečuje přetržení bondovacího mikrodrátku pohybem stolu. Také pro tento typ nástrojů je možno využít široký výběr parametrů (příčná drážka pro zlatý mikrodrátek, varianty povrchové úpravy atd.) [34]. Skupinu 4WD v rámci dělení nástrojů můžeme zařadit k univerzálním nástrojům ze skupiny standartních nástrojů.

**Skupina nástrojů 4WV**

Nástroje označeny 4WV jsou navrhované také pro hloubkové aplikace. Na rozdíl od předcházející skupiny má spodní tvar nástroje vzhled tzv. záseku, který redukuje sílu tahu působící na mikrodrátek, stejně tak poskytuje zmenšení napětí uvnitř mikrodrátku. Je to kvůli velkému úhlu otvoru a vertikálnímu vstupu mikrodrátku k nástroji. Jinak jsou tyto nástroje obdobné jako předcházející typ 4WD [35]. Skupinu 4WV v rámci dělení nástrojů můžeme zařadit k nástrojům pro manuální bondovací stanice skupiny standartních nástrojů.

**Nástroje pro páskové bondování**

Jsou označeny písmennou kombinací 4WR. Používají pro bondování mikrodrátek ve tvaru pásky. Všeobecně jsou pro modely 4WR vhodné pásky, jejichž tloušťka je v rozsahu od 13  $\mu\text{m}$  až 51  $\mu\text{m}$  [36].

Bondovací stanice KaS 4700 je schopna provádět bondování s páskem o rozměrech ( tloušťka x šířka ) do 25x250  $\mu\text{m}$ . Bondovací pásky se vyrábí se stanovenými tloušťkami, pro K&S 4700 jsou vhodné tloušťky 13  $\mu\text{m}$  a 25  $\mu\text{m}$ .

Šířky pásků můžeme vybírat z řady 25,4  $\mu\text{m}$ ; 50,8  $\mu\text{m}$ ; 76,2  $\mu\text{m}$ ; 101,6  $\mu\text{m}$ ... až 254  $\mu\text{m}$  [36].

## Závěr

Výběr bondovacího nástroje je součástí celého bondovacího procesu, který je náročný na znalost problematiky. Výběr nástroje není samostatnou částí, ale je součástí celkového pohledu na problematiku.

Důsledné vyhodnocení účelu bondování, použitých zařízení a sledování jednotlivých aspektů nás navede k výběru bondovacího nástroje. I když se důsledně věnujeme přípravě bondování, nemusí se nám podařit bez zpětné vazby vybrat nejvhodnější nástroj. Musíme počítat s optimalizací a hledáním nejlepších podmínek pro provedení bondování. Na tomto stupni rozhodování se však již pohybujeme ve značně omezené oblasti nabízených možností pro optimalizaci. Pro výběr nástroje je velmi důležitá příprava celého procesu bondování a možnost ověřování kvality propojení.

Na elektrotechnické fakultě ZČU se bude bondovací stanice K&S 4700 používat v prototypové výrobě k propojování elektronických objektů v laboratorních podmínkách a pro účely výzkumných a vývojových prací. Velký důraz je kladen na kvalitu provedení bondování. Je žádoucí určit bondovací nástroje tak, aby prováděly co nejkvalitnější bondy. Specifikem možností univerzity je možnost volit neoptimálnější materiálové parametry bondovacích plošek, popřípadě je nastavovat tak, aby vyhovovaly bondovacím nástrojům.

Cílem této práce je usnadnit výběr bondovacího nástroje. Ukázat, na čem závisí provedení kvalitního bondování. Vysvětlení aspektů bondování se věnuje první část práce. Po seznámení se s touto částí je čtenář schopen se zaměřit na důležité aspekty bondování. Práce nedává konkrétní návody, ale ukazuje, čemu se věnovat při přípravě bondovacího procesu.

Další oblastí, které se práce věnuje, je popsání skupin nástrojů pro bondování a ukázání možností, které tato technologie obsahuje. Tato oblast je zpracována napříč výrobci nástrojů. Zjednodušuje pohled na problematiku oproti údajům v katalogích. Je zpracována jednoduše a přehledně, s účelem vytvoření základní představy o nástrojích pro bondování.

Velká část práce je věnována jednotlivým rozměrům bondovacího nástroje. Vysvětluje jejich význam a vliv na provedení bondování. Po seznámení se s touto částí jsme schopni si udělat představu o tom, co způsobuje chyby při bondování, jak je můžeme ovlivnit a hledat způsoby optimalizace.

Poslední část se věnuje výběru konkrétních nástrojů pro K&S 4700. Zaměřuje se na výrobky, které jsou nejvhodnější pro danou bondovací stanici. Ukazuje, jak je možno se orientovat v katalogích. Vybírá konkrétní nástroje a ukazuje jejich parametry. Tato část byla

zpracována jako ukázka vhodných skupin nástrojů. Není zaměřená na konkrétní úkol bondování, na jejím základě se ale můžeme snadněji orientovat při výběru vhodného nástroje pro danou aplikaci.

Tato práce splňuje cíl, s kterým jsem ji začal psát, a tím byla orientace při výběru vhodného nástroje pro bondování. Popisuje problematiku bondovacích nástrojů. Ukazuje jejich tvar, jednotlivé rozměry a vysvětluje jejich důležitost. Pomáhá orientovat se při výběru nástrojů v katalozích a dává návody, jak vybírat konkrétní nástroje. Myslím si, že může přispět ke snadnější orientaci v problematice bondovacích nástrojů.

## Použitá literatura

- [1] Zonghe Lai, Johan Liu. *Wire Bonding*. In. The Nordic Electronics Packaging Guideline.  
[online]. Molndal. Aktualizace 2000-09-07. [cit. 2012-02-21]. Dostupné z:  
<http://extra.ivf.se/ngl/A-WireBonding/ChapterA1.htm#A1.1>.
- [2] Hybond Inc. *About Wire Bonding*. Home of the Soft Touch.  
[online]. Escondido, CA, U.S.A. 92029. © 2012. [cit. 2012-02-21]. Dostupné z:  
<http://www.hybond.com/pages/wirebond-about.php>.
- [3] Chris Otter. *Wirebonding in microelectronics*. TWI Knowledge Summary.  
[online]. Cambridge © 2003. Aktualizace 2005. [cit. 2012-02-23]. Dostupné z:  
<http://www.twi.co.uk/services/technical-information/job-knowledge>  
( materiál byl ze stránek stáhnut v březnu 2012).
- [4] Kulicke & Soffa. *A Vision Realized*.  
[online]. Singapore. © 2011. [cit. 2012-02-23]. Dostupné z:  
<http://www.kns.com/pages/History.aspx>
- [5] Gaiser Precision Bonding Tools. *History*. Inventors of the Ceramic Capillary.  
[online]. Ventura. © 2009. [cit. 2012-02-23]. Dostupné z:  
[http://www.gaisertool.com/about\\_history.php?menu=about](http://www.gaisertool.com/about_history.php?menu=about)
- [6] SPT Small Precision Tools. *History & Milestones*. Chip Bonding Tools, Fine Ceramic & Machining Parts [online]. [cit. 2012-02-24]. Dostupné z:  
<http://www.smallprecisiontools.com/about-spt/history-milestones/?oid=668&lang=en>
- [7] DeWeyl Tool Company Inc. *About DeWeyl Tool*. Manufacturer of high quality bonding wedges for the microelectronic industry.  
[online]. Petaluma, (Northern California). © 2010. [cit. 2012-02-24]. Dostupné z:  
<http://www.deweyl.com/company.php>
- [8] SPT Small Precision Tools. *Bonding Capillaries*. Capillary Design Rules.  
[online]. s. 12-14. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z:  
<http://www.smallprecisiontools.com/file/products/bonding/allcatalogues/Bonding%20Capillaries%20-%20Catalogue%20-%20English.pdf>
- [9] SPT Small Precision Tools. *Bonding Capillaries*. Ball bond.  
[online]. s. 15. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z:  
<http://www.smallprecisiontools.com/file/products/bonding/allcatalogues/Bonding%20Capillaries%20-%20Catalogue%20-%20English.pdf>
- [10] SPT Small Precision Tools. *Bonding Capillaries*. Stitch bond.  
[online]. s. 19,21. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z:  
<http://www.smallprecisiontools.com/file/products/bonding/allcatalogues/Bonding%20Capillaries%20-%20Catalogue%20-%20English.pdf>

- [11] SPT Small Precision Tools. *Bonding Capillaries*. Capillary materiál. [online]. s. 22,23. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.smallprecisiontools.com/file/products/bonding/allcatalogues/Bonding%20Capillaries%20-%20Catalogue%20-%20English.pdf>
- [12] SPT Small Precision Tools. FP Series – Fine Pitch Bonding Tool. Chip Bonding Tools, Fine Ceramic & Machining Parts. [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: [http://www.smallprecisiontools.com/File/products/bonding/wedges/details/FP\\_Series%20-%20Available%20Sizes%20and%20How%20to%20Order%20-%20English.pdf](http://www.smallprecisiontools.com/File/products/bonding/wedges/details/FP_Series%20-%20Available%20Sizes%20and%20How%20to%20Order%20-%20English.pdf)
- [13] SPT Small Precision Tools. *ABT Series – Autobonding Tool*. Chip Bonding Tools, Fine Ceramic & Machining Parts. [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: [http://www.smallprecisiontools.com/File/products/bonding/wedges/details/ABT\\_Series%20-%20Available%20Sizes%20and%20How%20to%20Order%20-%20English.pdf](http://www.smallprecisiontools.com/File/products/bonding/wedges/details/ABT_Series%20-%20Available%20Sizes%20and%20How%20to%20Order%20-%20English.pdf)
- [14] SPT Small Precision Tools. *M Series – Microwave Bonding Tools*. Chip Bonding Tools, Fine Ceramic & Machining Parts. [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: [http://www.smallprecisiontools.com/File/products/bonding/wedges/details/M\\_Series%20-%20Available%20Sizes%20and%20How%20to%20Order%20-%20English.pdf](http://www.smallprecisiontools.com/File/products/bonding/wedges/details/M_Series%20-%20Available%20Sizes%20and%20How%20to%20Order%20-%20English.pdf)
- [15] SPT Small Precision Tools. *Advantages of Microloy Osmium-Carbide Alloy*. Chip Bonding Tools, Fine Ceramic & Machining Parts [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.smallprecisiontools.com/products-and-solutions/chip-bonding-tools/wedge-bonding-tools/microloy-osmium-carbide-alloy/advantages-of-microloy-osmium-carbide-alloy/?oid=900&lang=en>
- [16] Kulicke & Soffa. *Capillary Family Selection Matrix*. Bonding Capillary Catalog. Willow Grove. © 2004. Kulicke & Soffa Industries Inc. [cit. 2012-03-06]. Catalog No. 49000-0005-244 10/05.
- [17] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog*. Wedge Disign Considerations. [online]. s. 10,11,12. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: [http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [18] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog Technical Guide*. [online]. s.13,14. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: [http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [19] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog* Wedge Bonding Application Type. [online]. s. 15,16,17. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: [http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [20] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog*. The Challenges of Fine Pitch .... [online]. s.25. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: [http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)

- [21] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog* . The Wedge bonding Cycle. [online]. s. 9. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: [http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [22] Gaiser Precision Bonding Tools. *Wedge bonding*. Bond Length (BL), (FR), (BR). [online]. s. 3,4,5. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/products/wedge/1.pdf>
- [23] Gaiser Precision Bonding Tools. *Wedge bonding*. Table-Tear & Clamp-Tear. [online]. s. 6. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/products/wedge/1.pdf>
- [24] Gaiser Precision Bonding Tools. *Fine Pitch Capillary*. Important Elements For Fine Pitch Applications . [online]. s. 54. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/catalog/3.pdf>
- [25] Gaiser Precision Bonding Tools. *Fine Pitch Capillary*. Ceramic Material Choices. [online]. s.45. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/catalog/3.pdf>
- [26] Gaiser Precision Bonding Tools. *Ribbon Wedges*. Tabulka rozměrů. [online]. s.119. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/catalog/6.pdf>
- [27] Gaiser Precision Bonding Tools. *Ribbon Bonding*. Ribbon Bonding Wedge. [online]. s.118. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/catalog/6.pdf>
- [28] Gaiser Precision Bonding Tools. *Gaiser Large Wire Wedges Information*. Large Wire Ultrasonic Bonding Wedges – Page 1(2). In. *BITA BeNeLux Home*. [online]. Luxembourg Ville. Aktualizace 2012-01-15. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.bita.lu/gtc-lw1.htm>
- [29] Gaiser Precision Bonding Tools. *Wedges*. Shank Design & Length. [online]. s. 77. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/catalog/4.pdf>
- [30] Gaiser Precision Bonding Tools. *Wedge bonding*. Wedge design. [online]. s. 62. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/catalog/4.pdf>
- [31] Gaiser Precision Bonding Tools. *Wedge bonding*. Materials & Tip Configurations. [online]. s. 68. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.gaisertool.com/catalog/4.pdf>

- [32] Kulicke a Soffa Industries Inc.. *4700 Manual Wire Bonder*. Convertible Wire Bonders. [online]. Fort Washington. [cit. 2012-03-08]. MWB-001-2/27/08. Dostupné z:  
<http://www.kns.com/Pages/Manual%20Ball%20Bonder%204700.aspx?cat=Equipment&grp=Manual%20Wire%20Bonder&pid=144>. ( manuál ke stažení)
- [33] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog*. Wedge For COB... (4WC). [online]. s. 24,25. [cit. 2012-03-14]. Dostupné z:  
[http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [34] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog*. Wedge For Deep Access... (4WD). [online]. s. 30,31. [cit. 2012-03-14]. Dostupné z:  
[http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [35] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog*. Wedge For Deep Access...(4WN). [online]. s. 30,31. [cit. 2012-03-14]. Dostupné z:  
[http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [36] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog*. Wedge For Ribbon... (4WR). [online]. s. 28,29. [cit. 2012-03-14]. Dostupné z:  
[http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)
- [37] Gaiser Precision Bonding Tools. *Capillary Wire Bonding*. The ball bonding process. [online]. s. 2. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z:  
<http://www.gaisertool.com/products/cap/1.pdf>
- [38] Micro Point Pro Ltd.. *Bonding Wedge Catalog*. Wedge Part Number Structure. [online]. s. 36. [cit. 2012-03-07]. Dostupné z:  
[http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge\\_catalog%281%29.pdf](http://www.micro-pointpro.com/Media/wedge_catalog%281%29.pdf)