



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

DEFEKTOSKOPIE S VYUŽITÍM RTG

X-RAY DEFECTOSCOPY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michael Velím

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Starý, Ph.D.

BRNO 2019



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Michael Velím

ID: 164433

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Defektoskopie s využitím RTG

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte technologické možnosti zařízení YXLON pro rtg. defektoskopii montážních celků včetně možnosti využití inspekce pro ultrazvukové a bodové svařování.

Navrhněte a zpracujte metodiku analýzy kvality nezapojeného konektoru u zapouzdřeného výrobku (nezapojený/nezapojený úplně) i pokovených otvorů vícevrstvé DPS – zejména praskliny, špatné spojení mezi 1 a 4 vrstvou DPS).

Navrhněte a zpracujte metodiku analýzy kvality pájení zástrčné i povrchové montáže - voidy, zapájení, zaplnění pokoveného otvoru pájkou, prasklé vodiče, kvalita pájení vybraných SMD pouzder D-pak/QFN, výskyt voidů.

Na základě navržené metodiky vyhodnoťte dosaženou kvalitu u vybraných produkčních montážních celků.

U defektních kusů navrhněte korekční zásah do výrobního procesu.

Zpracujte aplikaci pro defektoskopii lokalizované oblasti montážního celku s výstupy pro archivaci dat a traceabilitu. Aplikaci zpracujte v prostředí ovládacího programu rentgenu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 21.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje problematice spjaté s odhalováním vad ve výrobním procesu v oblasti elektrotechniky pomocí rentgenového záření. Shrnuje poznatky technologických možností rentgenového zařízení Cougar od firmy YXlon, kde je věnovaná pozornost režimu skenování ve 2D, 3D zobrazení a automatické analýze. Popisuje metody inspekce zapojení konektoru, kvality pájeného spoje a zapouzdřeného výrobku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rentgenová defektoskopie, rentgenka, YXlon Cougar, výpočetní tomografie, pájený spoj, void

ABSTRACT

This diploma thesis deals with a defect detection with X-rays in the manufacturing procedure in the electrotechnical field. The work summarises the knowledge about technical possibilities of an X-ray device Cougar of YXlon company. Part of the work is focusing on scanning in 2D, 3D visualization and automatic analysis. The thesis describes inspection methods of a connector connection, the quality of a soldered joint and an encapsulated product.

KEYWORDS

X-ray defectoscopy, x-ray tube, YXlon Cougar, computed tomography, solder joint, void

VELÍM, Michael. *Defektoskopie s využitím RTG*. Brno, 2019, 116 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing.Jiřímu Starému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	11
1 Rentgenová defektoskopie	12
1.1 Princip vzniku rentgenového záření	12
1.1.1 Využití rentgenu v oblasti defektoskopie	13
1.1.2 Nejdůležitější parametry rentgenu pro defektoskopii	13
1.1.3 Defektoskopie v oblasti elektroniky	14
2 YXLON Cougar	16
2.1 Popis zařízení	16
2.1.1 Traye	16
2.1.2 Ovládání rentgenu a posuv vzorku	17
2.2 2D analýza	19
2.2.1 Analýza obrazu v prostředí Image processing workspace	19
2.2.2 Reportovaná analýza a tvorba inspekční mapy	19
2.2.3 Měření vzdálenosti	21
2.2.4 Měření hloubky vyplnění prokovu pájkou	22
2.2.5 Výpočet zastoupení voidů - SUB Voiding calculation	23
2.3 3D analýza	26
2.3.1 Snímání 3D dat	26
2.3.2 Popis a práce v prostředí VGStudio 3.0	30
2.4 Analýza FLASH paměti	38
3 Analýza montážních celků	40
3.1 Analýza kvality zapojení konektoru	40
3.2 Analýza praskliny prokovu DPS a vliv na propojení mezi 1. a 4. vrstvou	42
3.3 Analýza svařovaného spoje	49
3.3.1 Analýza svaru plochého vodiče a konektoru metodou bodového svařování	49
3.3.2 Analýza svaru lanového vodiče a konektoru metodou ultrazvukového svařování	52
3.4 Kvalita pájení vývodových součástek	55
3.5 Analýza QFN pouzder	57
3.5.1 Vliv přítomnosti nečistot na pájení a detekce defektu pomocí RTG	57
3.5.2 Vliv množství pasty na tvorbu zkratů	61
3.5.3 Úprava šablony, analýza voidů	62

3.6	Automatická analýza	63
3.6.1	FNC program	63
3.6.2	Nástroje automatické analýzy pro tvorbu FNC programu . . .	64
3.6.3	Tvorba programu automatické analýzy	67
4	Závěr	72
	Literatura	74
	Seznam příloh	75
A	Ukázka aplikace funkcí úpravy obrazu	76
B	3D analýza prokovu	81
C	Analýza QFN	83
C.0.1	Nečistoty pod pouzdem	83
C.0.2	Analýza voidů	87
D	Defekty odhalené pomocí RTG	88
D.1	Ověření pájecího drátu	88
D.2	Defekty svařovaného spoje	88
D.3	Špatně zapájený kondenzátor	88
D.4	Měření vnitřních dílů bez demontáže	89
D.5	Uložení plochého vodiče v otočném modulu	91
D.6	Přerušný vodič	94
D.7	Křivý vývod součástky	95
D.8	Chybějící součástka	96
E	Automatická analýza	97
E.1	Výstupní protokol automatické analýzy	97
F	Obsah přiloženého CD	116

Seznam obrázků

1.1	Znázornění rentgenového záření ve frekvenčním spektru	12
1.2	Rentgenka a její části	12
1.3	Útlum rentgenového záření	13
1.4	Ohnisková vzdálenost	14
1.5	In-line rentgen ZEISS VoluMax	15
2.1	Rentgen Cougar od firmy YXLON	16
2.2	Standardní tray.	17
2.3	Otočný tray.	17
2.4	Tray pro 3D analýzu.	17
2.5	Popis ovládacího pultu.	18
2.6	Počáteční nastavení	20
2.7	Ukázka nastavení funkce měření	22
2.8	Výsledek analýzy OK spoje.	23
2.9	Výsledek analýzy NG spoje.	23
2.10	Detail vývodu elektrolytického kondenzátoru.	24
2.11	Vyznačená oblast voidů.	24
2.12	Pozitivní výsledek analýzy.	24
2.13	Náhled do prostředí analýzy - nastavení parametrů tmavé oblasti.	25
2.14	Uložení DPS pro 3D analýzu	27
2.15	Dodávané příslušenství.	27
2.16	Vyrobený posuvný držák.	27
2.17	Ukázka připraveného vzorku.	27
2.18	Ukázka vybraných kroků pro nastavení snímání ve 3D.	29
2.19	Popis okna VGS Studio MAX 3.0.	30
2.20	Registrace objektu v prostoru.	31
2.21	3D data před úpravou.	33
2.22	Registrace objektu v prostoru - Simple registration.	33
2.23	Špatně vložená gumička tlačítka.	33
2.24	Určení materiálu.	35
2.25	Definice roviny X.	35
2.26	Definice roviny Y.	36
2.27	Definice roviny Z.	36
2.28	Výsledek analýzy komparace s CAD.	36
2.29	Výsledek analýzy komparace s CAD.	37
2.30	Použití časovače pro omezení dávky záření flash pamětí.	39
3.1	Ukázka konektoru: 1. pojistný klip, 2. pojistný trn.	40
3.2	Ukázka plně rozpojeného konektoru	40

3.3	Ukázka vhodně zvolených vzdáleností pro určení kvality zapojení konektoru.	41
3.4	Správné zapojení konektoru Molex japan - 505567 - **70	42
3.5	Nezapojený konektor - nezajištěný klip	42
3.6	Správné zapojení konektoru Molex japan- 502386 - **70	42
3.7	Nezapojený konektor - nezajištěný klip	42
3.8	3D Model znázorňující prokvy u 4 vrstvé DPS.	43
3.9	Řez prokovem a změřené hodnoty vrstvy pokovení.	44
3.10	Pohled v řezu desky mezi 1. a 2. vrstvou - pod 1. vrstvou.	44
3.11	Pohled v řezu desky 2. vrstvou.	44
3.12	Pohled v řezu desky mezi 2. a 3. vrstvou	45
3.13	Pohled v řezu desky 3. vrstvou	45
3.14	Pohled v řezu desky mezi 3. a 4. vrstvou	45
3.15	Pohled v řezu desky 4. vrstvou	45
3.16	Detekce praskliny přímo u zlomu desky.	45
3.17	Mikrovýbrus DPS pro automotive I. - bez defektu.	46
3.18	Mikrovýbrus DPS pro automotive II. - bez defektu.	46
3.19	Mikrovýbrus DPS pro spotřební elektroniku.	47
3.20	A prasklina detail I.	47
3.21	A prasklina detail II.	47
3.22	B prasklina detail I.	48
3.23	B prasklina detail II.	48
3.24	RTG analýza DPS pro spotřební elektroniku.	48
3.25	Příliš silný svar.	49
3.26	Poškozený otvor po svařování.	50
3.27	Poškozený otvor po svařování - Vodič odstává, nedošlo ke svaření - pohled z boku.	50
3.28	Nesprávná pozice vodiče.	50
3.29	Nedostatečné svaření: červeně - nedetekovatelný obrys. Zeleně - správný svar, obrys detekován.	51
3.30	Nedostatečné svaření: vodič odstává, nedošlo ke svaření - pohled z boku.	51
3.31	Ukazatele jakosti - optická detekce.	53
3.32	Ultrazvukové spojení vodiče a konektoru.	53
3.33	3D analýza ultrazvukového svaru.	54
3.34	3D analýzy ultrazvukového svaru - nesvařený vodič.	54
3.35	Analýza vyplnění díry pájkou pomocí RTG 2D a 3D analýzy.	55
3.36	2D pohled na zapájený konektor.	56
3.37	Řezové roviny 3D analýzy na zapájený konektor.	56
3.38	Zobrazení QFN 2D analýzou - difference.	58

3.39	1. otřep - foto.	59
3.40	1. otřep - RTG.	59
3.41	2. otřep - foto.	59
3.42	2. otřep - RTG.	59
3.43	3. otřep - foto.	60
3.44	3. otřep - RTG.	60
3.45	4. otřep - foto.	60
3.46	4. otřep - RTG.	60
3.47	Vytvoření zkratů.	61
3.48	RTG analýzy zkratů.	61
3.49	Změna šablony tisku pájecí pasty na chladičí plošce.	62
3.50	Lišta pro práci s programy automatické analýzy.	63
3.51	Nástroje automatické analýzy.	64
3.52	Vhodné části desky pro použití jako referenční značka.	65
3.53	Nevhodně zvolená referenční značka.	66
3.54	Nevhodně zvolená referenční značka.	66
3.55	Okomentovaný zdrojový kód automatické analýzy.	69
3.56	AXI - general.	70
3.57	AXI - Grid inspection.	71
3.58	AXI traceability.	71
A.1	Pohled bez využití jakékoliv funkce úpravy obrazu.	76
A.2	Funkce auto - kontrast.	76
A.3	Funkce sharpening.	77
A.4	Funkce contrast sharpening.	77
A.5	Funkce gama contrast.	78
A.6	Funkce eHDR.	78
A.7	Funkce histogram.	79
A.8	Funkce difference.	79
A.9	Funkce illuminate.	80
A.10	Funkce pseudocolor.	80
B.1	Pohled na prasklinu v řezové rovině.	81
B.2	Pohled na prasklinu v 3D modelu.	82
B.3	Pohled na prasklinu v 3D modelu - detail.	82
C.1	Samotné pouzdro QFN pod RTG.	83
C.2	Nečistota 1 - difference	84
C.3	Nečistota 2 - difference	84
C.4	Nečistota 3 - difference	84
C.5	Nečistota 4 - difference	84
C.6	Nečistota 5 - difference	85

C.7	Nečistota 6 - difference	85
C.8	Nečistota 1 - AOI	85
C.9	Nečistota 2 - AOI	85
C.10	Nečistota 3 - AOI	86
C.11	Nečistota 4 - AOI	86
C.12	Nečistota 5 - AOI	86
C.13	Nečistota 6 - AOI	86
C.14	Analýza voidů - šablona před úpravou.	87
C.15	Analýza voidů - šablona po úpravě.	87
D.1	Defekt ultrazvukového svařování	88
D.2	Defekt bodového svařování	88
D.3	Špatně zapájený kondenzátor	88
D.4	Špatně zapájený kondenzátor - RGB	88
D.5	Ověření velikosti dílu.	89
D.6	Ověření velikosti dílu.	90
D.7	Správné uložení plochého vodiče.	91
D.8	Špatně uložený/zamotaný vodič.	92
D.9	Utržený vodič z konektoru.	93
D.10	Přerušovaný vodič.	94
D.11	Křivý vývod součástky.	95
D.12	Chybějící součástka - pružina.	96

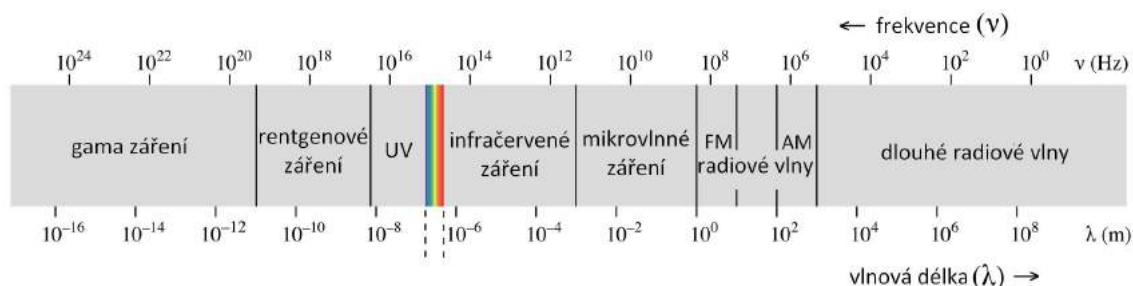
Úvod

Vývoj elektroniky směřuje stále kupředu a s ním zmenšování součástek a jejich integrace. Z toho důvodu jsou kladeny vysoké nároky na výstupnou kvalitu osazování. Přejít na bezolovnaté pájky způsobil ve výrobě značné problémy, jež nebyly v řadách případů možné detekovat optickými metodami. Jedná se o vady zejména v podobě dutin (voidů), zkratů pod součástkami, kvalita zapájení složitých pouzder jako BGA (ball grid array), QFN (QuadFlat No-leads package), nebo pouzdra s chladičí ploškou (DPAK). Tyto problémy je možné odhalovat díky rentgenu. Rentgenová defektoskopie nachází uplatnění v řadách vývojových i výrobních procesů, kdy nastane situace potřeby zkontrolovat vnitřní součásti po zapouzdření výrobku.

1 Rentgenová defektoskopie

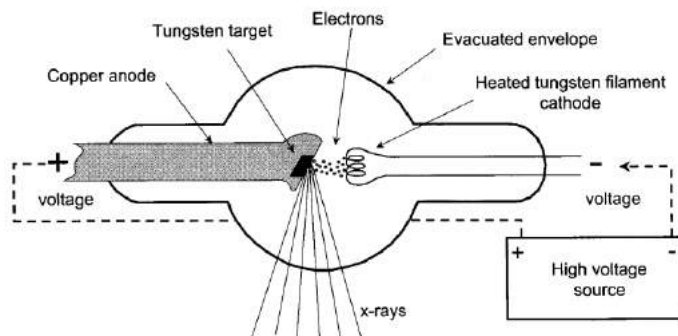
1.1 Princip vzniku rentgenového záření

Rentgenové záření, v angličtině označované jako X-RAY, vzniká za důsledku, kdy pohybující se elektron přemění svou kinetickou energii na energii fotonu. Jedná se o ionizující záření v rozsahu vlnových délek v rozsahu 10^{-12} m až 10^{-8} m.



Obr. 1.1: Znázornění rentgenového záření ve frekvenčním spektru[1].

Pro generaci rentgenového záření slouží elektronka - rentgenka. Jedná se o vakuovou trubici, v níž se nachází dvě elektrody: katoda a anoda. Katoda je tvořena spirálovitě vinutým, wolframovým vláknem. Anodu tvoří materiály ze železa, mědi, stříbra, nebo zlata.

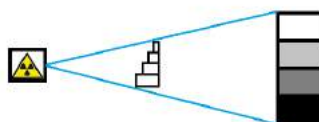


Obr. 1.2: Rentgenka a její části [2].

Průchodem elektrického proudu vláknem dojde k zahřátí na vysokou teplotu a vlivem termoemise se začnou z katody uvolňovat elektrony. Přivedené napětí 20kV - 200 kV mezi anodu a katodu urychluje elektrony, jež dopadají na kladně nabitou anodu za vzniku rentgenového záření [2].

1.1.1 Využití rentgenu v oblasti defektoskopie

V řadách vývojových i výrobních procesů nastane situace potřeby zkontrolovat vnitřní součásti po zapouzdření výrobku. A tak kromě využití rentgenu v nemocnicích se ho dostalo hojnému uplatnění v průmyslu. Prostupnost rentgenového záření je dána velikostí energie záření. S narůstající energií vniká předpoklad větší prostupnosti materiálem. Při průchodu záření materiálem dochází k jeho útlumu. Na velikosti útlumu se podílí složky jako vzdálenost detektoru od rentgenové trubice, atomové číslo a tloušťka materiálu. Zobrazovací systém rentgenu je postaven na teorii, kdy prochází homogenní svazek RTG záření nehomogenním (materiálově, tloušťkově) prostředím, za vzniku nehomogenní intenzity svazku záření viz. obr. 1.3. Z obrázku je patrné, že detektor je největší měrou exponován u slabšího materiálu. S narůstající stěnou materiálu dochází k částečné expozici, až po stav kdy materiál není exponován vůbec. Z pohledu defektoskopie se prasklina, nebo dutina projeví světlejší oblastí expozice, protože záření prochází přes prasklinu bez výraznějšího útlumu [3].



Obr. 1.3: Útlum rentgenového záření v závislosti na tloušťce materiálu [3].

1.1.2 Nejdůležitější parametry rentgenu pro defektoskopii

Anodové napětí

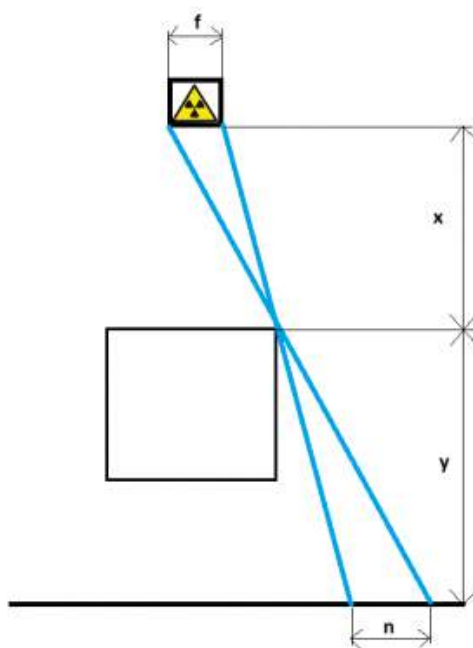
Jeden z nejdůležitějších parametrů rentgenového záření je jeho energie. Čím hmotnější předmět chceme analyzovat, tím vyšší energii potřebujeme pro jeho expozici. Velikost energie fotonu bude tedy záviset na energii elektronu, jež byl urychlen v rentgence přiloženým urychlovacím napětím. Tedy pro analýzu plastů nám bude stačit anodové napětí do 60 kV, zatímco u kovů bude zapotřebí napětí přes 140 kV.

Maximální proud

Parametr jež charakterizuje intenzitu záření. Je to množství fotonů ve svazku záření. Množství fotonů má vliv na rychlost expozice a výslednou ostrost obrazu. Díky vysokým hodnotám proudu je možné analyzovat i velmi hmotné předměty. Množství fotonů je přímo úměrné množství elektronů. Intenzita se dá většinou odvodit od proudu protékající rentgenkou (žhaveným vláknem katody).

Velikost ohniska rentgenky

Parametr vypovídá o tom, jak ostrý obraz ve výsledku získáme. Pro zobrazení detailů, počítaje od jednotek mikrometrů, je velikost ohniska jako parametru kritická. Tento parametr popisuje obrázek č. 1.4, kde při ohniskové vzdálenosti f se zkoumaný bod zobrazí jako plocha na detektoru. Úroveň rozostření narůstá při tzv. geometricém zvětšení, kdy pohybujeme rentgenkou blíže ke zkoumanému předmětu s cílem zvětšit zkoumanou oblast. Věda dovolila vzniku i rentgenek s nano - ohniskem za předpokladu speciálních rentgenek a vysoce citlivých detektorů, na úkor doby provozu a časté výměny terčů katody.



Obr. 1.4: Ohnisková vzdálenost [4].

Pracovní prostor rentgeny

Jeden z vedlejších parametrů, říkájící, jak velké předměty je možné vložit do rentgeny, aby byly v pracovní oblasti analyzovatelné a nemuselo se s nimi v průběhu analýzy posouvat (př. druhý konec desky plošného spoje) [4].

1.1.3 Defektoskopie v oblasti elektroniky

Vývoj elektroniky směřuje stále kupředu a sním zmenšování součástek a jejich integrace. Z toho důvodu jsou kladeny vysoké nároky na výslednou kvalitu osazování.

Přechod na bezolovnaté pájky způsobil ve výrobě velké problémy, jež nebyly v řadách případů možné detekovat optickými metodami. Jsou to vady v podobě dutin (voidů), zkratů pod součástkami, kvalita zapájení složitých pouzder typu BGA (ball grid array), QFN (Quad Flat No - leads package), nebo pouzdra s chladičí ploškou (DPAK). Tyto problémy je možné odhalovat díky rentgenu. V elektrotechnice se nejčastěji používají samostatně stojící laboratorní rentgeny, díky nimž je možné sledovat kritická místa a optimalizovat tak výrobní proces. Variací vad ve výrobním procesu může nastat nespočetně, od otřepů základního materiálu pod součástkou, přes vady nesprávně nastaveným teplotním profilem přetavení, až po řešení reklamací se zákazníkem. Pokud se ve výrobě nachází komponenty pro automotive výrobu a vyskytují se na deskách pouzdra typu BGA přichází ke slovu in - line rentgeny, jež jsou součástí výrobní linky, kdy se analýze podrobuje každý výrobek.



Obr. 1.5: Ukázka in - line rentgeny VoluMax od firmy ZEISS [5].

2 YXLON Cougar

2.1 Popis zařízení

Rentgenové zařízení YXLON Cougar slouží k nedestruktivní kontrole výrobků ve 2D i 3D formátu (CT) pro velikost vzorků 440 x 550 mm a maximální hmotnosti 5 kg v mikro - fokálním rozlišení. Rentgenová trubice poskytuje záření o energii 160 kV urychlovacího napětí a proudem 1 mA. Výstupním výkonem je tedy 64 W s ohledem na účinnost tak maximální výkon na terč činí 10 W při standardním terči a 15 W při použití vysoce výkonného terče.



Obr. 2.1: Rentgen Cougar od firmy YXLON [?].

2.1.1 Traye

Rentgen je vybaven třemi výměnnými platy (v terminologii označované jako traye), což jsou pultíky pro skenování s různými specifickými vlastnostmi. Vkládají se na kládacímí dveřmi a každý se hodí pro určitý typ analýzy. Standardní tray má čtvercovou plochu (22,5 x 22,5 cm) pro umístění vzorků, jeho výhoda spočívá v umístění desek plošných spojů do rohu traye, čímž vznikne referenční bod. Díky tímto způsobem umístěným deskám můžeme v naprogramovaném režimu umístit desky stále do stejného místa, aniž by bylo nutné dělat na trayi značky.

Otočný tray má kruhovou skenovací plochu (průměr 29,5 cm) otáčenou krokovým motorem v osách XY. Zde vyniká možnost si v průběhu analýzy se vzorkem otáčet, zvláště pak, pokud je analyzován pod úhlem. Tím odpadne nutnost vypínat rentgen a manipulovat se vzorkem, což urychluje analýzu.

Poslední tray nemá skenovací plochu a vzorek se umísťuje do sklíčidla, kde je možné vzorkem otáčet v ose Z. Teto tray je určen primárně pro 3D skenování. Od hrany tří - bodového sklíčidla po hranu rámu traye je prostor 22,5 cm pro vložení vzorku. Nutno ještě vzít v úvahu velikost upínacího prvku, pokud není vzorek upnut přímo ve sklíčidle, čímž se prostor pro velikost analyzovaného vzorku zmenší.



Obr. 2.2: Standardní tray.

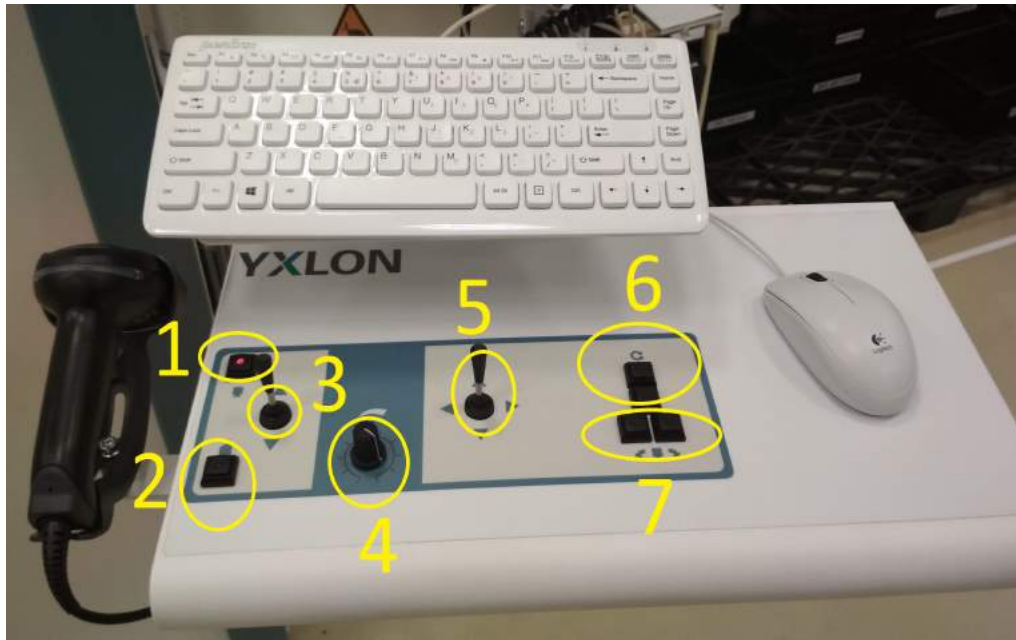
Obr. 2.3: Otočný tray.

Obr. 2.4: Tray pro 3D analýzu.

2.1.2 Ovládání rentgenu a posuv vzorku

Názorný popis poskytuje obr. 2.5.

1. Zvoleno ovládání detektoru - přiblížení detektoru se používá v případech, kdy je žádoucí oddálit obraz z důvodu potřeby zobrazit větší objekt.
2. Zvoleno ovládání RTG trubice - přiblížením dosahujeme geometrického zvětšení a zobrazení detailů.
3. Přiblížení/oddálení detektoru/RTGtrubice - ovládací prvek bodu 1,2.
4. Volič rychlosti pohybu ovládaných prvků - rychlost posuvu prvků se uzpůsobuje magnifikaci a bezpečnosti proti kolizi detektoru/RTGtrubice se vzorkem.
5. Pohyb vzorku v osách XY .
6. Otáčení vzorku - použitím otočného traye dochází k otáčení v osách XY a při použití traye pro 3D analýzu, dochází k otáčení v ose Z.
7. Náklon detektoru - náklon umožňuje sledovat vzorky pod úhlem 30 - 90°.



Obr. 2.5: Popis ovládacího pultu.

Pracovní prostředí programu YXLon FGUI

- Easy – prostředí jednoduché analýzy
- Image processing workspace – Prostředí pro tvorbu a analýzu profilů pro zpracování obrazu.
- Manipulation workspace – Prostředí poskytující informace o poloze posuvu, trubice, detektoru, úhlu natočení detektoru.
- X-ray workspace – Prostředí pro kalibraci RTG.
- AXI – Automatic x-ray inspection – Prostředí pro automatickou analýzu.
- μ CT workspace - Prostředí pro 3D snímání.
- Inspection pool workspace - Prostředí pro vytváření analýzy voidů více-vývodových pouzder
- Full screen workspace - Prostředí pro analýzu RTG obrazu na celé ploše monitoru.

2.2 2D analýza

2.2.1 Analýza obrazu v prostředí Image processing workspace

Pro analýzu obrazu je možné vytvářet a ukládat jednotlivé profily (Image process - uloženo zde: D:\Feinfocus\FGUI_3.10.2.2\FNC Files\IPs) vhodné na detekci specifických vad. Funkce je možné do seznamu funkcí přidávat/odebírat, nebo v případě ladění nejlepší varianty analýzy pouze vypnout.

Nejčastěji používané funkce

- Auto contrast - Program zjistí nejvyšší a nejnižší intenzitu záření a tento interval ideálně proloží odstíny šedé. Obr. A.2.
- Contrast - Funkce vhodná na ruční úpravu kontrastu, zejména pro lokální úpravu kontrastu v oblasti výřezu.
- Sharpening - Filtr zvýší ostrost snímků, snímky se jeví méně rozmazané. Obr. A.3.
- Contrast sharpening - Funkce nastaví vyvážení mezi filtry kontrastu a ostrosti. Obr. A.4.
- Gama contrast - Funkce zvýší úroveň jasu, detaily skryté ve stínech, nebo místech s větší absorpcí záření jsou lépe prosvětlená. Obr. A.5.
- eHDR - funkce zajišťuje vysoký dynamický rozsah obrazu. Obr. A.6.
- Histogram - udává spektrum zobrazených materiálů. Obr. A.7.
- Difference - Operátor vyvolává falešný 3D efekt. Je vhodný pro analýzu defektů s nízkým kontrastem. Obr. A.8.
- OSD - On Screen Display, funkce si načte do paměti aktuální obraz. Díky ní je možné mít vzorek zobrazen již bez prozařování materiálů, což je vhodné zejména při práci se vzorky obsahující FLASH paměti citlivé na rentgenové záření. Pomocí funkce lze provádět měření rozměrů objektů nástrojem *Distance* viz kapitola Měření vzdálenosti.
- Pseudocolor - Funkce přiřadí různým odstínům šedi barevný odstín škály barev RGB. Obr. A.10.

2.2.2 Reportovaná analýza a tvorba inspekční mapy

Použití manuální analýzy je vhodné pro vytvoření reportu s komentovaným snímkem zkoumaných míst DPS a zřetelným vyhodnocením stavu: v pořádku – OK (zeleně) / chyba – NG (červeně) / varování (žlutě). Výstupním souborem je pdf soubor obsahující všechna provedená vyhodnocení.

Počáteční nastavení

Náhled následujících kroků popisuje obrázek č. 2.6.

- Volba traye – Zvolíme vhodný tray (ideálně standardní tray).
- Start up → Start all / reference drive – Provedeme kalibraci rentgenu.
- Image processing workspace – zvolíme režim snímání ve 2D, volba profilu (Image process).
- Cross-hair – Tato funkce zobrazí kříž v zobrazovací oblasti RTG, poslouží pro přesné umístění vyhodnocovacích značek.
- Image process – vybereme si vhodný profil se souborem funkcí zpracování obrazu (lze v průběhu měnit a pracovat s funkcemi).
- Display overview image – klikem se zviditelní náhledové menu kamery v RTG. Klikem lze volit skenovanou oblast.
- RTG ON – zapneme RTG

Pokud jsou přítomny inspekční značky z předcházející analýzy, odstraníme je → Delete inspection marks. Tyto značky je možné umístit na střed zobrazeného kříže přímo klikem na jednotlivé značky po pravé straně analyzovaného náhledu.



Obr. 2.6: Počáteční nastavení - 1. Start up - Start all/reference drive, 2. Image processing workspace, 3. Cross-hair, 4. Image process, 5. Display overview image, 6. RTG ON

Kliknutím ptl. myši na značku je možné ji odstranit, nebo v položce *properties*

ji změnit a připsat komentář. Po dokončení analýzy (označení značkami a komentáři) vygenerujeme report: *Save inspection report* → zadat ID desky pro traceabilitu (manuálně, nebo naskenováním pomocí čtečky kódů). Report se uloží pod aktuálním datem ve složce: D:\Feinfofocus\FGUI_3.10.2.2\Data\InspectionReport.

Opakovaná analýza, tvorba inspekční mapy

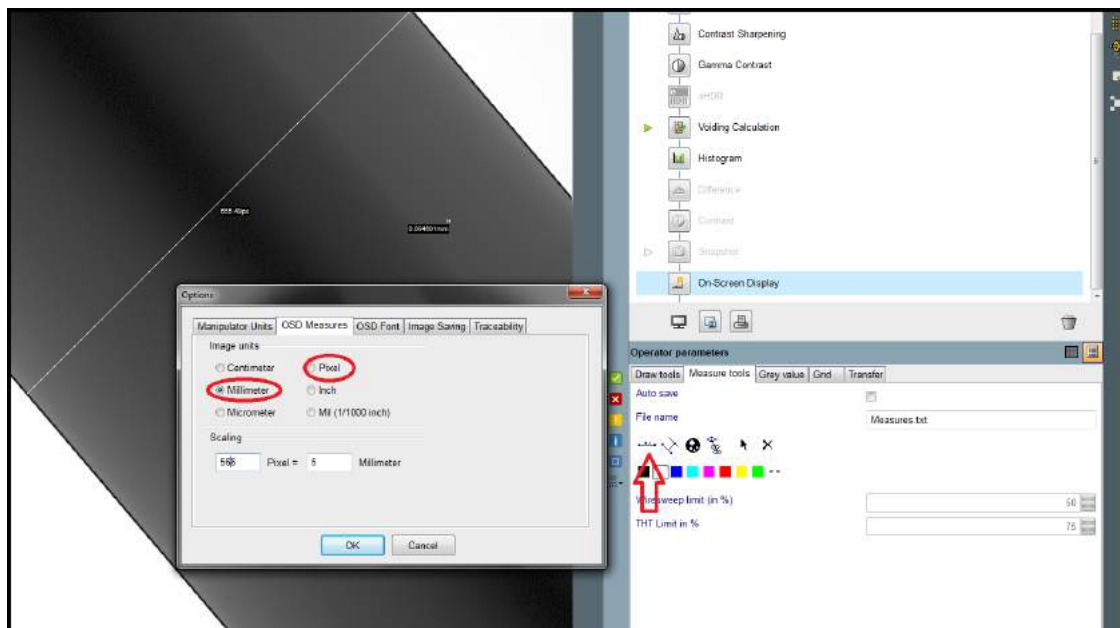
Rozmístění inspekčních značek můžeme využít jako předlohu pro označení míst plánované analýzy. Kritická místa se nemusí u složité desky tak pracně hledat. Listování mezi značkami se provádí klikem na značky v okně Overview. Vhodné je na požadovaná místa umístit značky typu *Set comment mark* (značka s komentářem), nebo *Set image mark* (značka ponese snímek jako předlohu stavu OK/NG pro porovnání a následné vyhodnocení, snímek se vytvoří automaticky z místa umístění značky). Do komentáře se mohou napsat požadavky a dodatečné informace pro vykonání budoucího vyhodnocení obsluhou. Tyto značky v analýze měníme na značky vyhodnocení (OK / NG / varování), v případě potřeby přepíšeme komentář. Inspekční mapu uložíme → *Save inspection map*.

Opakovanou analýzu provedeme načtením požadované inspekční mapy → *Load inspection map*. Zkoumanou DPS vložíme do rentgenu na stejné souřadnice, ve kterých se inspekční mapa tvořila (například umístěním v levé horní části standardního traye). Provedeme instrukce z odstavce *počáteční nasatavení*. Kliknutím na inspekční značku v poli *Overview* rentgen automaticky nastaví souřadnice vzorku pro analýzu. ptl. myši → *properties* provedeme vyhodnocení (značka OK / NG / varování), popř. dopsání komentáře. Vygenerujeme report (Ukázka reportu viz. příložené DVD).

2.2.3 Měření vzdálenosti

Ve dvourozměrném zobrazení lze za určitých podmínek uskutečnit měření vzdálenosti. Potřebujeme k tomu referenční předmět známých rozměrů, nejlépe kovovou tyčinku kruhového průřezu (u hranatých předmětů by docházelo ke klamu, protože bychom nedokázali zaměřit objekt dokonale kolmo). Tyčinku je vhodné k trayi přilepit, aby nedocházelo k nechtěnému převalování při posuvu traye. Měřený předmět by se měl vyskytovat ve stejné výšce jako položená tyčinka (pokud je předmět vyšší, je nutné tyčinku podložit).

Není požadavkem, aby se oba předměty vměstnaly do zorného pole zároveň, ale je důležité zachovat stejnou magnifikaci, jež se v průběhu analýzy nesmí měnit. Jinak by se musela procedura nastavení zbytečně zopakovat. Otevřeme nabídku z rolety *Setup* → *Options* → *OSD Measures*, zvolíme jednotku v pixelech. Pomocí nástroje *Distance* ve funkci *On Screen Display* změříme přesně průměr tyčinky v pixelech. Kolmé měřicí úsečky se dosáhne sledováním rastru přímkou, jakmile je přímka hladká



Obr. 2.7: Ukázka nastavení funkce měření.

(bez schodů), je získán pravý úhel. Otevřeme nabídku z rolety *Setup* → *Options* → *OSD Measures* a změníme jednotku na milimetry. Zapišeme do buňky *Scaling* změřenou hodnotu v pixelech a známý rozměr tyčinky v milimetrech. Nyní byl zjištěn rozměr jednoho pixelu. Následně pomocí nástroje *Distance* můžeme provádět měření ve zvolených jednotkách.

2.2.4 Měření hloubky vyplnění prokovu pájkou

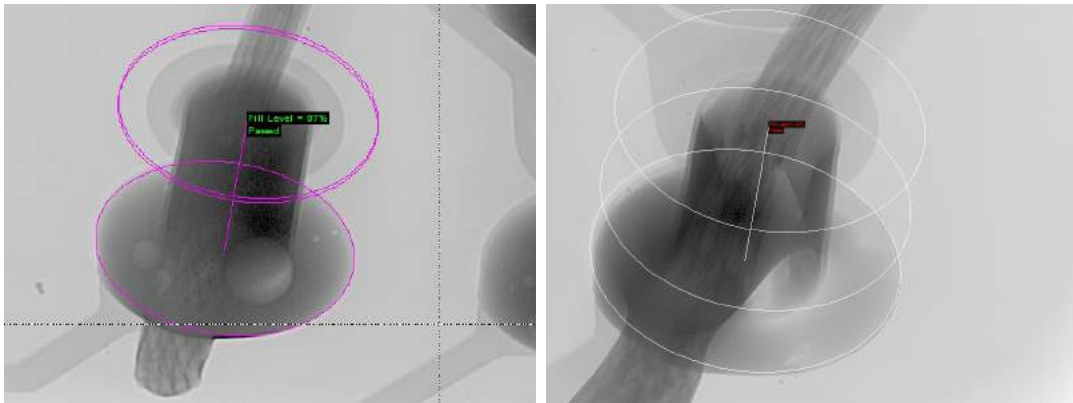
Analýza dokáže orientačně stanovit hloubku zaplnění prokovu po pájení. Jedná se o metodu snímání ve 2D režimu. Zkoumaná oblast se zobrazí pod úhlem (co nejvíce z boku). Pro ideální boční pohled, tedy 90°, je limitující přítomnost ostatních součástí zasahujících do snímku. Proto pohled volíme tak, abychom mohli rozlišit jednotlivé části spoje: vývod ze strany součástek, vývod ze strany pájení, začátek a konec oblasti zaplnění prokovu pájkou. Bočního pohledu docílíme nakloněním detektoru pod úhlem, nebo v případě použití traye pro 3D analýzu rotací sklíčidla.

Analýza se provede již známým nástrojem zpracování obrazu *On Screen Display* → roleta *Measure tools* → nástroj *Trough Hole Technology*.

Ve funkci lze nastavit minimální limit pro vyhodnocení statusem OK, v našem případě použito 75 %.

Použití nástroje spočívá v následujících krocích:

1. Označení vývodu ze strany součástek - klikem na jednu a druhou stranu plošky vytvoříme úsečku (mezi nejbližšími body kruhového prokovu).
2. Tahem do strany se z úsečky tvoří elipsa. Vytvoříme takovou, aby kopírovala tvar plošky na DPS.
3. Nyní se vytvořila elipsa, již označíme druhou stranu vývodu na DPS - nyní je označena díra v DPS.
4. Dále označíme elipsou začátek a konec oblasti vyplněné pájkou.
5. Byl získán procentuální výsledek zaplnění prokovu.



Obr. 2.8: Výsledek analýzy OK spoje. Obr. 2.9: Výsledek analýzy NG spoje.

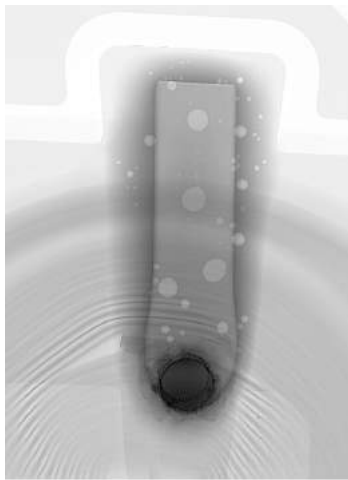
2.2.5 Výpočet zastoupení voidů - SUB Voiding calculation

Jedná se o funkci sloužící ke zjištění procentuálního zastoupení voidů v definované pájené oblasti a určuje velikost největšího voidu (také v procentech). Jedna tato funkce spravuje jednu oblast, pokud by se jednalo o více vývodovou součástku, musí se každý vývod nadefinovat v separátní funkci, proto se nehodí pro zjišťování zastoupení voidů například u pouzder BGA a QFN. Funkce nese nástroje pro kvalitní zpracování obrazu, a tak se nejedná pouze o orientační pohled, ale přesné měření.

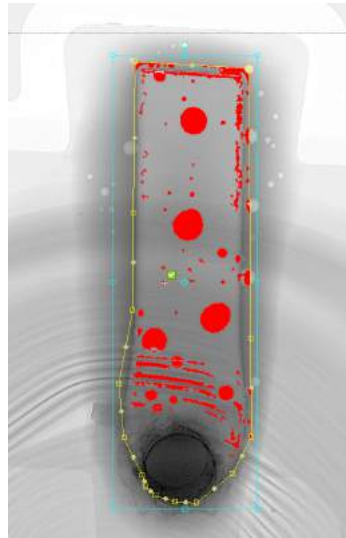
Metodika použití funkce: Měřenou oblast se snažíme co nejvíce zvětšit na zobrazovací ploše a vhodně nastavíme urychlovací napětí a proud. Funkci *Void calculation* přidáme do seznamu funkcí pro úpravu obrazu (jestliže již není obsažena). Pokud byla funkce již jednou použita, tak ji uvedeme do výchozího nastavení pomocí p.tl. myši do prostoru nastavení funkce a volbou *Restore to defaults*.

Nastavení analýzy: *Config wizard* → *Next* (Proběhne integrace obrazu na detektoru a snímek se na - implementuje do funkce. Nyní lze vypnout RTG záření.) → *vybereme nástroj rectangle / polygon* a vybereme zkoumanou oblast → definice pozadí *Dark mask* (pomocí parametrů *Mask size* a *Threshold*) definujeme oblast

s výrazně tmavým odstínem → definice pozadí *Light mask* (pomocí paramaterů Mask size a Threshold) definujeme oblast s výrazně světlým odstínem → *Specify voids* (pomocí parametrů Void size a Threshold) definujeme oblast s výskytem voidů. V roletě *Limits* se nastavují parametry pro automatické vyhodnocení oblasti – definice maximálního zastoupení voidů a maximální dovolená velikost voidů.



Obr. 2.10: Detail vývodu elektrolytického kondenzátoru.

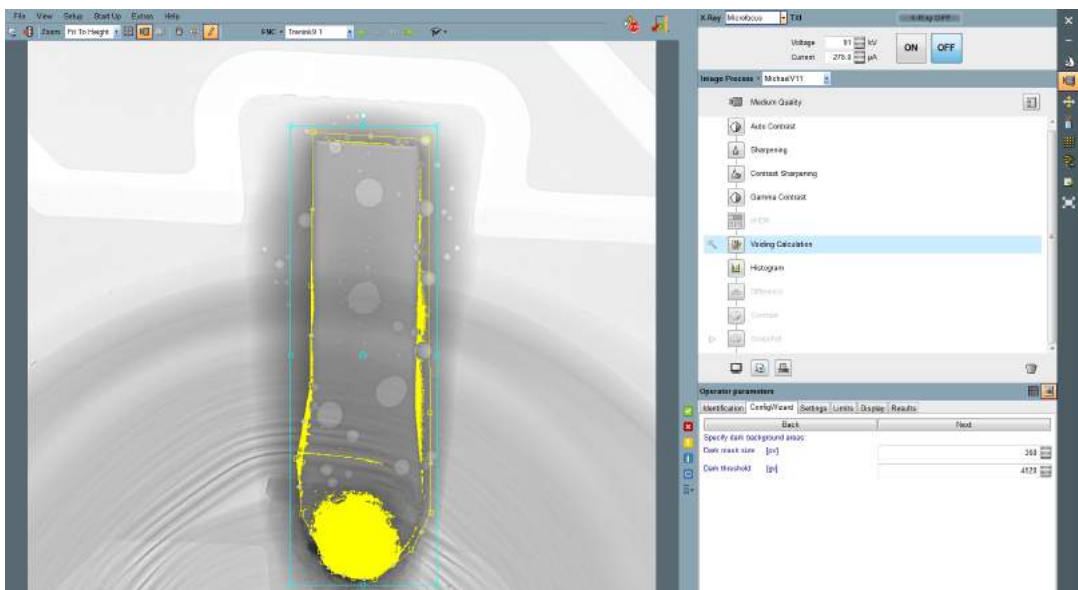


Obr. 2.11: Vyznačená oblast voidů.



Obr. 2.12: Pozitivní výsledek analýzy.

Výsledkem nastavení analýzy je oblast naprogramovaná k detekci voidů jednoho vývodu pro definovanou součástku pro definovanou desku plošného spoje, na definovaném místě, při definovaných parametrech rentgenu (napětí, proud, vzdálenost trubice a detektoru). Při použití na jiné desce, nebo jiném místě by se změnily podmínky, jež by ovlivnily měření z důvodu jiného trasování vodivých cest v ostatních vrstvách DPS, nebo umístění protilehlých součástek. Analýzu spustíme zelenou šipkou *“play”* umístěné vedle ikony funkce v seznamu výčtu funkcí. Ukázka průběhu a výsledků analýzy viz obr. 2.10-2.13.



Obr. 2.13: Náhled do prostředí analýzy - nastavení parametrů tmavé oblasti.

2.3 3D analýza

CT- Computed Tomography

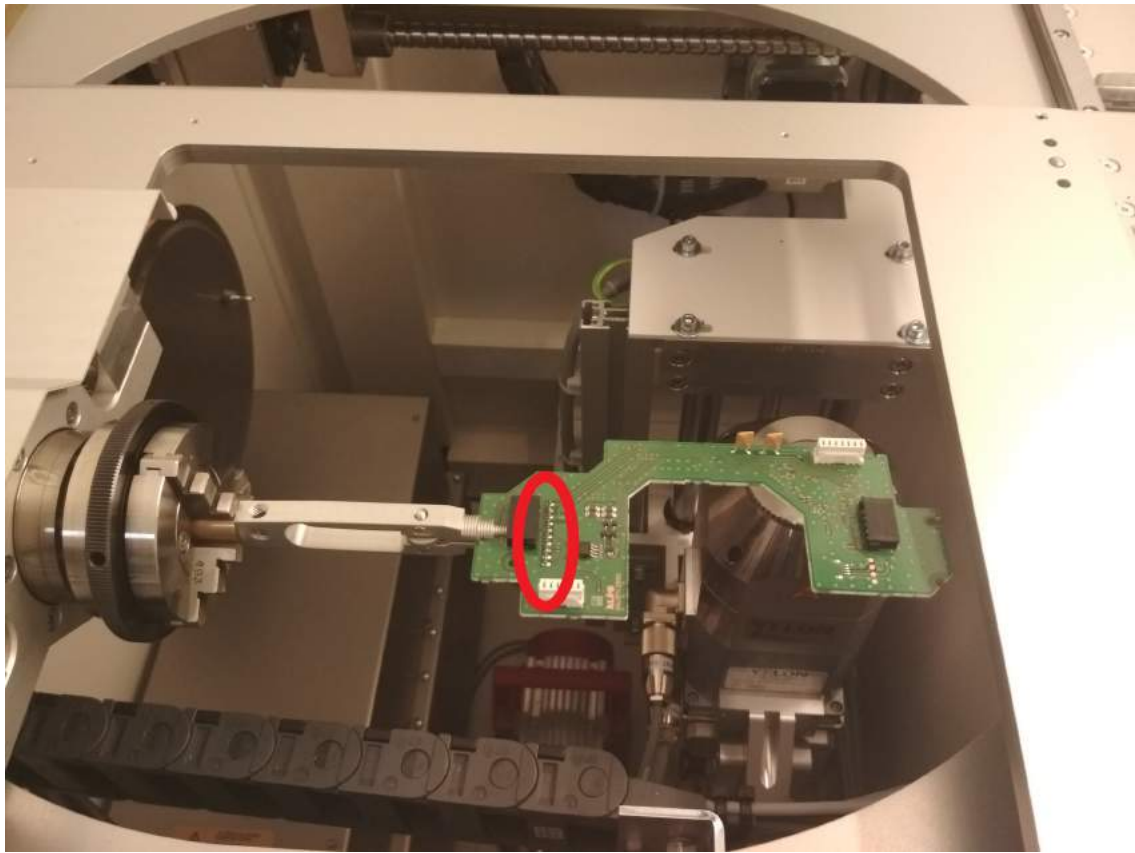
Analýza pomocí RTG probíhá za použití traye pro 3D analýzu. Upnutý vzorek ve sklíčidle se otáčí po stanovených krocích, při jichž se pořizují dvourozměrné snímky. Počítač pro ovládání rentgenu je přes ethernet propojen s druhým výkonným počítačem určeným pro zpracování obrazu, do něž rentgen posílá pořízené snímky. Po naskenování se data automaticky převedou renderováním díky počítačovému programu myVGL na 3D model. Rozlišení detektoru činí 1004 voxelů (neboli prostorových pixelů). Výsledkem je analyzovaný prostor tvaru krychle o hraně 1004 bodů. Snímání dovoluje dva režimy kvality *Quick* (rychlý) a *Quality* (kvalitní). Rozdíl je především v rychlosti analýzy, kdy přechod mezi jednotlivými úhly natočení vzorku trvá delší dobu. Tato doba je věnována integrováním RTG záření, což má za následek redukcí případného šumu. Režim *Quality* trvá 4 - krát delší čas než režim *Quick*.

2.3.1 Snímání 3D dat

Příprava vzorku pro 3D analýzu

Při vytváření 3D analýzy je vzorek upnut do sklíčidla traye pro 3D analýzu. Většinu vzorků nejsme schopni v tříbodovém sklíčidle upnout, proto výrobce dodává pomocné prvky. Kovová upínka (obr. 2.15 - dole): vzorek lze upnout sevřením, nebo rozevřením kleští. Způsob upnutí volíme i z pohledu na velikost celého systému. Obrázek 2.14 znázorňuje připravený vzorek pro analýzu kvality zapájení konektoru (červená oblast), zároveň vystihuje limitní velikost vzorku při upnutí v kleštích tak, aby byl umožněn rotační pohyb sklíčidla. Držák s uhlíkovou destičkou (obr.2.15 - nahoře): je dodáván ve třech velikostech. Uhlík byl výrobcem zvolen díky jeho pevnosti a nízké absorpci RTG záření. Vzorek se k destičce přilepí papírovou, nebo kaptonovou páskou (pokud jsou kladeny požadavky na ESD opatření).

Při přípravě vzorků je důležité, aby analyzovaná oblast byla soustředěna v ose otáčení. Za tímto účelem pro rozměrnější vzorky byl vytvořen držák s posuvnou rovinou, kde lze měnit vzdálenost od osy otáčení viz obr. 2.16.



Obr. 2.14: Uložení DPS pro 3D analýzu.



Obr. 2.15: Dodávané příslušenství.



Obr. 2.16: Vyrobený posuvný držák.



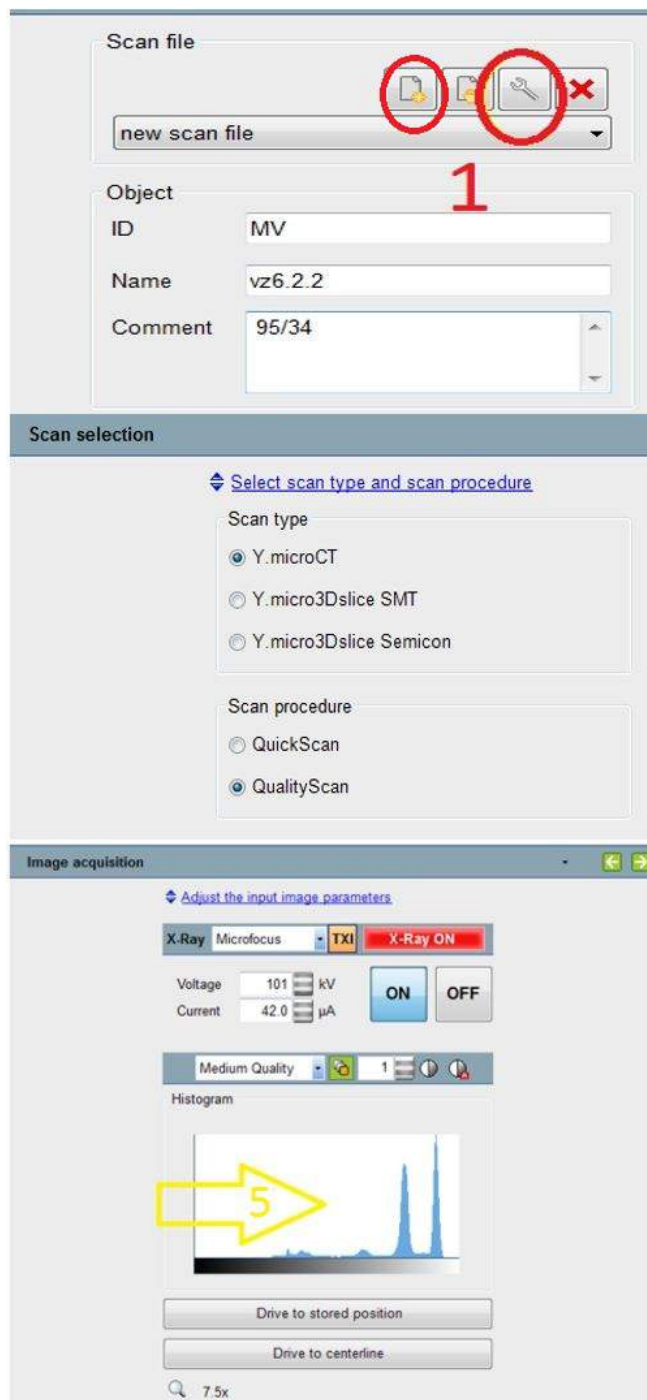
Obr. 2.17: Ukázka připraveného vzorku.

Postup nastavení snímání dat

Počáteční příprava RTG: zapnout RTG → vložit tray pro 3D analýzu → uvést pohyblivé prvky do referenční polohy příkazem *Start ALL* → z rolety ovládacího panelu - *View* → vybrat prostředí *μCT workspace*.

Proces snímání:

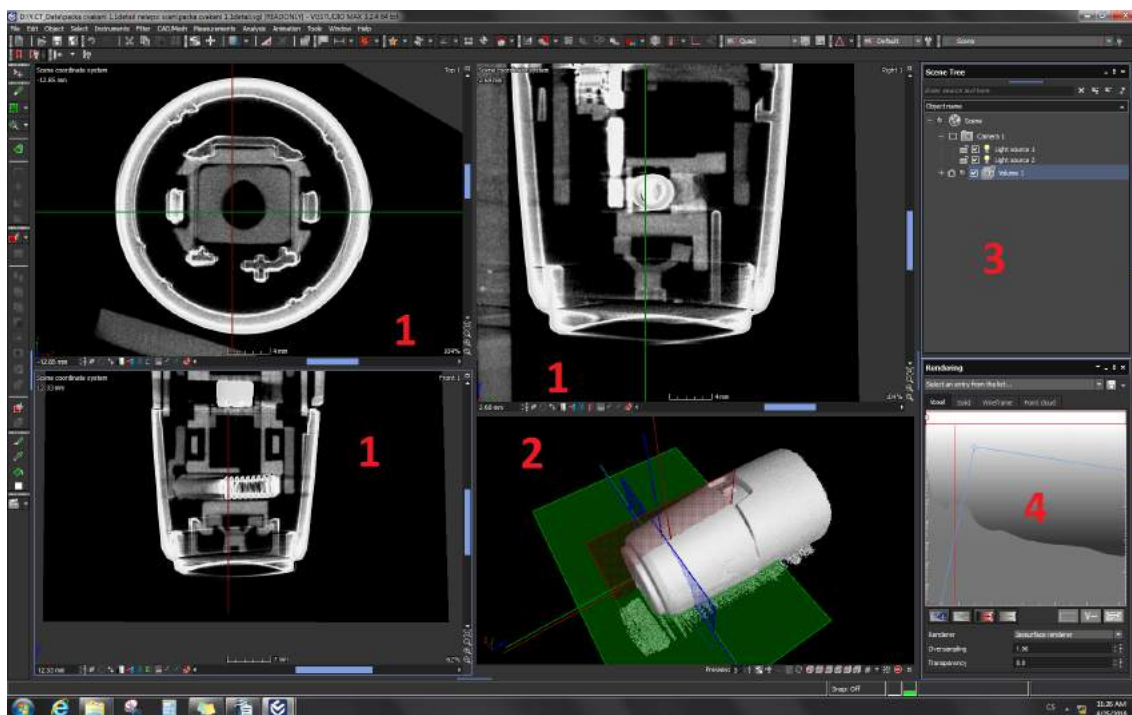
1. Kliknou na ikonu *New profile* a zadat jméno nového profilu, nebo editovat stávající profil kliknutím na ikonu montážního klíče → vybrat Y.mikroCT + kvalitu skenu → přesun do další nabídky zelenou šipkou doprava.
2. Opatrně zajet manipulátorem se vzorkem pod detektor - POZOR NA KOLIZI RTG trubice a detektoru se vzorkem!
3. Zobrazit požadovanou část vzorku již, plánujeme skenovat.
4. Otočit se vzorkem o 360° a sledovat, zda požadovaná část byla stále zobrazena v náhledu RTG, popřípadě upravit polohu, nebo magnifikaci.
5. Nastavit urychlovací napětí a proud tak, aby zobrazený histogram zobrazoval celé materiálové spektrum.
6. Pojmenovat soubor, zvolit rozlišení skenovacího objemu (Optimální hodnota pro implementovaný detektor záření je *Cube size 1004*. Je možné zvolit i hodnotu 504, což ale bude mít za následek nižší rozlišení). Rozsah úhlů pro skenování volíme nejlépe 360° (snížení hodnoty vede k šumu a nekvalitním výsledkům).
7. Zapnout PC pro rekonstrukci obrazu.
8. Kliknout na zelené "*play*" tlačítko.



Obr. 2.18: Ukázka vybraných kroků pro nastavení snímání ve 3D.

2.3.2 Popis a práce v prostředí VGStudio 3.0

Naskenovaná data z RTG se automaticky uloží na PC pro zpracování obrazu. Program VGStudio se automaticky spustí a z nasnímaných dat v podobě 2D snímků vytvoří renderování 3D model. Tato kapitola se bude věnovat úpravě a analýze takto získaného modelu.



Obr. 2.19: Popis okna VGS Studio MAX 3.0: 1. Řezové roviny, 2. 3D model, 3. Scene tree, 4. Rendering diagram.

Základní popis okna programu:

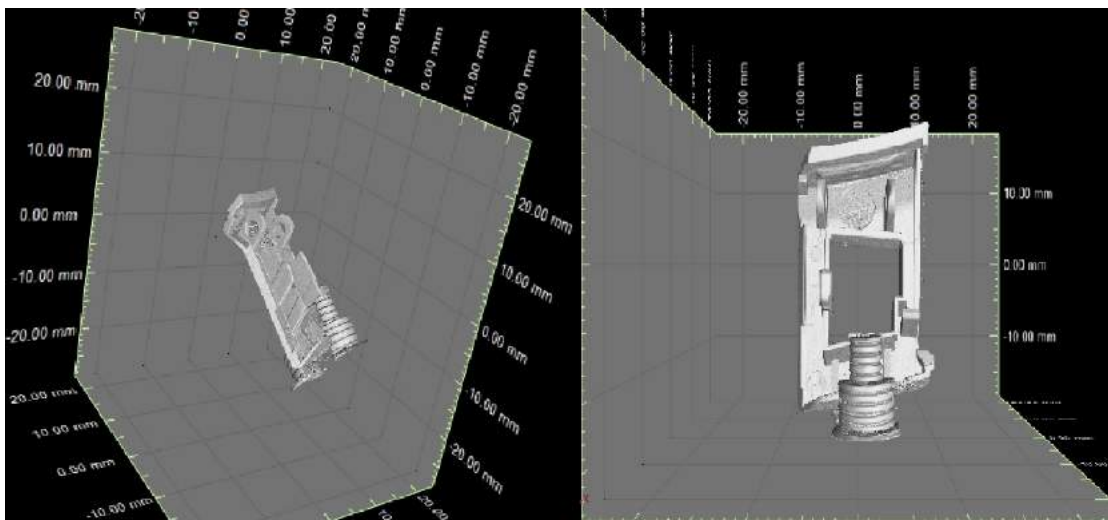
1. Řezové roviny - protínají 3D model a zobrazují 2D snímek odpovídající danému řezu modelem (2) na obr. 2.19.
2. 3D model - dle nastavení rendering diagramu zobrazuje 3D zobrazení nasnímaných dat.
3. Scene tree - výčet naskenovaných objemů, použitých nástrojů a analýz.
4. Rendering diagram - jedná se o voxelový histogram znázorňující intenzitu odstínů šedi - tedy kontrast jednotlivých materiálů naskenovaného vzorku. Materiály kontrastní (kovy) tvoří oblast vpravo, materiály méně kontrastní (plasty) tvoří levou oblast. Oblast vlevo, tedy nejvyšší špička histogramu je tvořena okolním prostředím - vzduchem. Histogramem procházejí dvě přímky. Červená svislá přímka určuje rozsah zobrazené voxelové hloubky - oblast vpravo od přímky. Pohybem přímkou doprava na obr. 2.19 by vymizely na 3D modelu

voxely plastů a zůstala by deska plošného spoje a chromová vrstva na povrchu dílů. Modrá přímka definuje kontrast jednotlivým materiálů zobrazených ve 2D řezových rovinách. Lze měnit její strmost, výšku a intervaly jednotlivých kontrastů materiálů.

Registrace objektu v prostoru

Při pohledu na surová naskenovaná data je model nepřesně umístěn v prostoru definovaným osami XYZ. Zobrazení v jednotlivých řezových rovinách je neuspořádané, kruhové útvary jsou zobrazeny jako elipsy, jelikož tyto roviny protínají model šikmým směrem. Proto na začátku analýzy (i v průběhu) objekt registrujeme (vyrovnáme) v prostoru dle potřeb ideálního zobrazení. Metod registrace je několik.

Následující kapitoly s metodikou zpracování obrazu a analýzy popíší metody **Simple registration**, **3-2-1 registration**, **Best fit registration**.



Obr. 2.20: Registrace objektu v prostoru - vlevo neregistrovaný objekt, vpravo registrovaný

Měřicí nástroje

Nástroje umístěné v roletě **Instruments** slouží pro měření ve 2D řezových rovinách.

- Indicator: Slouží jako popis části objektu / označení chyb atd.
- Distance: Nástroj měření vzdálenosti. Udává vzdálenost dvou definovaných bodů.
- Caliper: Nástroj měření vzdálenosti. Udává vzdálenost dvou definovaných bodů. Jedná se o nástroj Distance doplněný o měřicí čelisti.
- Angle (3 points): Nástroj pro měření úhlů definováním 3 bodů.

- Angle (4 points): Nástroj pro měření úhlů definováním 4 bodů.
- Polyline length: Nástroj pro měření délky křivky/oblouku.

Při měření je vhodné využít úchopových režimů v roletě Instruments → Snap modes, pro snadnou detekci hran (přechod mezi kontrasty prostředí, materiálů).

Jednoduchá analýza

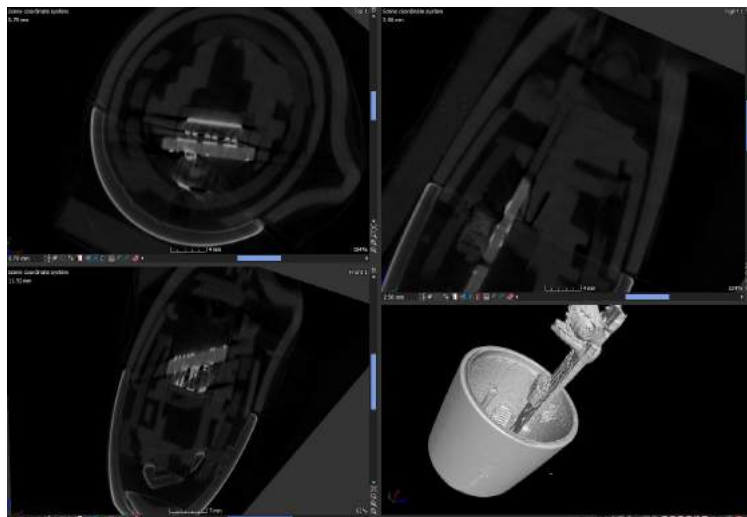
Tato kapitola popisuje metodiku zpracování nasnímaných dat pomocí jednoduchých postupů a nástrojů pro následnou analýzu.

Využití této analýzy pro rychlé zjištění:

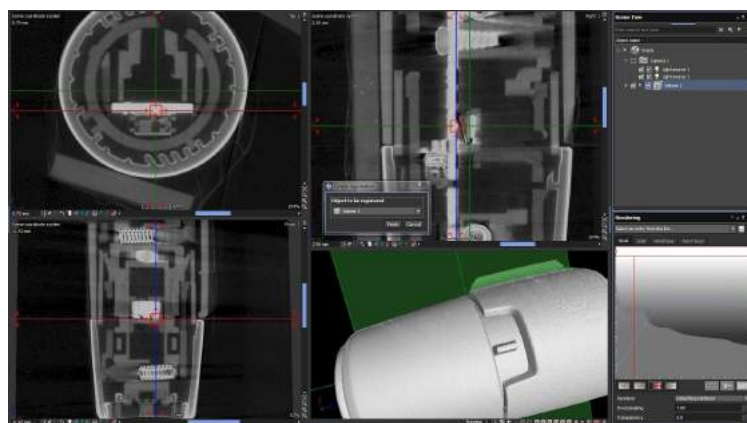
- informace o struktuře vzorku
- kvality pájeného spoje - zejména náhrada mikrovýbrusu
- vzájemné polohy dílů (špatně vložená součástka, povolený šroub, chybějící součástka,...)
- přítomnosti dutin (kov, plasty)

Metodika

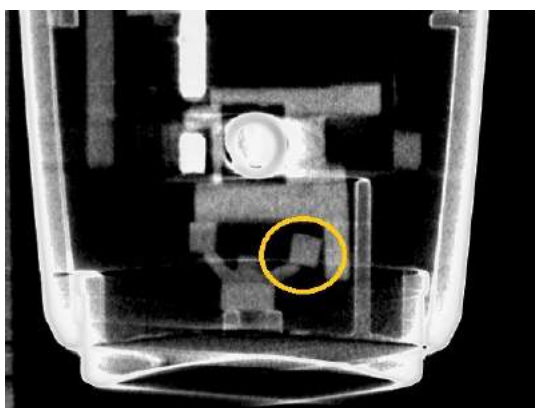
1. Dvojklikem na 3D model se zobrazí data v histogramu voxelů.
2. Tahem červenou přímkou nastavíme požadované zobrazení 3D modelu - hloubku voxelů.
3. Průběh modré křivky nastavíme dle požadavků intenzity jasu daných materiálů.
4. Registrace objektu: roleta *Object* → *Registration* → *Simple registration*. V řezových rovinách se zobrazí kříže. Otáčením křížů postupně srovnáme objekt ve všech řezových rovinách a potvrdíme registraci → *Finish*. Objekt na obr. 2.21 byl srovnán podle DPS uvnitř vzorku.
5. Listováním v řezových rovinách zjistíme vzájemnou polohu součástek - objevena závada v podobě špatně vložené gumičky tlačítka obr. 2.23.



Obr. 2.21: 3D data před úpravou.



Obr. 2.22: Registrace objektu v prostoru - Simple registration.



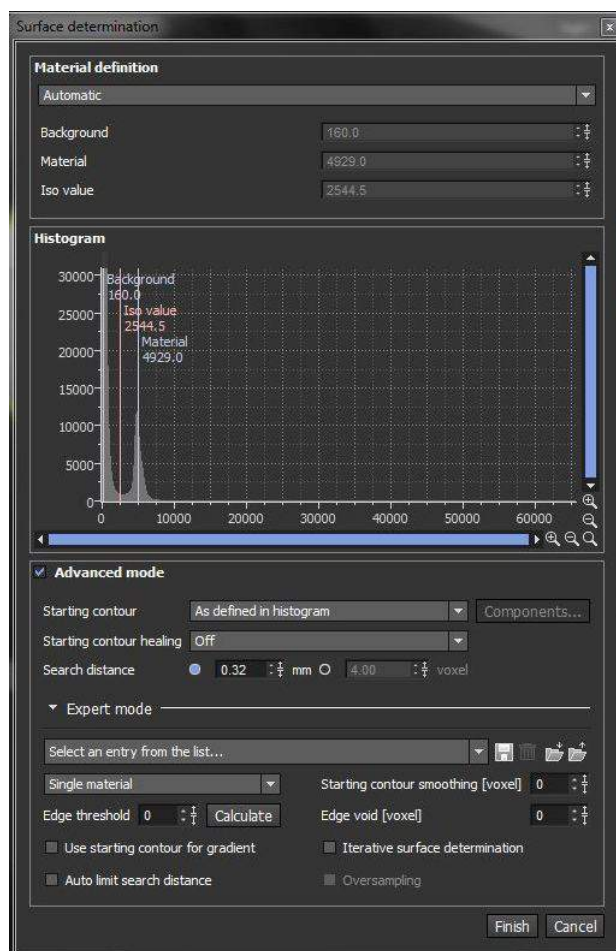
Obr. 2.23: Špatně vložená gumička tlačítka.

Komparace 3D modelu plastového dílu s CAD výkresem.

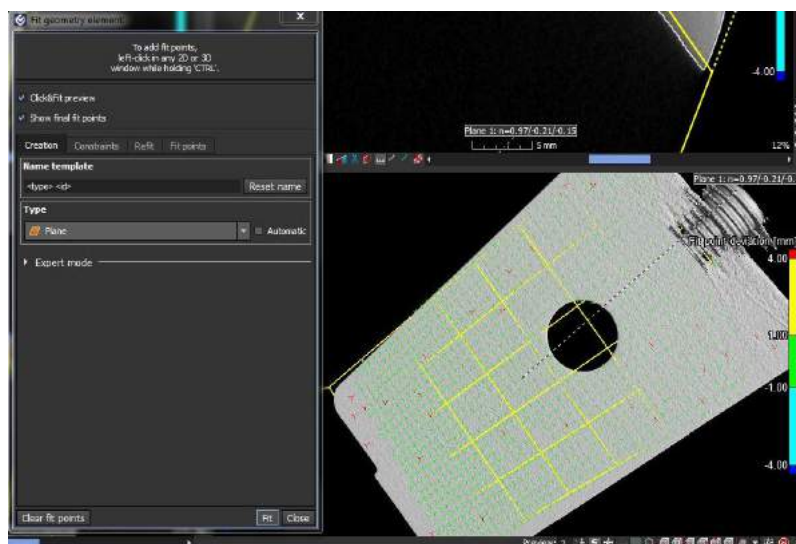
Velice významnou možností VGStudia je analýza s komparací nasnímaných dat s referenčním CAD modelem. Oblast využití: ověření rozměrů výrobku dodaných od dodavatele, ladění/ověření kvality procesu lisování plastů,.....

Metodika

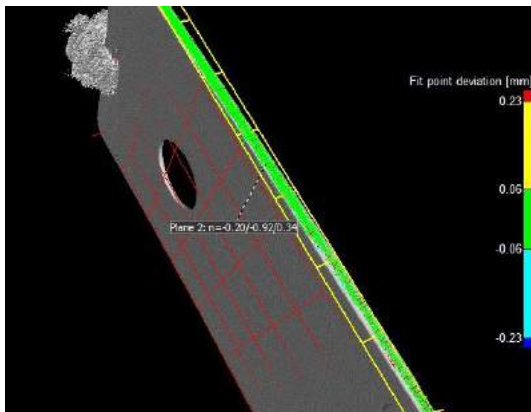
1. Definice materiálu - Definice voxelové hloubky tvořící analyzovaný materiál: Ve *Scene tree* označit naskenovaný vzorek *Volume1*, rolera *Object* → okno *Surface determination* → *Material definition* → *Automatic*, označit *Advanced mode* → *Finish* obr. 2.24.
2. Příprava pro registraci objektu metodou **321 Registration** - Tato metoda registrace využívá námi definované roviny XYZ na vzorku a proloží tyto roviny se základním souřadnicovým systémem programu: Označit *Volume1*, roleta *Measurement* → *Plane* → definujeme první rovinu: Držením CTRL a klikáním (min 3 kliknutí) na různá místa se vytvoří požadovaná rovina → potvrdíme → *Fit*, takto definujeme zbylé dvě roviny - viz obr. 2.27 - 2.28.
3. 321 Registration: Označit *Volume1*, Roleta *Object* → *Register object* → *321 registration*, v jednotlivých políčkách *Element* vybereme postupně námi definované roviny *Plane 1,2,3* → potvrdíme *Finish*.
4. Se vzorkem se nasnímal i kovová upínka, proto ji odstraníme: *Object* → *Clipping box*:: definujeme kvádr - co je mimo kvádr se odřízne.
5. Vložení CAD souboru: *File* → *Import* → *CAD* → *Mesh accuracy* → *High*.
6. Vzájemná registrace vzorku *Volume1* a CAD souboru: *Object* → *Register object* → okno *Best fit registration* → *Object to be fitted against* - vybereme importovaný CAD soubor, *Quality level* nastavíme na 50, *Options* → označíme *Consider surface orientation* → *Finish*.
7. Nastavení porovnávací analýzy: Roleta *Analysis* → *Create nominal/actual comparison*. Jako *Nominal object* vybereme CAD soubor a maximální odchylku mezi CAD a *Volume1* → *Calculate* → *Close*.
8. Nastavení barevného škálování rozdílných rozměrů: Dvojklikem na barevnou legendu zobrazíme její nastavení. Nastavíme horní, dolní barevnou mez a mezi nimi přechodnou oblast např. *Rainbow*.



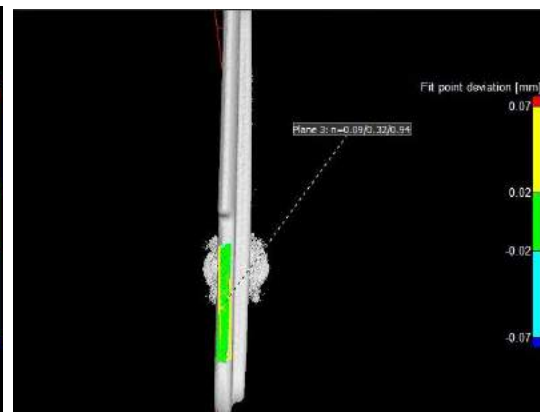
Obr. 2.24: (1) Určení materiálu .



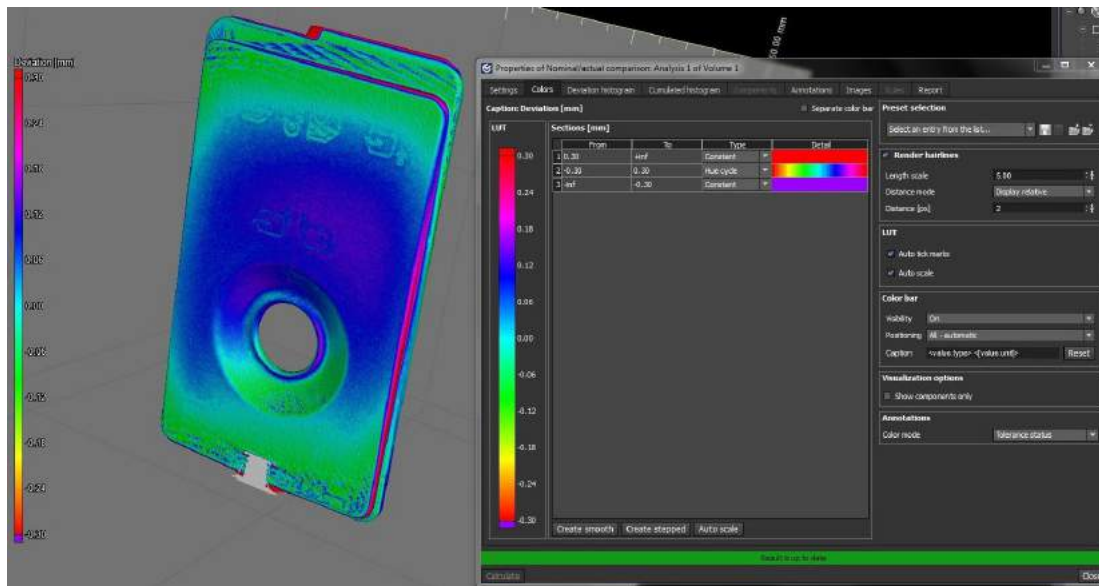
Obr. 2.25: (1) Definice roviny X.



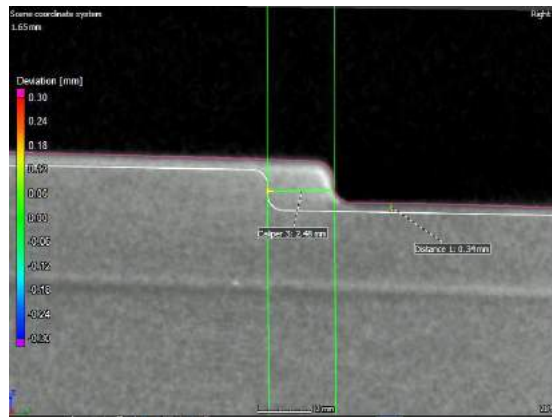
Obr. 2.26: Definice roviny Y.



Obr. 2.27: Definice roviny Z.



Obr. 2.28: Výsledek analýzy komparace s CAD.



Obr. 2.29: Výsledek analýzy komparace s CAD - vzorek má větší rozměry než předloha .

2.4 Analýza FLASH paměti

Dopad rentgenové kontroly na naprogramovaná data

Rentgenové paprsky se chovají v podstatě stejně jako paprsky viditelného světla, protože obě jsou vlnovými formami elektromagnetické energie nesené částicemi zvanými fotony. Rozdíl mezi rentgenovými paprsky a paprsky viditelného světla je 10 000 násobný rozdíl energie pro jednotlivé fotony, která je nepřímo úměrná vlnové délce. Bylo prokázáno, že rentgenové paprsky narušují distribuci prahového napětí (V_t) jednotlivých naprogramovaných bitů uvnitř paměti flash. Významná negativní odchylka ve V_t naprogramovaného bitu bude mít za následek nesprávné snímání stavu naprogramované bitové logiky během operace čtení, např. operace čtení dat nesprávně vrátí logický stav „1“, když má vrátit logický stav „0“ pro naprogramovaný bit. Dopad selhání čtení na výkon systému se může pohybovat od banálních, až po katastrofické.

Poruchu naprogramování hladiny bitu V_t ovlivňují různé faktory, včetně: Rentgenové spektrum energie - Rentgenové paprsky s intenzitou do 9 keV jsou obzvláště škodlivé pro paměťové buňky flash. Analýzou bylo zjištěno, že cesty mědi o síle 50 μm na DPS je nejlepší zobrazovat s energií 9 - 20 keV, zatímco komponenty pájky, např. cín a olovo, jsou dobře zobrazeny zářením o intenzitě 10 - 50 keV.

Rentgenové zařízení - Měřením bylo zjištěno, že velikost populace postižených bitů roste kvadraticky s přibývajícím proudem tekoucí trubici a nepřímo úměrně s rostoucí vzdáleností trubice a vzorku. Výzkum prokázal, že rentgenová energie a dávkový výkon se významně liší mezi běžně se používajícími RTG přístroji na trhu.

Doba vystavení paměti flash RTG záření - Velikost narušené populace (počet postižených bitů) se zvyšuje lineárně s časem rentgenové kontroly. Změna napěťové hladiny V_t však lineární není, mění se s druhou odmocninou času

Velikost procesoru flash paměti - U nově postavených zařízení se očekává s menší citlivostí na rentgenovou kontrolu ve srovnání se staršími technologickými zařízeními z důvodu zmenšování čipů. [8]

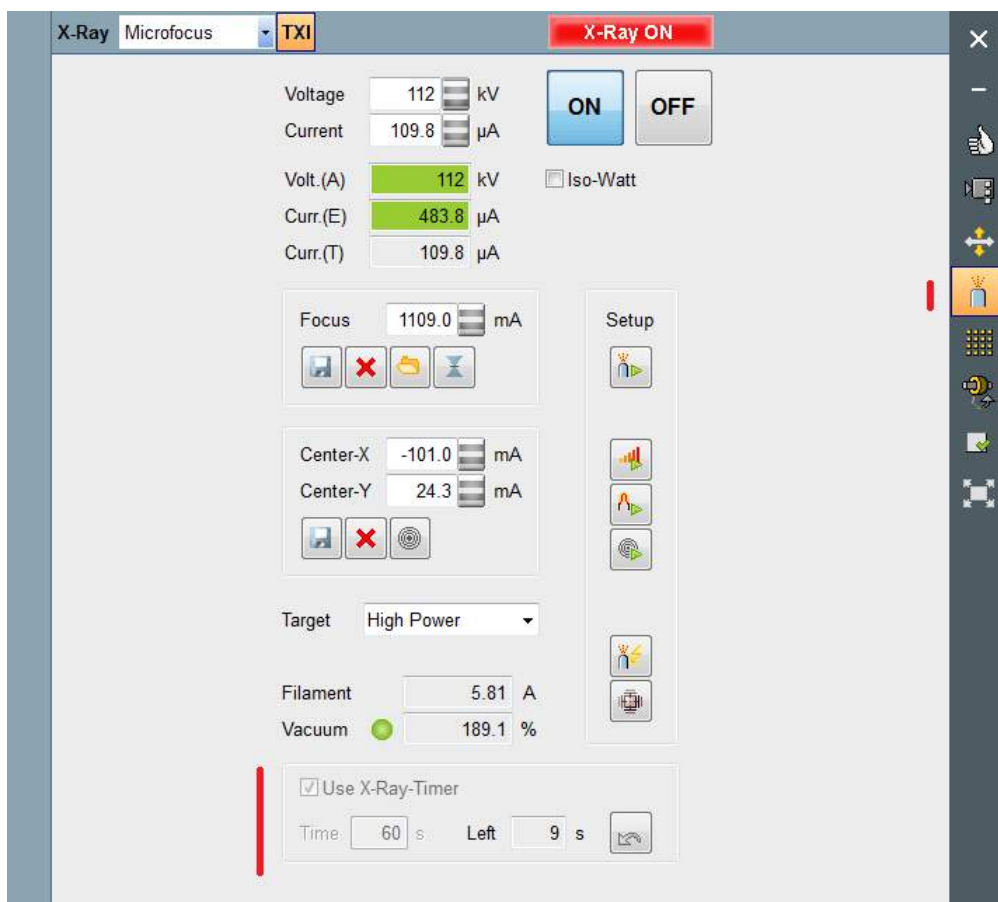
Doporučená opatření při analýze FLASH paměti

1. Pokud je analýza provedena po programování je doporučeno paměť přeprogramovat.
2. Použít zinkový filtr o síle 300 μm , nebo hliník a mosaz o síle 1 mm. (Běžně používané filtry rentgenového zařízení z berylia, mědi a nerezové oceli prokázaly neúčinnost při snižování škodlivých účinků měkkých rentgenových paprsků.)
3. Analyzovat hodnotou urychlovacího napětí nezbytnou pro správné zobrazení.
4. Použít adekvátní hodnotu proudu pro dosažení správné ostroty obrazu.
5. Zkoumat vzorek při největší možné vzdálenosti od trubice tj. při nejmenší magnifikaci.

6. Vzorek analyzovat po dobu nezbytně nutnou, nejlépe pořizovat jednotlivé snímky, než kontinuální analýzu. U zařízení YXlon Cougar se využije funkce Snapshot - jež je schopna zobrazovat analyzovanou oblast při již vypnutém RTG záření, bez nutnosti ukládání snímků na pevný disk PC.

Pro zajištění maximální integrity dat naprogramovaných bitů by se neměla po programování provést rentgenová expozice.

Pro stanovení limitu doby ozařování, je možné využít funkci Xray Timer. Po označení políčka stačí zadat maximální čas expozice, jež začne plynout dobou záplého záření. Po uplynutí stanoveného času přeruší expozici.

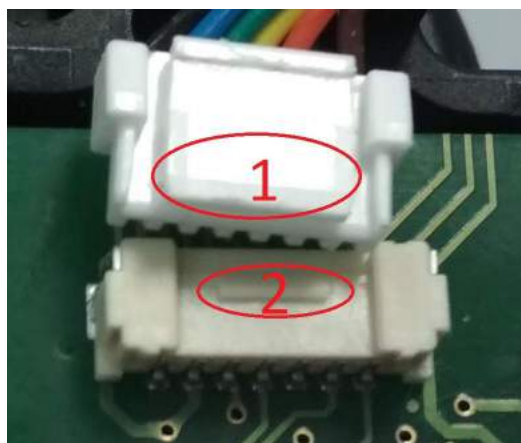


Obr. 2.30: Použití časovače pro omezení dávky záření flash paměti. Časovač aktuálně spuštěn - nelze provádět změny.

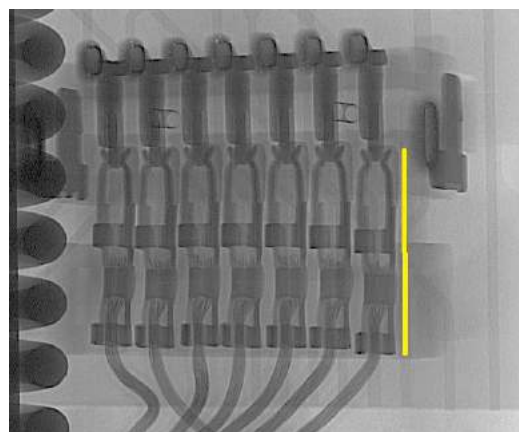
3 Analýza montážních celků

3.1 Analýza kvality zapojení konektoru

Odhalení nezapojeného konektoru je díky použití rentgenu triviální záležitostí. Na první pohled je patrné, že kovové části nepřiléhají, nebo jsou od sebe vzdáleny. Tato chyba je spolehlivě odhalena díky vodivostnímu elektrickému testu. Závažnější chybou je případ, kdy se konektor nachází v hraničním stavu, kdy dochází k vodičvému spojení, konektor se na první pohled (i pod rentgenem) jeví jako zapojený, ale přitom není zajištěný trn proti vytažení (viz obr 3.1) . Přes konektor bývá připojená celá řada signálů. Vypadnutí konektoru vlivem vibrací, nebo odstředivých sil vyvolá závažnou chybu všech připojených systémů.



Obr. 3.1: Ukázka konektoru:
1. pojistný klip, 2. pojistný trn.



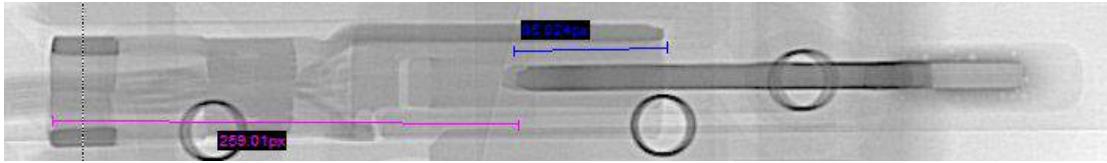
Obr. 3.2: Ukázka plně rozpojeného konektoru

Možností, jak chybu u zapouzdřeného výrobku spolehlivě odhalit, je změřit hloubku zasunutých čepelí v konektoru. Pomocí rentgenu a snímání ve 2D režimu můžeme pomocí funkce "*On sreen diplay*" změřit, dle popisu nástroje v kapitole 2.2.3. Nevýhodou měření v metrické soustavě je časová náročnost požití funkce, kde měřená délka závisí na magnifikaci rentgenu a nutnosti pro každý vzorek kalibrovat funkci. Efektivnějším a přesnějším způsobem je měřit přímo v pixelech za použití poměrové metody.

Poměrová metoda

Použitím nástroje "*Distance - On sreen diplay*" dochází po kalibraci k přepočtu změřených pixelů na jednotku délky z důvodu změny magnifikace. Jestliže dáme do poměru rovnice dvou na sobě závislých vzdáleností, zjistíme, že dojde k vykrácení magnifikačního koeficientu Mg a zjišťovaný kvalitativní koeficient Q je závislý pouze

na vzdálenosti změřené v pixelech. Přestože nemá magnifikace rentgenu vliv na koeficient Q , volíme ji co nejvyšší, z důvodu přesnosti měření. Čím větší plochu detektoru využijeme, tím přesnější data získáme.



Obr. 3.3: Ukázka vhodně zvolených vzdáleností pro určení kvality zapojení konektoru. Popisuje zvolené oblasti: lpx_{HI} (fialová), lpx_{LO} (modrá).

Pro zjištění kvality zapojení konektorů byly určeny dva limitní koeficienty Q :

- Q_{ok} - Koeficient správného zapojení. Pokud se ze změřených hodnot vypočítá dle rovnice 3.1 koeficient Q blízký stanovené hodnotě Q_{ok} , můžeme konstatovat správnost zapojení konektoru.
- Q_{NG} - Koeficient nesprávného zapojení. Stanoven pro limitní stav, kdy se konektor nachází na samotné hranici zapojení, tedy těsně před zapadnutím pojistného klipu na trn konektoru bránícímu jeho vytažení.

Zvětšujícím se koeficientem Q od stavu Q_{ok} se zvětšuje míra rozpojení konektoru.

$$Q = \frac{Mg \times lpx_{HI}}{Mg \times lpx_{LO}} = \frac{lpx_{HI}}{lpx_{LO}} \quad (3.1)$$

$$Q_{OK} = \frac{lpx_{HI}}{lpx_{LO}} = \frac{625}{124} = 5,04 \quad (3.2)$$

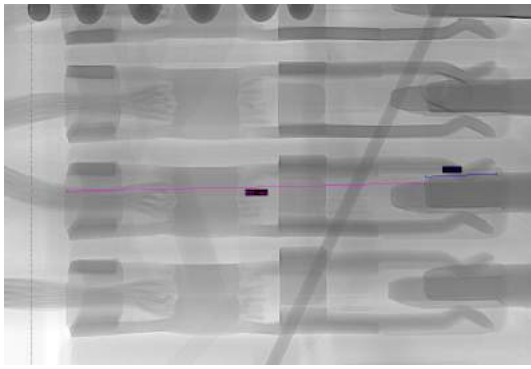
$$Q_{NG} = \frac{lpx_{HI}}{lpx_{LO}} = \frac{630}{92} = 6,85 \quad (3.3)$$

Určení koeficientů Q pro kvalitu zapojení konektoru Molex japan - 505567 - **70 ve stavu správného zapojení 3.2 a stavu rozpojení těsně na hraně klipu 3.3.

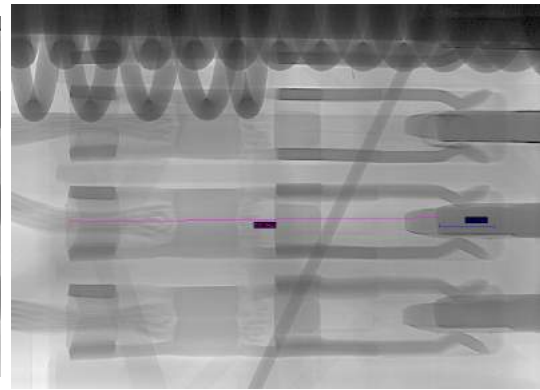
$$Q_{OK} = \frac{lpx_{HI}}{lpx_{LO}} = \frac{259}{85} = 3,05 \quad (3.4)$$

$$Q_{NG} = \frac{lpx_{HI}}{lpx_{LO}} = \frac{262}{80} = 3,28 \quad (3.5)$$

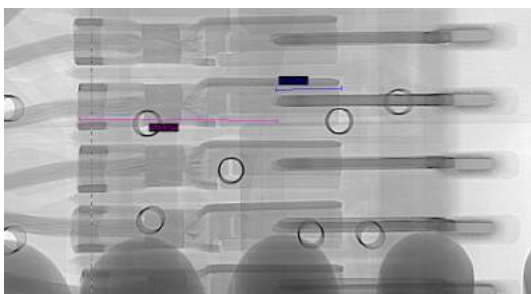
Určení koeficientů Q pro kvalitu zapojení konektoru Molex japan - 502386 - **70 ve stavu správného zapojení 3.4 a stavu rozpojení těsně na hraně klipu 3.5.



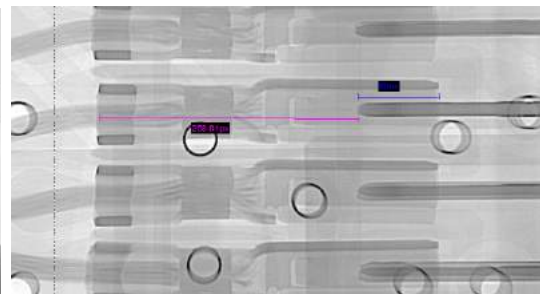
Obr. 3.4: Správné zapojení konektoru Molex japan - 505567 - **70



Obr. 3.5: Nezapojený konektor - nezajištěný klip



Obr. 3.6: Správné zapojení konektoru Molex japan- 502386 - **70



Obr. 3.7: Nezapojený konektor - nezajištěný klip

3.2 Analýza praskliny prokovu DPS a vliv na propojení mezi 1. a 4. vrstvou

Nejčastější skrytou vadou desek plošných spojů jsou oblasti prokovení otvorů, nesprávné napojení prokovů na vnitřní vrstvy a delaminace [7]. Následkem teplotního, nebo mechanického namáhání mohou vznikat praskliny prokovu v oblasti napojení na vnitřní vrstvy DPS.

Aby bylo možné vadu popsat, bylo prvním úkolem ji vytvořit pro pozdější analýzu pod rentgenem. Zkoumaná deska byla vyrobena pro automobilový průmysl, kde hotový výrobek procházel klimatickými zkouškami - cyklickým teplotním testem v intervalu -40°C - $+85^{\circ}\text{C}$. Jelikož deska byla navržena tak, aby odolávala extrémním změnám teplot, bylo upuštěno od simulace prasklin změnou teploty. A tak byla zvolena destrukční zkouška mechanického namáhání. Deska byla podrobena extrémnímu cyklickému namáhání ohybem do té doby, než došlo k viditelné prasklině na desce (zřetelná prasklina základního materiálu a vodivých cest). Následně byly zkoumány prokovy v blízkém okolí praskliny, pro nejvyšší pravděpodobnost defektu.

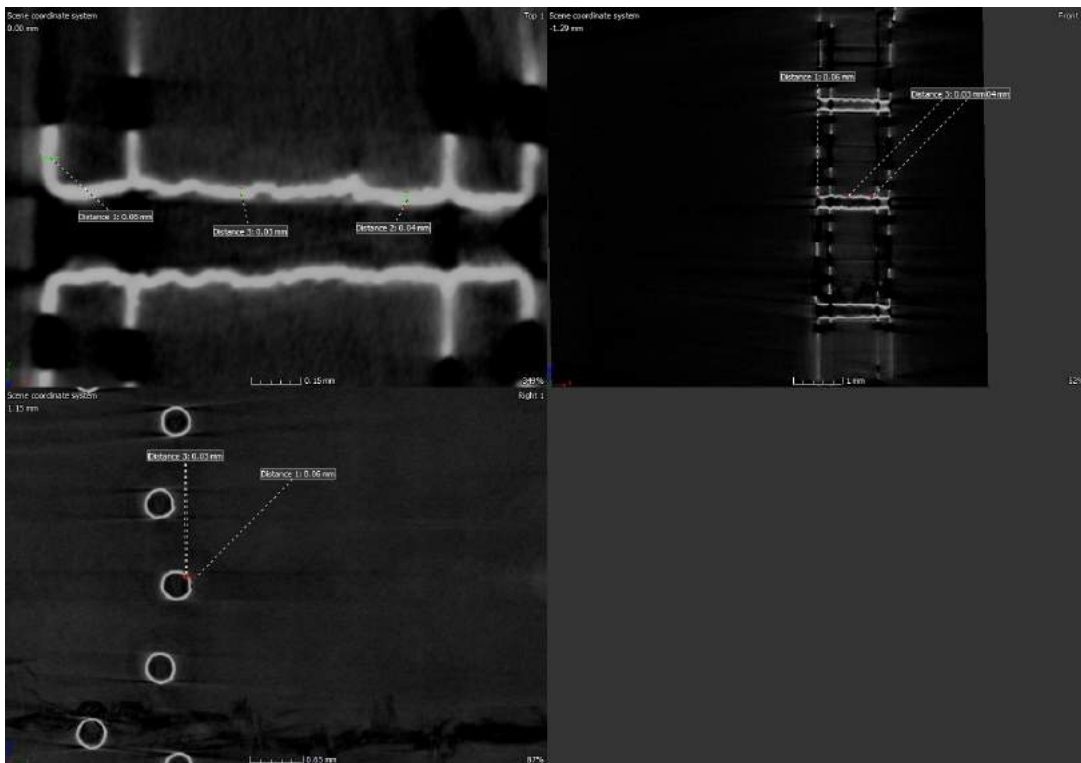
Detekce prasklin 3D analýzou - DPS pro automotive

Analýza probíhala naskenováním vadné oblasti desky rentgenem ve 3D režimu. Ze získaných dat byl zrekonstruován 3D model (náhled obr. 3.9), jež byl zkoumán v jednotlivých řezech danými rovinami. Oblasti řezu jednotlivými vrstvami popisují snímky 3.10 - 3.15, jež **nejeví žádné stopy po možných vzniklých prasklinách**. Řezem osou *Z* byla zkoumána kvalita pokoveného otvoru, kde se vrstva pokovení pohybovala mezi 30-40 μm .

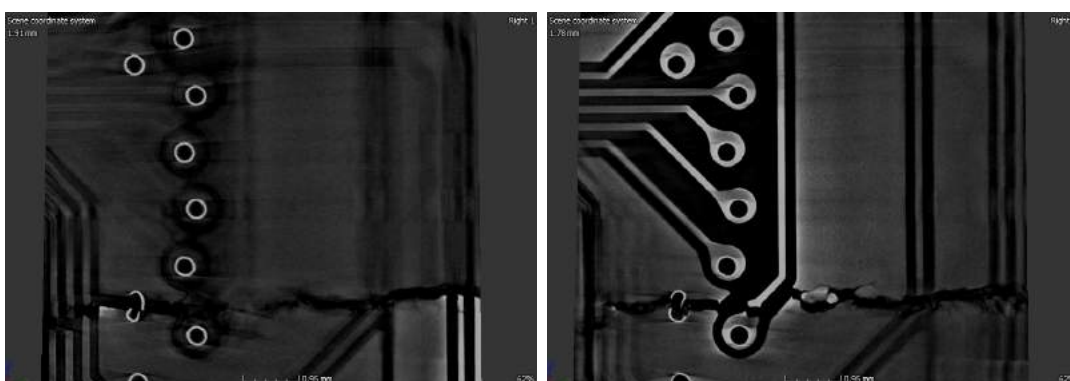
RTG analýzou byla odhalena trhлина v 2. vrstvě DPS prokovu nacházejícího se vedle zlomu desky. Prasklinu popisuje obr. 3.16 a přílohy B.1, B.2 B.3.



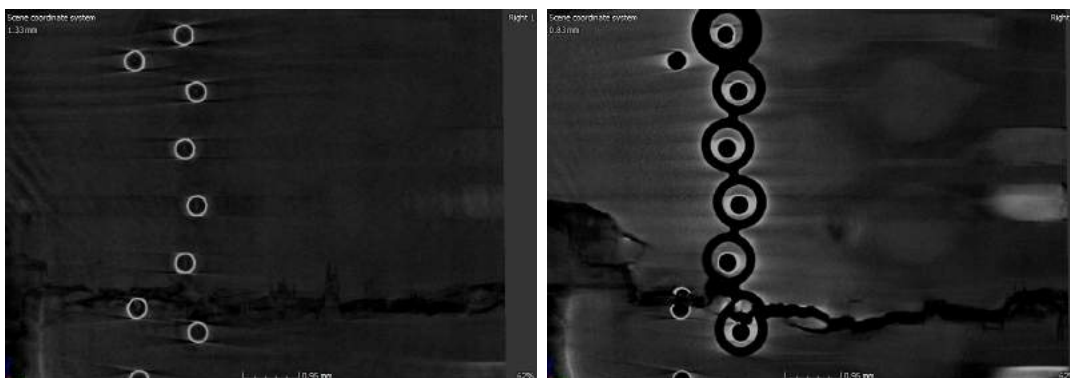
Obr. 3.8: 3D pohled znázorňující prokovy u 4 vrstvé DPS.



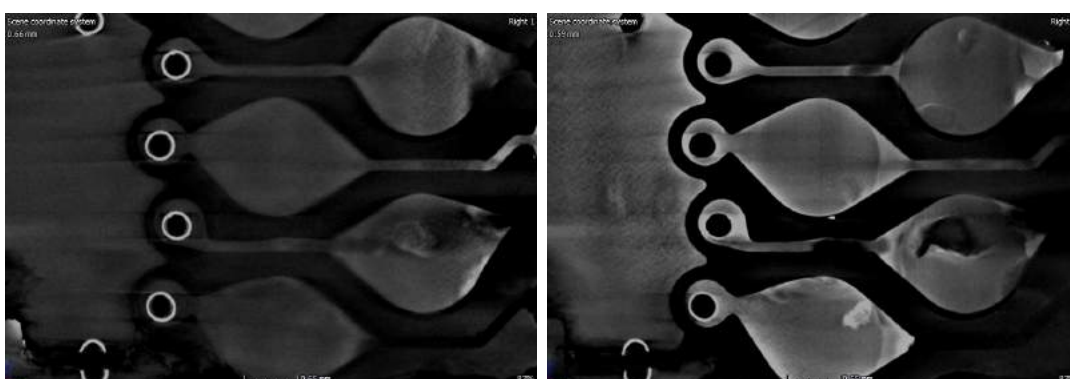
Obr. 3.9: Řez prokovem a změřené hodnoty vrstvy pokovení.



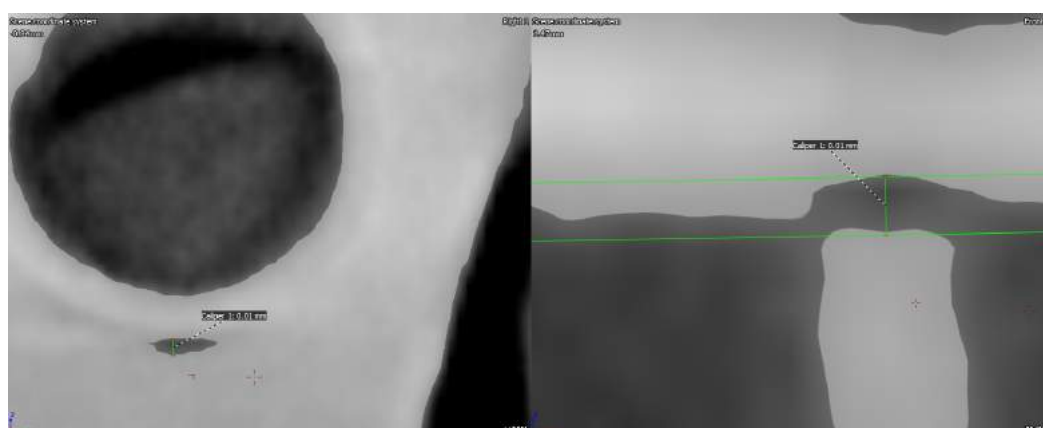
Obr. 3.10: Pohled v řezu desky mezi 1. a 2. vrstvou - pod 1. vrstvou. Obr. 3.11: Pohled v řezu desky 2. vrstvou.



Obr. 3.12: Pohled v řezu desky mezi 2. a 3. vrstvou
 Obr. 3.13: Pohled v řezu desky 3. vrstvou



Obr. 3.14: Pohled v řezu desky mezi 3. a 4. vrstvou
 Obr. 3.15: Pohled v řezu desky 4. vrstvou



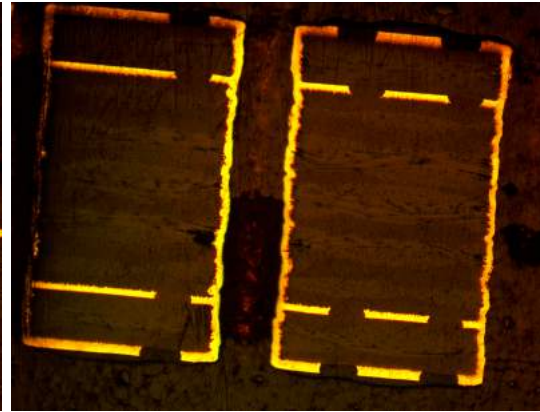
Obr. 3.16: Detekce praskliny přímo u zlomu desky.

Ověření přítomnosti praskliny mikrovýbrusem - DPS pro automotive

Pro kontrolu metody detekce praskliny rentgenem byl zhotoven mikrovýbrus. Snímky z mikroskopu neodhalily výskyt prasklin.



Obr. 3.17: Mikrovýbrus DPS pro automotive I. - bez defektu.



Obr. 3.18: Mikrovýbrus DPS pro automotive II. - bez defektu.

DPS pro spotřební elektroniku.

Jelikož se na vzorku DPS pro automotive nevyskytly defekty, byl experiment proveden i pro DPS spotřební elektroniky s cílem zobrazit defektní oblast rentgenem a rozhodnout o vhodnosti použití RTG pro detekci prasklin prokovu.

Deska spotřební elektroniky byla podrobena stejnému mechanickému namáhání jako deska vyrobená pro automotive průmysl. Výskyt prasklin se analyzoval mikrovýbrusem a defektní místa překontrolována rentgenem.

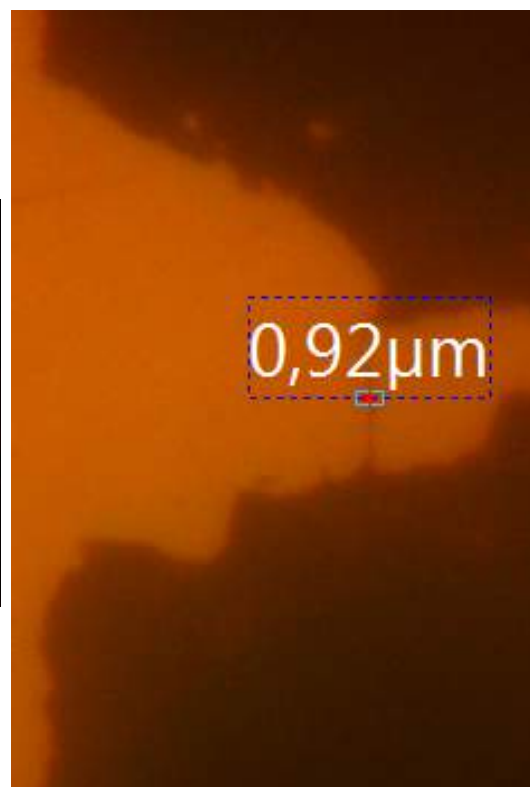
Mikrovýbrusem byly odhaleny dvě praskliny (označeny A a B), následná **kontrola rentgenem tyto praskliny nepotvrdila (obr. 3.24).**



Obr. 3.19: Mikrovýbrus DPS pro spotřební elektroniku - Nalezeny 2 praskliny A, B



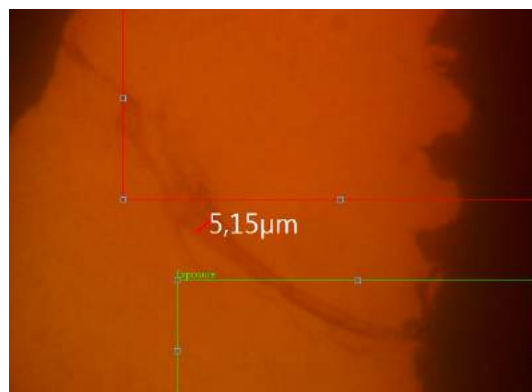
Obr. 3.20: A prasklina detail I.



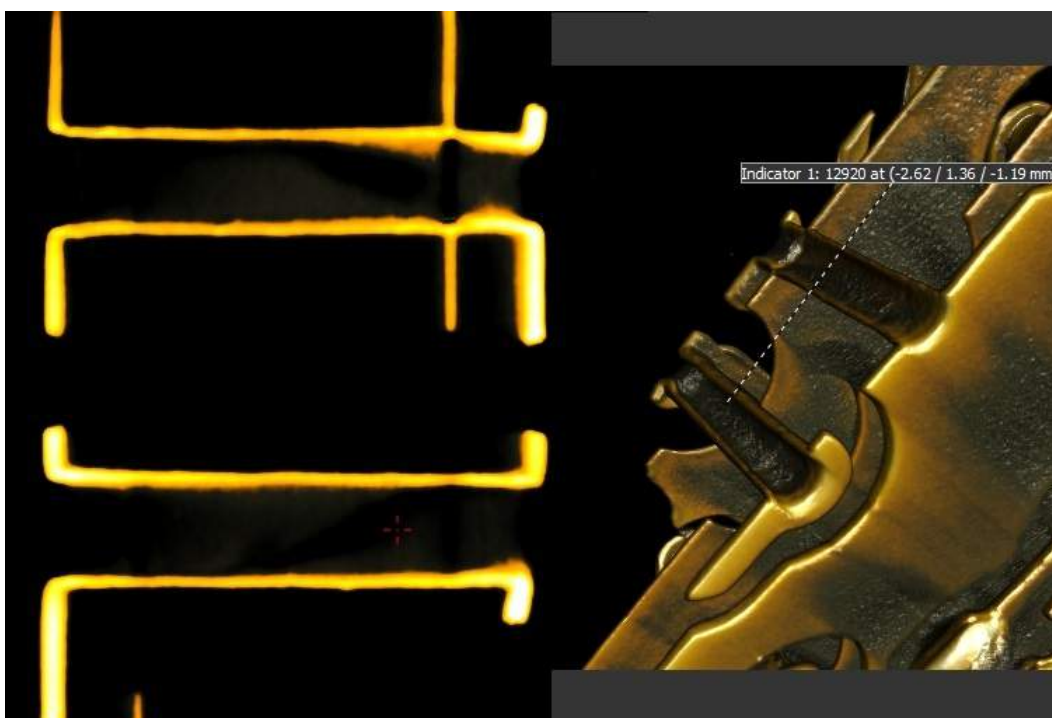
Obr. 3.21: A prasklina detail II.



Obr. 3.22: B prasklina detail I.



Obr. 3.23: B prasklina detail II.



Obr. 3.24: RTG analýza DPS pro spotřební elektroniku - defekty A,B nebyly odhaleny.

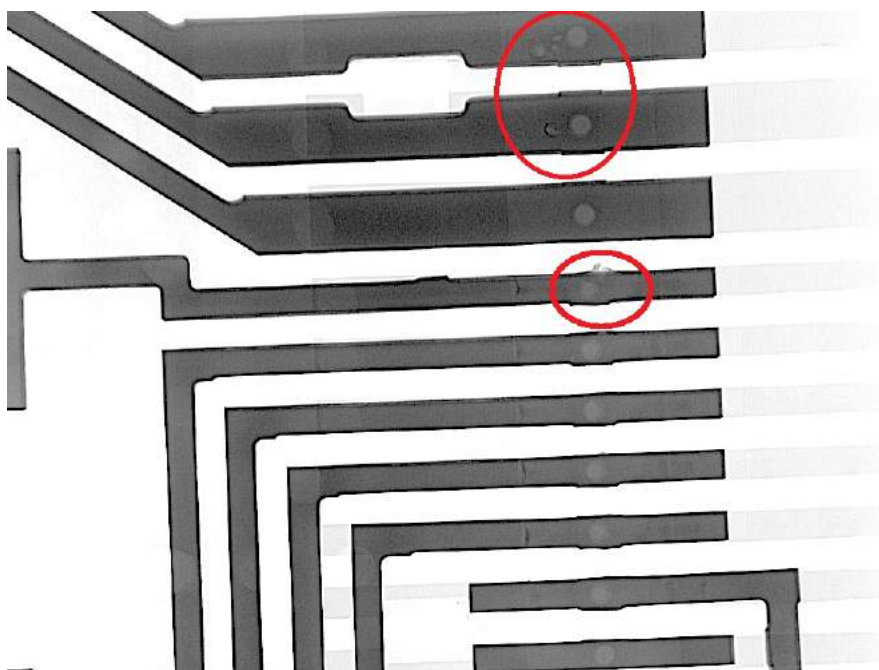
3.3 Analýza svařovaného spoje

3.3.1 Analýza svaru plochého vodiče a konektoru metodou bodového svařování

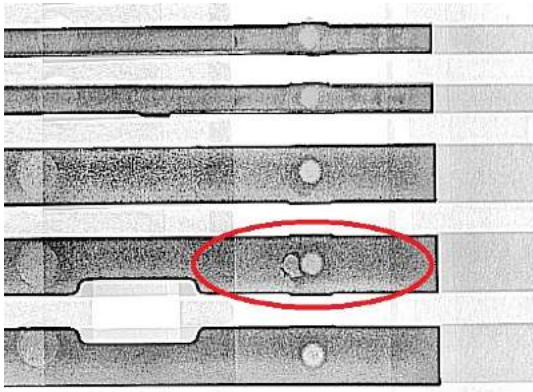
Podstatou spojení materiálů je vzájemné přimáčknutí dvěma elektrodami jimiž zároveň prochází elektrický proud. Vlivem odporu vytvořené teplo zajistí natavení a spojení dvou kovů.

Vyskytující se chyby:

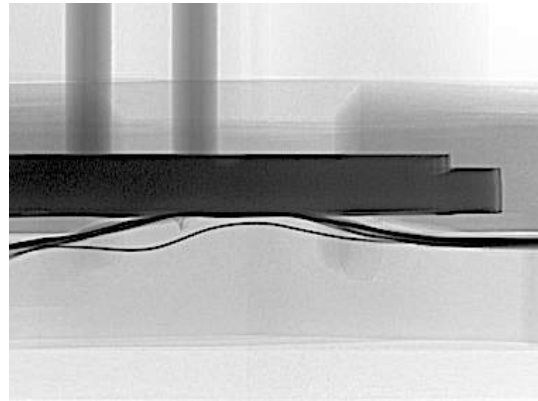
- Příliš silný svar: Příliš silným svařením dochází k roztavení mědi na plošce, okolí svaru je deformované, svar není kulatý (obr. 3.25).
- Poškozený otvor po svařování: otvor nestandardního tvaru (obr. 3.26), špatné natavení, vodič nepřiléhá ke konektoru - boční pohled (obr. 3.27).
- Nesprávná pozice vodiče na plošce konektoru (obr. 3.28).
- Nedostatečné svaření - Na první pohled nedetekovatelný defekt: Odhaluje se postupným zvyšováním intenzity záření. Zatímco u správně svařených spojů začne vystupovat obrys svaru, u nedostatečného svaření je obrys nezobrazen - zobrazí se až při vyšší intenzitě záření (obr. 3.29,3.30).



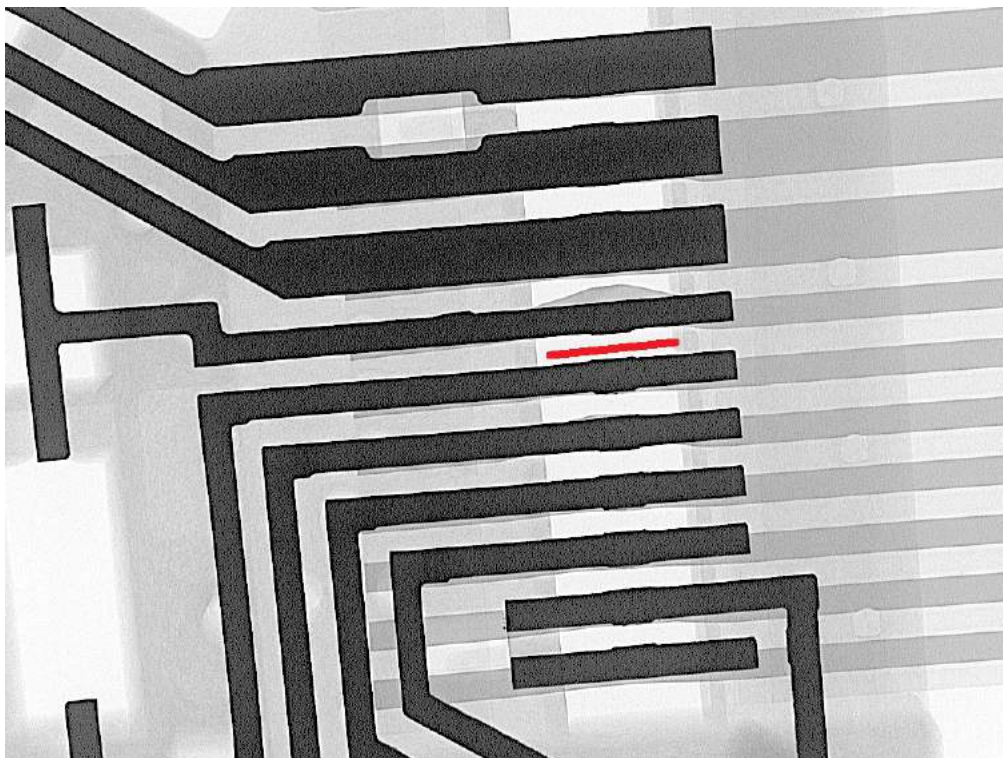
Obr. 3.25: Příliš silný svar - Natavená měděná ploška, zřetelné rozpoznání defektu.



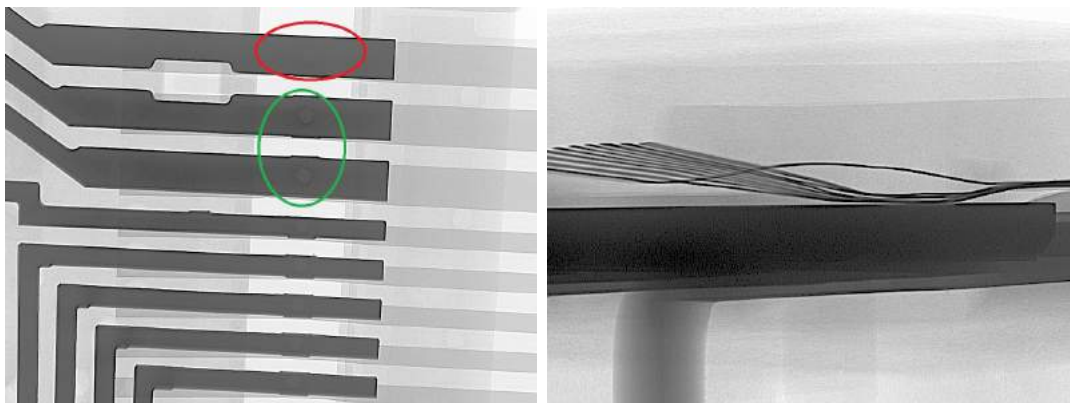
Obr. 3.26: Poškozený otvor po svařování.



Obr. 3.27: Poškozený otvor po svařování - Vodič odstává, nedošlo ke svaření - pohled z boku.



Obr. 3.28: Nesprávná pozice vodiče.



Obr. 3.29: Nedostatečné svaření: čer- Obr. 3.30: Nedostatečné svaření: vodič
veně - nedetekovatelný obrys. Zeleně - odstává, nedošlo ke svaření - pohled z
správný svar, obrys detekován. boku.

3.3.2 Analýza svaru lanového vodiče a konektoru metodou ultrazvukového svařování

Spojování dvou kovů pomocí ultrazvuku našlo uplatnění i v mikroelektronice při tzv. kontaktování. Používají se dvě metody, a to "Thermosonic"(TS) a "Ultrasonic"(US). U metody Thermosonic se využívá v principu termokompres (TC) s podporou ultrazvuku a metoda Ultrasonic využívá ke spojení čistě tepelných účinků ultrazvukového pole na styku dvou kovů – vodiče a kontaktní plošky.[10]

Vyskytující se chyby:

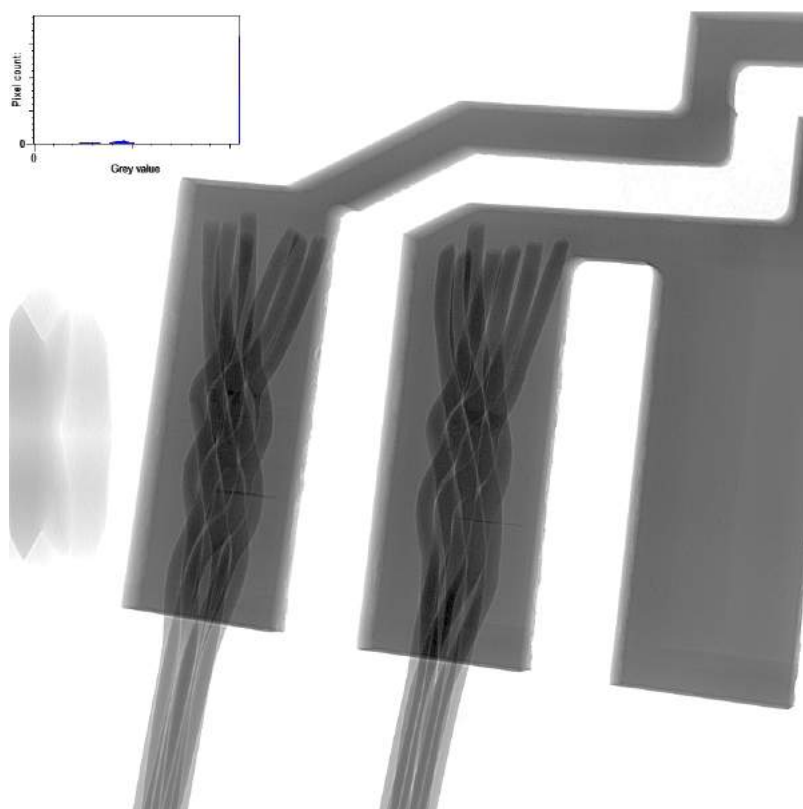
- Nedostatečné svaření - pomocí RTG nelze detekovat pruhy svaru na vodiči, jež indikují jakost svaru (obr. 3.31 A.).
- Natavená izolace - pomocí RTG nedetekovatelná chyba.
- Vodič mimo blok - defekt detekovatelný 2D i 3D analýzou.
- Chybějící vrypy - pomocí RTG nedetekovatelná chyba. I když na 3D snímku lze vidět na jedné plošce vrypy, tak na druhé plošce vrypy detekovány nebyly (Vrypy po vizuální stránce vypadaly podobně).

Pomocí 2D snímku lze získat pohled na úplet vodiče a zjistit orientačně polohu vodiče vůči kontaktní plošce. Řezovými rovinami 3D modelem získáme informaci o přiléhání vodiče ke kontaktní plošce, zda někde nevyčnívá.

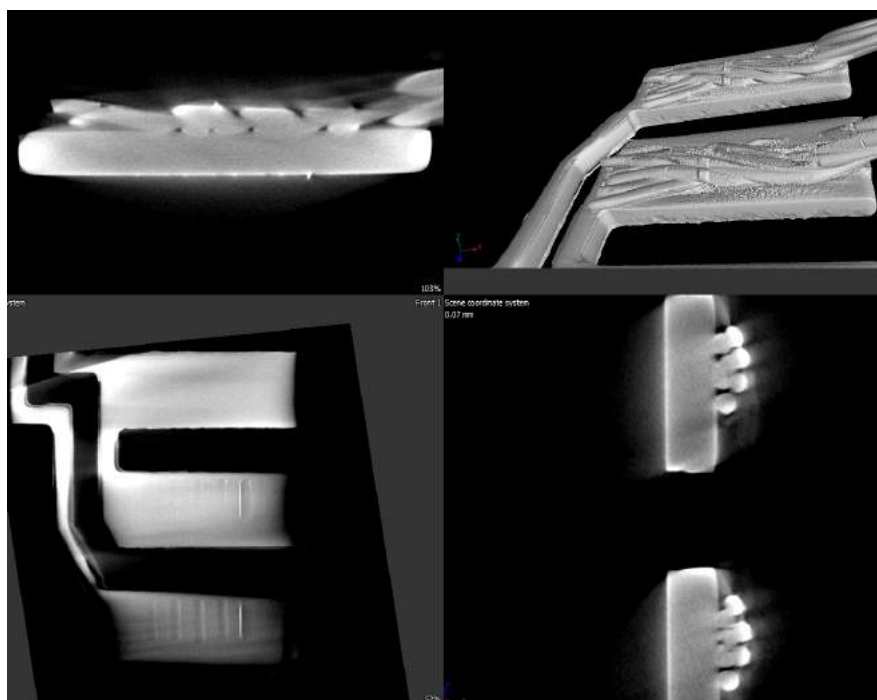
Snímek 3.34 zobrazuje nesvařený vodič. Je zde viditelný odstup mezi kontaktní ploškou a vodičem.



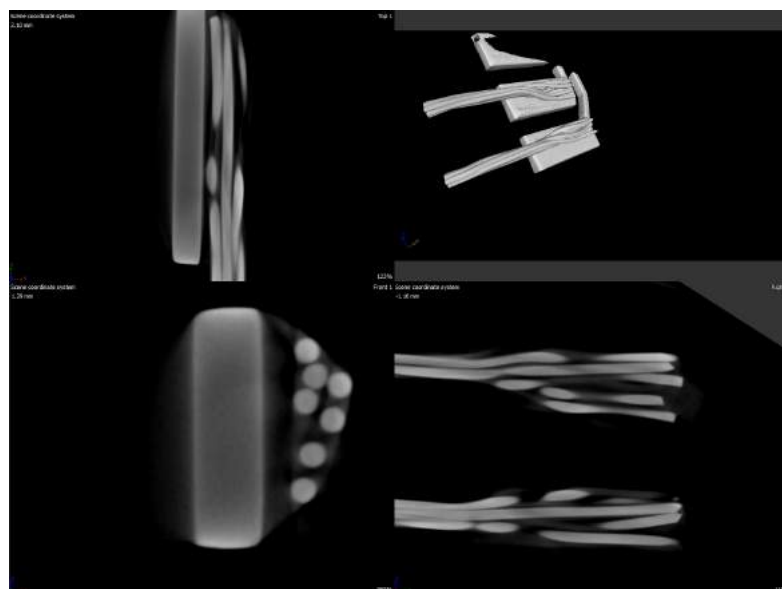
Obr. 3.31: Ukazatele jakosti - optická detekce: A) OK žádoucí stav - minimálně 2 pruhy po svařování, B) NG roztřepené vodiče, C) NG vodiče mimo blok, d) NG viditelný středový vodič blok, E) OK minimálně 6 viditelných vrypů na spodní straně, F) NG absence vrypů.



Obr. 3.32: Ultrazvukové spojení vodiče a konektoru.



Obr. 3.33: 3D analýzy ultrazvukového svaru.



Obr. 3.34: 3D analýzy ultrazvukového svaru - nesvařený vodič.

3.4 Kvalita pájení vývodových součástek

Požadavky kvality a popis defektů vyplnění děr dle normy IPC-A-610

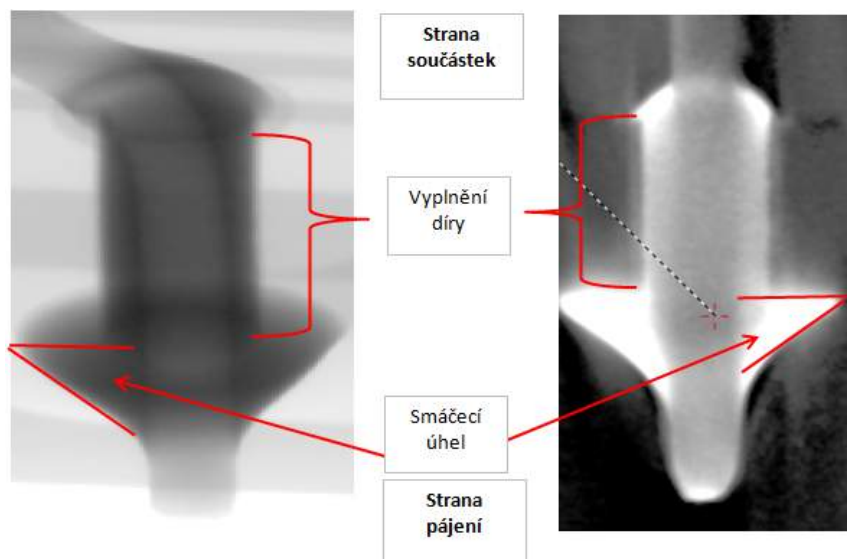
Požadovaným výsledkem pájení vývodové součástky je stoprocentní vyplnění prokovu pájkou a viditelné smáčení vývodu součástky viz obr. 3.35 vpravo.

Přijatelné limity pro elektroniku tříd 1,2,3: Minimální přijatelná hodnota činí 75 % vyplnění prokovu a maximálně 25 % mohou tvořit voidy a oblasti bez výplně.

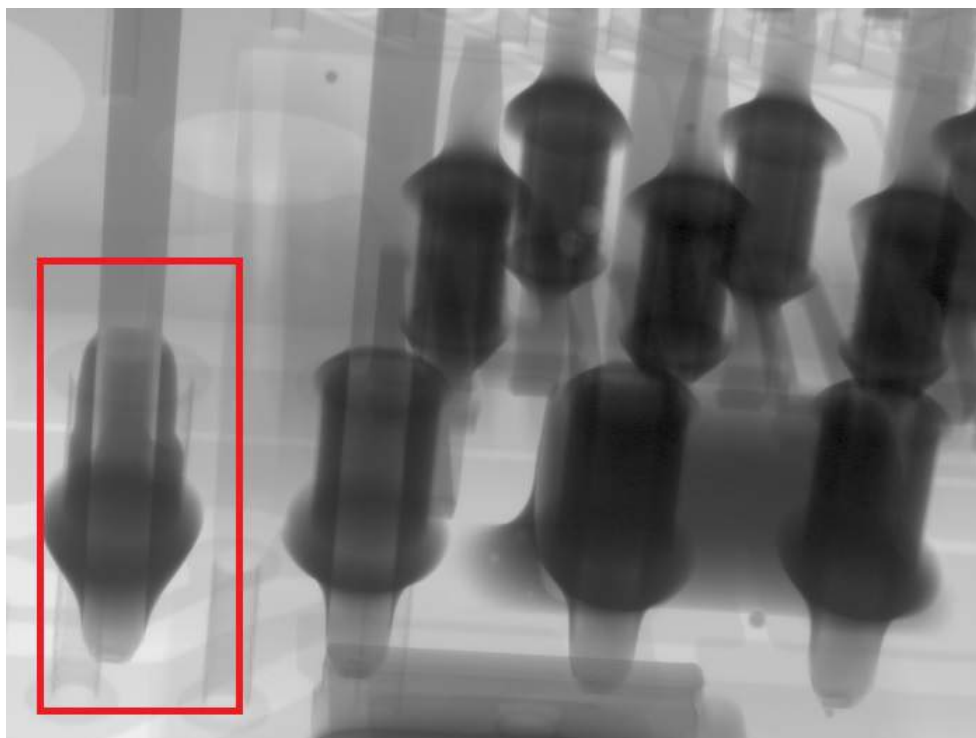
Vada elektroniky ve třídě 2: Vertikální vyplnění díry je menší než 75 % pro součástku s počtem vývodů menší než 14. Vertikální vyplnění díry je menší než 50 %, nebo méně než 1,2 mm pro součástku s více než 14 vývody.

Vada elektroniky ve třídě 3: Vertikální vyplnění díry je menší než 75 %. Menší vyplnění díry než 100 % může být pro některé aplikace nepřijatelné z důvodů např. tepelný šok, vývody s velkým proudovým namáháním. [9]

Metodiku RTG analýzy ve 2D režimu popisuje kapitola 2.2.4.



Obr. 3.35: RTG analýza kvality zapájení ve 2D režimu - obr. levo. Snímek vpravo popisuje oblast řezové roviny protínající pájený spoj 3D modelu.



Obr. 3.36: 2D pohled na zapájený konektor - vlevo defekt.



Obr. 3.37: 3D analýza - pohled na zapájený konektor.

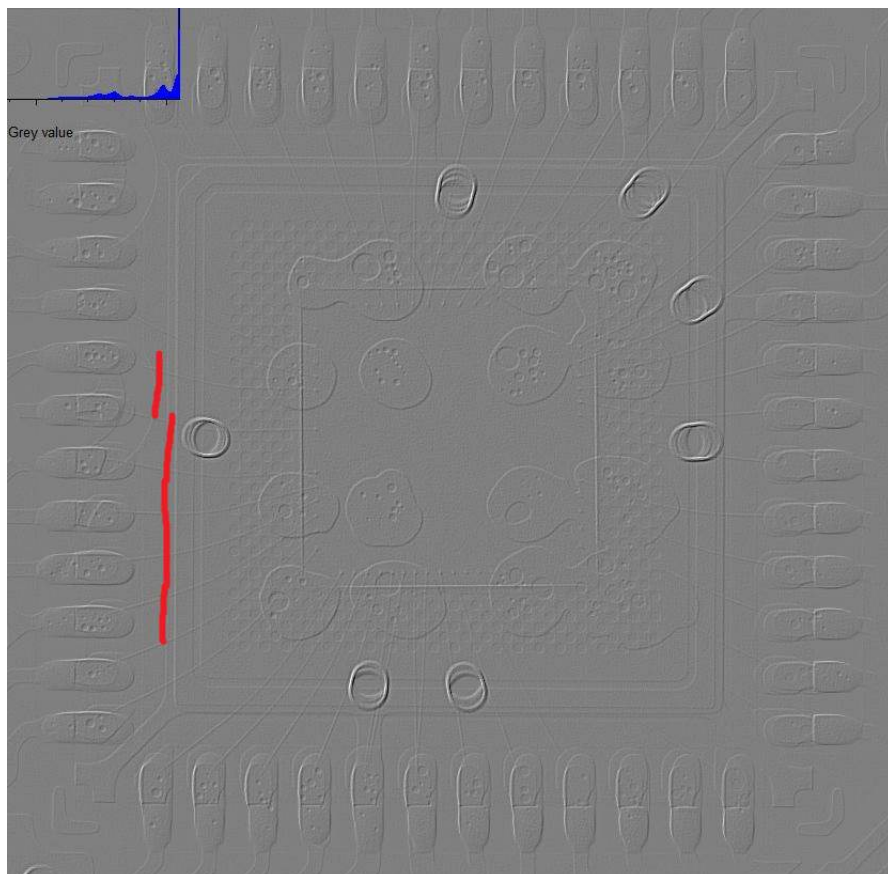
3.5 Analýza QFN pouzder

3.5.1 Vliv přítomnosti nečistot na pájení a detekce defektu pomocí RTG

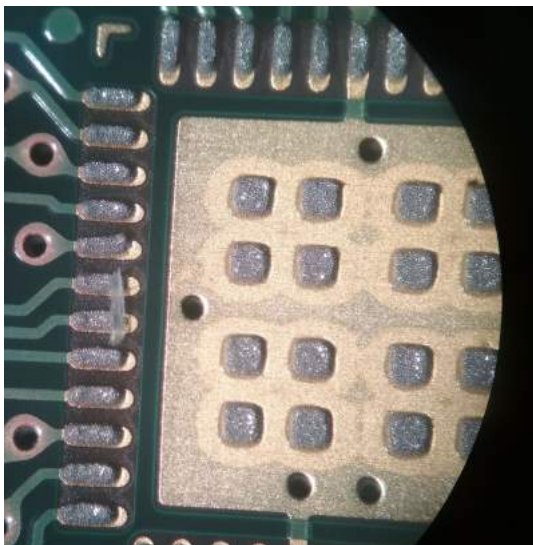
Nečistoty vznikají uvolňováním základního materiálu po procesu panelizace stříhového lisování. Levnější proces stříhání desek zvyšuje požadavky na následný proces čištění a zvyšuje míru defektů oproti deskám s frézovanými okraji. Nečistoty se mohou uvolnit kdykoliv po procesu čištění a kontaminovat pájecí plošky do doby, než dojde k osazení desky komponenty.

Tato kapitola popisuje vliv nečistot (různých velikostí) na jakost pájení pouzder QFN. Každá kontaminace byla vyfocena pod mikroskopem a po procesu pájení analyzována rentgenem ve 2D režimu. Rentgenem byly pořízeny vždy dva snímky s rozdílnou funkcí zpracování obrazu. Přílohy obsahují snímky jak dané defekty rozlišuje AOI kontrola (automated optical inspection - automatická optická kontrola) a zobrazení funkcí *Difference*.

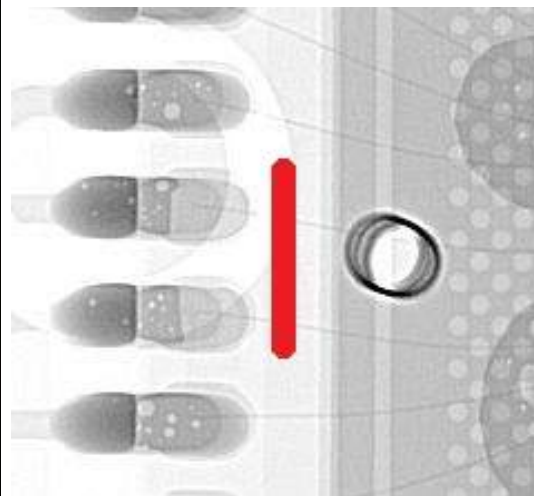
Hlavním indikátorem přítomnosti nečistot je nerozlitá pájecí pasta pod chladičí ploškou - tvoří kulaté plošky. Přesné místo výskytu je tvořeno světlejší oblastí snímku, nebo změnou reliefu při zobrazení funkcí *Difference*.



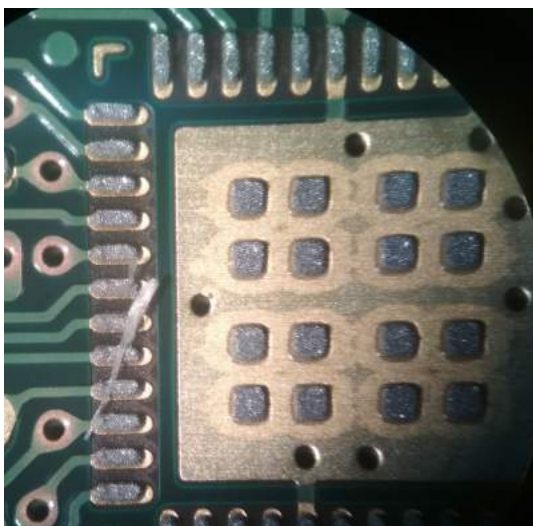
Obr. 3.38: 2. Otřep: obrazy QFN 2D analýzou - difference.



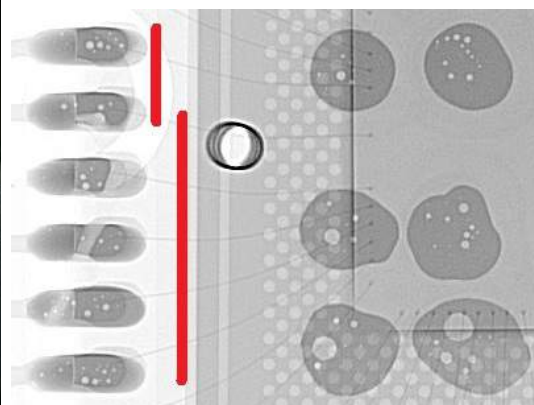
Obr. 3.39: 1. otřep - foto.



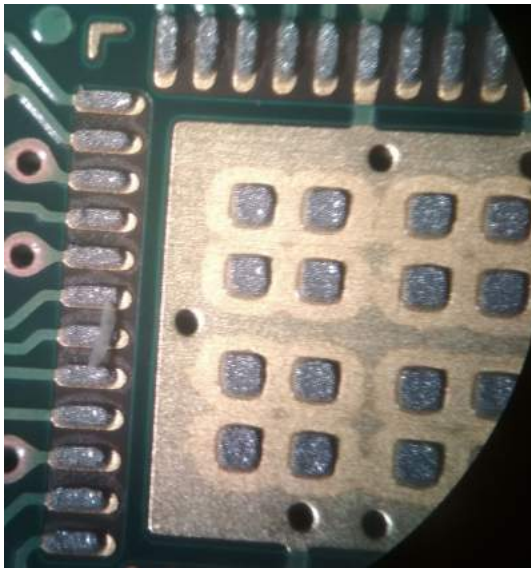
Obr. 3.40: 1. otřep - RTG.



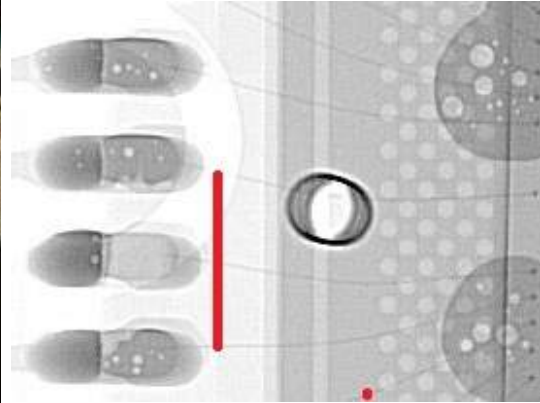
Obr. 3.41: 2. otřep - foto.



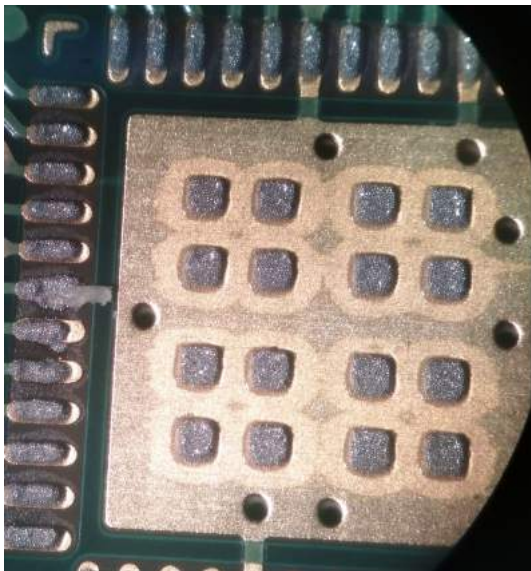
Obr. 3.42: 2. otřep - RTG.



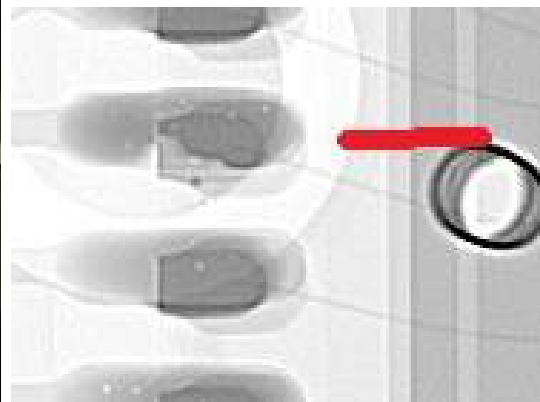
Obr. 3.43: 3. otřep - foto.



Obr. 3.44: 3. otřep - RTG.



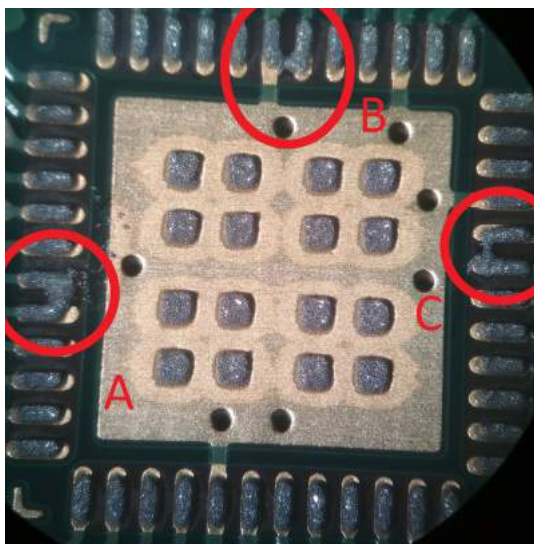
Obr. 3.45: 4. otřep - foto.



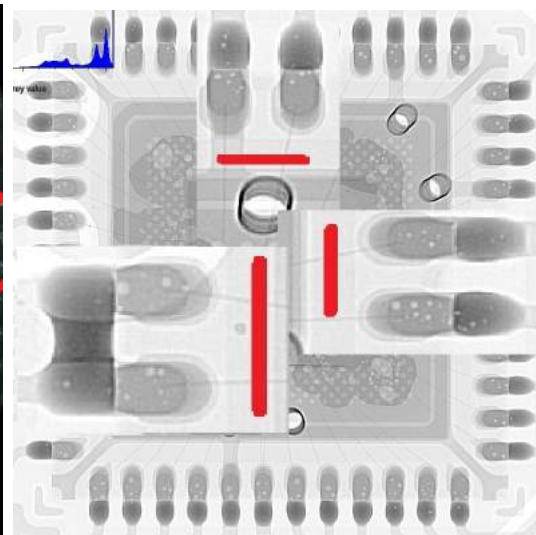
Obr. 3.46: 4. otřep - RTG.

3.5.2 Vliv množství pasty na tvorbu zkratů

V následujícím experimentu byly uměle vytvořeny zkraty mezi vývody. V oblasti A bylo mezi vývody přidáno 50% standardního množství pájecí pasty jednoho vývodu. V oblasti B bylo mezi vývody přidáno 25% standardního množství pájecí pasty jednoho vývodu. Zkrat oblasti C byl vytvořen bez přidání pasty. Po osazení DPS součástkou a zapájené procesem přetavení proběhla RTG analýza. Spoje v oblastech B a C nejeví známky defektu ani zkratu. V oblasti A je viditelný zkrat vně součástky.



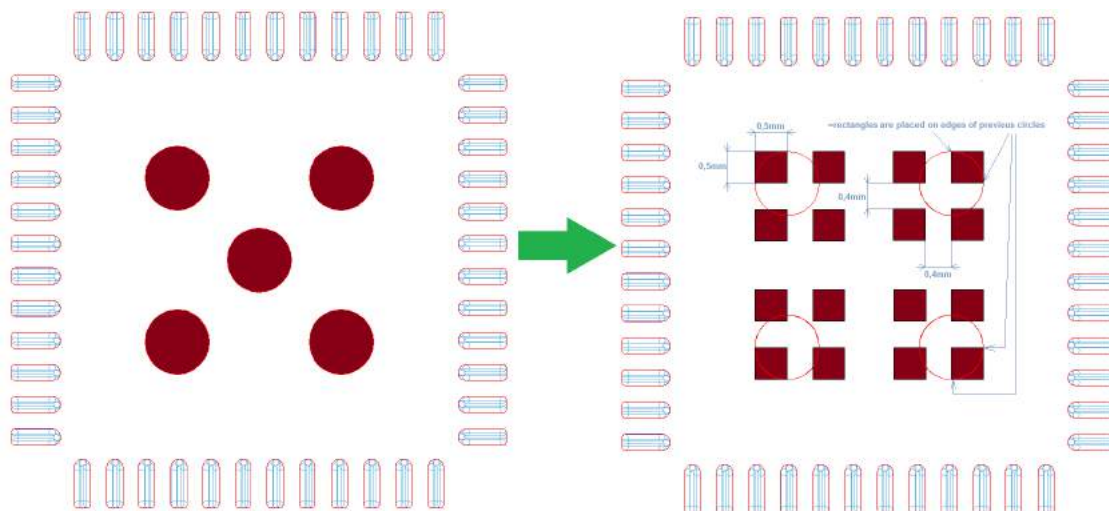
Obr. 3.47: Vytvoření zkratů.



Obr. 3.48: RTG analýzy zkratů.

3.5.3 Úprava šablony, analýza voidů

Pro snížení zastoupení voidů byla provedena modifikace tiskové šablony pájecí pasty. Došlo k rozdělení kruhových částí na menší čtvercové úseky. Po změně procesu došlo k měření zastoupení voidů pomocí RTG. Po výrobě šablony byly měřeny hodnoty celkového výskytu voidů a maximální velikost největšího z nich. Naměřená data viz. příloha. Následující data popisují rozdíl před úpravou a po úpravě.



Obr. 3.49: Změna šablony tisku pájecí pasty na chladičské plošce.

Průměrné zastoupení voidů před změnou masky:

$$Pv_{\text{před}} = \frac{43,04 \times 43,17 \times 40,18 \times 48,21 \times 44,96 \times 45,32}{6} = 44,15 \% \quad (3.6)$$

Průměrné zastoupení voidů po změně masky:

$$Pv_{\text{po}} = \frac{32,37 \times 38,63 \times 39,88 \times 42,29 \times 41,03 \times 43,15}{6} = 39,55 \% \quad (3.7)$$

Průměrné zastoupení velikosti největšího voidu před změnou masky:

$$Pb_{\text{před}} = \frac{13,36 \times 11,94 \times 11,94 \times 17,97 \times 16,08 \times 11,64 \times 21,57}{6} = 15,43 \% \quad (3.8)$$

Průměrné zastoupení velikosti největšího voidu po změně masky:

$$Pb_{\text{po}} = \frac{11,61 \times 17,7 \times 10,45 \times 24,62 \times 8,21 \times 9,56}{6} = 13,7 \% \quad (3.9)$$

Výpočet procentuálního snížení výskytu voidů:

$$Pv_{\text{rozdíl}} = Pv_{\text{před}} - Pv_{\text{po}} = 44,15 - 39,55 = 4,6 \% \quad (3.10)$$

Výpočet procentuálního snížení max. velikosti voidů:

$$Pb_{\text{rozdíl}} = Pb_{\text{před}} - Pb_{\text{po}} = 15,43 - 13,7 = 1,7 \% \quad (3.11)$$

3.6 Automatická analýza

Analýza prováděná manuálně, tedy řízeným nastavováním pozic rentgenu, magnifikaci, hledání požadovaných míst a přepínání mezi jednotlivými *Image process*, je při použití v sériových kontrolách značně náročná na čas. Tato kapitola se bude tedy věnovat tvorbou a použitím automatické inspekce rentgenu v režimu *AXI - automatic x-ray inspection*.

Nastavením AXI režimu je možné analyzovat konkrétně dané oblasti při požadovaných *Image process*, vytvářet analýzy voidů pro jednotlivé součástky, ukládat snímky a generovat report. Pro archivaci dat a traceabilitu je možné u každého vzorku snímat laserovou čtečkou 2D kód a čárový kód, popřípadě data zadat ručně. Průběh analýzy popisuje uživatelem vytvořený *FNC* instrukční program, jež se spouští právě v AXI režimu. V případě analýzy DPS nesoucí více stejných částí (jednotlivé subdesky) lze vytvořit jeden FNC soubor a ten aplikovat na jednotlivé podružné DPS samostatně.

3.6.1 FNC program

Pro práci s tvorbou FNC programu slouží lišta viz obr. 3.50. Lištu tvoří seznam s již vytvořenými programy a oblast pro krokování instrukcí programu. Program je možné vytvořit ve dvou režimech a to Teach-in a Edit.

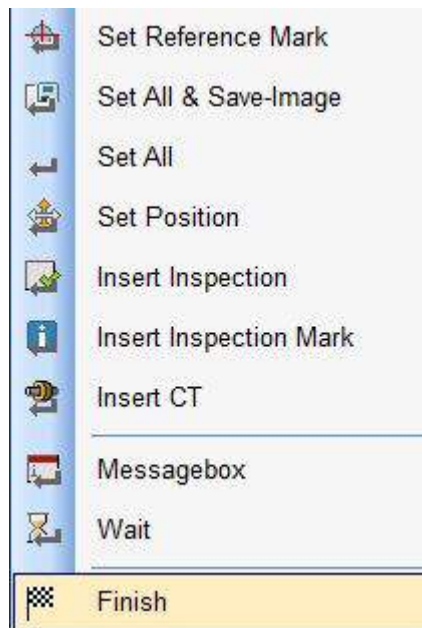
Teach-in: tato velice intuitivní metoda umožňuje vkládat jednotlivé nástroje pomocí ikony talárové čepice. Volbou jednotlivých nástrojů se automaticky tvoří instrukční kód.

Edit mode: V režimu úprav je možné instrukční kód modifikovat a dále tvořit. Úpravy kódu se provádí za pomoci editoru *FNC lišta* → *FNC* → *Editor*. Práce v editoru vyžaduje znalost struktury kódu jednotlivých nástrojů popsaných v následující kapitole. Pro tvorbu není nutné znát programovací jazyky, většina úprav spočívá v mazání/přesouvání jednotlivých bloků nástrojů.

Vytváření programu FNC new → zadat název fnc. Program se automaticky ukládá do složky "D:\Feinfocus\FGUI_3.10.2.2\FNC Files".



Obr. 3.50: Lišta pro práci s programy automatické analýzy.



Obr. 3.51: Nástroje automatické analýzy.

3.6.2 Nástroje automatické analýzy pro tvorbu FNC programu

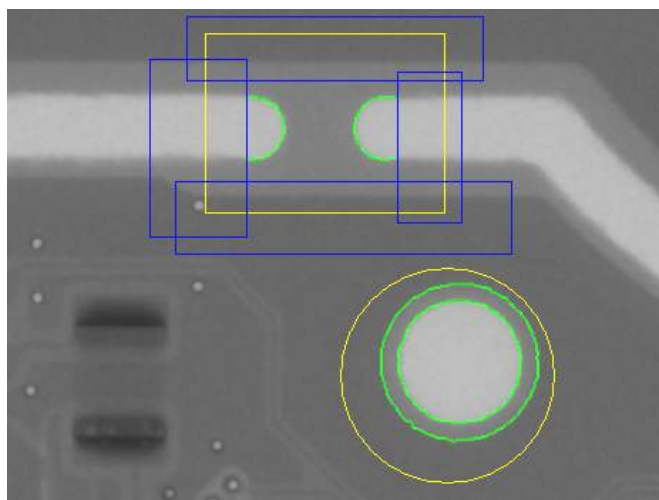
Set reference mark

Přestože analyzovanou desku vkládáme do referenčních míst traye (roh, přípravek), může vzniknout určitá nepřesnost vložení. Nepřesnost může vzniknout odchylkou nastavení pozic samotným RTG. Tyto nepřesnosti by se promítly do všech prvků analýzy závislé na poloze. Analyzovaly by se voidy mimo definované oblasti, nebo by se značkovací body mohly objevit na vedlejší plošce součástek. Vytvořením referenční značky se stanoví kalibrační offset, jež přepočítá aktuální polohu na hodnoty souřadnic uvedených v programu.

Díky počítačovému rozpoznání obrazu jsou odhaleny tvary na DPS (rozdílem kontrastu). Jako ideálními referenční body volíme stále se vyskytující, neměnné objekty s minimálním překrytím ostatními komponenty (resp. složitými prvky jako je součástka). Volí se zpravidla velké vyvrtané díry, neodfrézovaná místa, jež drží jednotlivé DPS na jedné základně desky. Jsou to objekty, jež je snadné identifikovat při malé magnifikaci. Vliv magnifikace na rozpoznání objektu znázorňuje obr. 3.54. Kde přiblížení znamenalo vyplynutí dalších tvarů (otvor v otvoru) výrazně závislých na středové poloze zdroje záření.

Metodika použití: *Set image mark* → vybrat vhodné nastavení intenzity záření (jasná viditelnost objektů) → zelená šipka doprava → vybrat vhodný nástroj pro označení referenčního objektu (obdélník, polygon, kruh, elipsa) → označit oblast →

dokončit klikem na vlaječku cíl (vpravo nahoře).



Obr. 3.52: Vhodné části desky pro použití jako referenční značka. Žlutě vyznačená výběrová oblast. Zeleně vyznačená oblast definuje tvar referenční značky. Modré oblasti vyloučily nevhodné tvary pro rozpoznání obrazu.

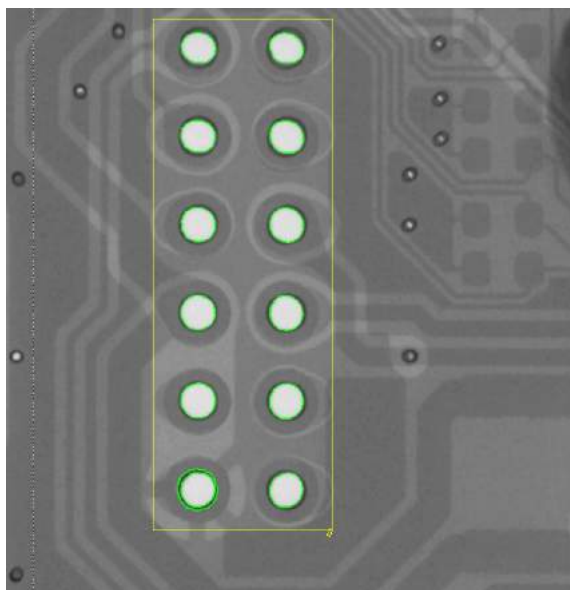
Pokud se v oblasti vykytují klikaté čáry, nebo jiné rozpoznané přechody kontrastu je vhodné je odebrat nástrojem Exclusion (modrá oblast na obr. 3.52). Výsledná značka by měla být co nejjednodušší pro opakovatelnou rozpoznatelnost.

Set position

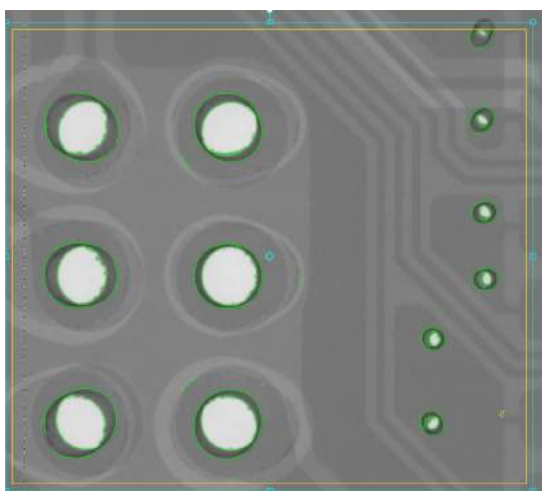
Zaznamená aktuální polohu a vzdálenost RTG trubice a detektoru. V průběhu programu se rentgen nastaví na tyto souřadnice. Narozdíl od funkce *Set all* nemění Image process. Pro delší zobrazení nastavené pozice (kontrola operátorem) je vhodné následně využít funkci *Wait*. Vhodná kombinace použití je s funkcí viz. *Set inspection mark*.

Set all

Funkce zaznamená aktuální polohu a vzdálenost RTG trubice a detektoru. Uloží si i aktuálně používaný *Image process* (Zde je vhodné si vytvořený Image process uložit, protože spuštěním kódu se přemístí do zdrojových souborů a tak bychom o něj přišli.) Uplatnění této funkce je zejména pro kontrolu vybraných míst vzorku operátorem s rychlou změnou pozic a Image process. Funkce volá instrukci Wait se zpožděním 2 s, jež zajistí zobrazení dané části po dobu dvou sekund. V případě potřeby prodloužit inspekční čas je možné editací programu časové zpoždění změnit, nebo přidat další funkci wait.



Obr. 3.53: Nevhodně zvolená referenční značka - velká magnifikace vlevo dole detekovány 2 kruhy. Nápravou je snížení magnifikace. Značka je příliš složitá stačí detekovat dva otvory.



Obr. 3.54: Nevhodně zvolená referenční značka.

Set all and save image

Funkce *Set all* doplněná o instrukci pořízení RTG snímku a uložení do zvláštní složky s výsledky analýzy. Vložení funkce je uživatel vyzván k zadání názvu uložení RTG snímku. Název každého snímku by měl být unikátní, jinak dojde k přepsání stejně pojmenovanému snímku a ztrátě dat.

Set inspection mark

Touto funkcí se vytváří inspekční mapa. Na pozici umístění značky se pořídí RTG snímek dle parametrů zvoleného Image process. Volbou *Properties* dané značky lze dopsat komentář, jež se zobrazí ve výsledném reportu analýzy. Může se jednat o informativní komentář pro vyhodnotitele reportu.

Metodika použití: Nastavit pozici a magnifikaci analyzované oblasti → zaznamenat polohu RTG *Set position* (v případě, že došlo k úpravě Image process → použít funkci *Set all*) → vytvořit inspekční značku *Set reference mark* → okomentovat snímek p.tl myši *Properties* → potvrdit OK.

Poznámka: pokud se inspekční značky nezobrazují, zapněte zobrazení značek: ikona *More* → zapnout Show inspection marks

Insert CT

Tato funkce spustí již vytvořený profil 3D snímání. Snímaná data se ukládají na PC pro rekonstrukci obrazu pod názvem zadaným ve vytvořeném profilu 3D snímání. Opakovaným spuštěním funkce se přepíše data na PC pro rekonstrukci obrazu (pokud uživatel složku s již nasnímanými daty nepřejmenuje). Použití automatického snímání 3D modelu má smysl pouze tehdy, zdali potřebujeme vzorek následně analyzovat ve 2D režimu výše popsanými funkcemi.

Pro pouhé 3D snímání je použití automatické analýzy nekomfortní. Jestliže vzorek snímáme v *uCT WORKSPACE* máme možnost analýzu upravit (vycentrovat vzorek do středu otáčení sklíčidla) a pojmenovat nový vzorek, což u automatické analýzy nelze.

Message box

Zobrazí obsluhu informační sdělení, jež musí obsluha potvrdit pro pokračování programu.

Finish

Tento příkaz ukládá provedené změny *fnc* souboru. Opomenutí použití této funkce, nebo přepnutí na jiný *fnc* soubor vede ke ztrátě provedených změn.

3.6.3 Tvorba programu automatické analýzy

Tvorba FNC programu

Program tvoříme vždy pro desku (pokud jich je více stejných na jedné DPS) nacházející se na levé straně nahoře z pohledu do nakládacích dveří z důvodu replikace na

ostatní DPS. Následující metodika popisuje tvorbu programu pro analýzu:

- detekce voidů pájeného spoje elektrolytického kondenzátoru
- kontrola zapájení smd integrovaného obvodu
- kontrola zapájení pozdra QFN

Výstup z analýzy je report v PDF souboru.

1. Vložíme standardní tray a do jeho rohu vložíme vzorek (v tomto rohu bude probíhat výsledná analýza - později nelze změnit).
2. Kalibrace rentgenu je v tomto okamžiku velice důležitá, proto ji vždy provedeme → **Set all**.
3. Vytvoření nového FNC souboru: FNC new → zadat název FNC.
4. Vytvoření analýzy voidů elektrolytického kondenzátoru:
 - Použití funkce analýzy voidů je velice náchylná na přesnost polohování os RTG, proto nejlepším způsobem je zobrazit analyzovanou součástku uprostřed zorného pole při malé magnifikaci (nalezení středu usnadní zapnutí středového kříže) → Vytvořit referenční značku → **Set reference mark**.
 - Přiblížit pájecí plošky kondenzátoru a pro oblast s touto magnifikací definovat parametry analýzy VC Area → definice oblasti pájecí plošky + parametry.
 - Uložit pozici RTG → **Set position**
 - Takto vytvořenou inspekci vložit do programu → **Insert inspection**
5. Analýza integrovaného obvodu - zobrazit danou oblast → zvolit Image proces (zapnout potřebné funkce) → **Set all + save image** (uloží pozice RTG, načte image proces, uloží snímek do zvláštní složky) → **Set inspection mark** (Snímek bude součástí PDF reportu).
6. Analýzy zapájení QFN pouzdra - viz bod 5.
7. Ukázka zdrojového kódu viz obr. 3.55.

```

Sub Main()
    Dim LastIP As String
    'tvorba referencni znacky
    FNCRestoreRefMark (FNCImageProcessPath, "RefMark_x168832_y30435")

    'inspekce voidu
    'Set Manipulator to position - funkce Set position
    SetManipulator "XM", 168833, "YM", 30436, "ZT", -43682, "ZD", 314999, "TiltD", 0, fncPUMicrometerMillidegree, False
    ' Inspection "VC_MultiArea_Insp_cap_vertical" - funkce Insert Inspection
    RunInspection("VC_MultiArea_Insp_cap_vertical")
    SetXRay "Microfocus", 83, False, 101.235, 3.31364, fncBVSmall, True, True

    'inspekce IC
    'Set Manipulator to position - funkce Set position
    SetManipulator "XM", 166074, "YM", 40721, "ZT", -25598, "ZD", 314999, "TiltD", 0, fncPUMicrometerMillidegree, False
    If (FNCIPCleanUp) Then
        CloseIP (FNCLastIP)
    End If
    SetIP "MichaelV13", FNCImageProcessPath & "MichaelV13.ipr"
    If (FNCIPCleanUp) Then
        FNCLastIP="MichaelV13"
    End If
    XRay.Wait(10, fncWFMicroAmp)
    IPEditor.GetIPFromName(IPEditor.ActiveIP).RunOnce(FNCResultPath)
    XRay.Wait(0, fncWFXRayOn)
    Wait 2
    IPEditor.GetIPFromName(IPEditor.ActiveIP).SaveImage(FNCResultPath & "IC.jpg")
    ' Set inspection mark at current position - funkce Set inspection mark
    FNCSetInspectionMark fncMarkComment, "IC presah"
    IPEditor.GetIPFromName(IPEditor.ActiveIP).Enable(False)
    SetXRay "Microfocus", 83, False, 101.235, 3.31364, fncBVSmall, True, True

    'Inspekce QFN
    'Set Manipulator to position - funkce Set position
    SetManipulator "XM", 137372, "YM", 32092, "ZT", -23805, "ZD", 314999, "TiltD", 0, fncPUMicrometerMillidegree, False
    If (FNCIPCleanUp) Then
        CloseIP (FNCLastIP)
    End If
    SetIP "MichaelV14", FNCImageProcessPath & "MichaelV14.ipr"
    If (FNCIPCleanUp) Then
        FNCLastIP="MichaelV14"
    End If
    XRay.Wait(10, fncWFMicroAmp)
    IPEditor.GetIPFromName(IPEditor.ActiveIP).RunOnce(FNCResultPath)
    XRay.Wait(0, fncWFXRayOn)
    Wait 2
    IPEditor.GetIPFromName(IPEditor.ActiveIP).SaveImage(FNCResultPath & "QFN_diff.jpg")
    ' Set inspection mark at current position- funkce Set inspection mark
    FNCSetInspectionMark fncMarkComment, "QFN pájení,presah,void"
End Sub

```

Obr. 3.55: Okomentovaný zdrojový kód automatické analýzy.

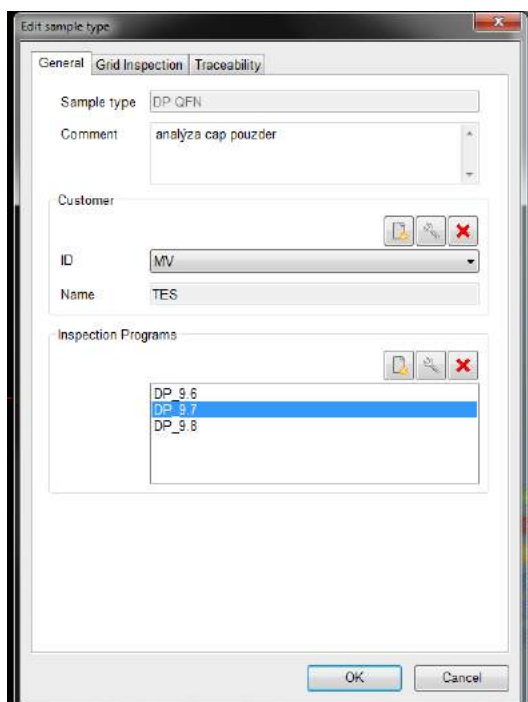
AXI workspace

Automatic x-ray inspection - prostředí pro práci s automatickou inspekcí

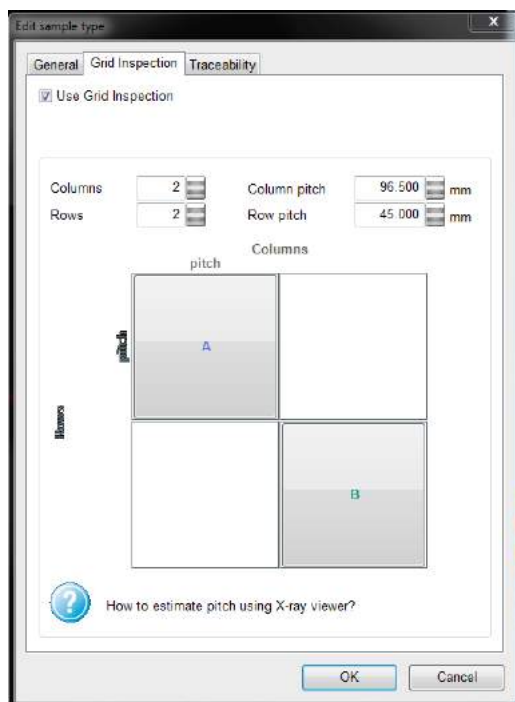
- General - *Comment*: komentář popisující analýzu, je součástí reportu.
Customer: Vytvoří nadřazenou složku, kde jednotlivé analýzy budou ukládat.
Inspection programs: Zde se vloží FNC programy, jež plánujeme používat.
- Grid inspection - nastavení matice rozmístění stejných sub - desek na analyzované DPS. Zadávané parametry: počet sloupců, počet řádků, řádková a sloupcová rozteč. Rozteč lze změřit posuvným měřítkem mezi součástkami sousedních desek. Přesnost změřené rozteče je vhodné ověřit spuštěním analýzy s FNC souborem obsahující pouze Set reference mark - značka musí být vždy přesně detekována. Požití funkce *Set reference mark* má za úkol zkalibrovat nepřesnosti pozic RTG, nikoliv špatně zadanou rozteč.
- Traceability - Nastavení sledovatelnosti a archivaci dat. Díky ní se zjištěná data uloží do složky se zadaným označením. Označení lze zadat klávesnicí, nebo pomocí čtečky kódů (čárových/2D).

Volba *Component*: Zadává se označení DPS i označení jednotlivých sub - desek.

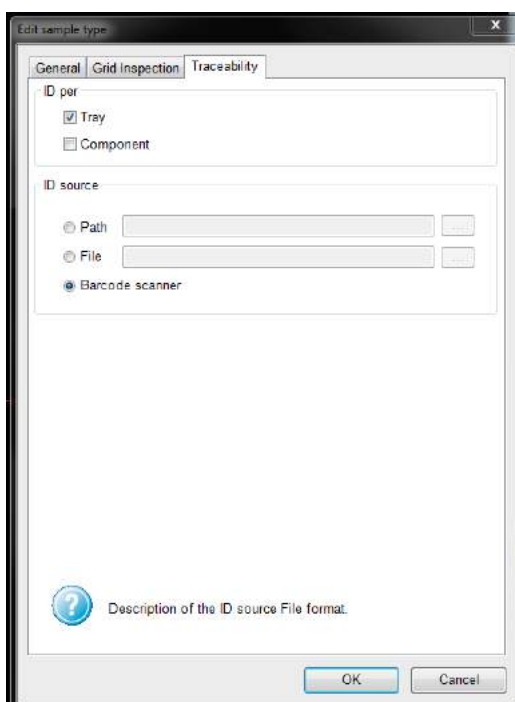
Volba *Tray*: Zadává se pouze označení DPS (Zkracuje požadavky na čas při analýze většího množství DPS a tím přispívá produktivitě.).



Obr. 3.56: AXI - general.



Obr. 3.57: AXI - Grid inspection: nastavení maticového rozložení analyzovaných vzorků.



Obr. 3.58: AXI - nastavení traceability.

4 Závěr

V úvodní části byla popsána teorie tématu práce od obecných principů funkce rentgenu, až po jeho využití v rentgenové defektoskopii zejména v elektrotechnice. Praktická část proběhla ve společnosti ALPS Electric Czech, s.r.o. v Sebranicích, zabývající se výrobou elektromechanických ovládacích prvků do automobilů. Nákupem nového rentgenového zařízení YXlon Cougar do výroby nastala situace prostudovat limity a postupy jak odhalovat defekty výrobků vzniklých ve výrobě, nebo vad a neshod dílů od dodavatele.

Pro rentgenovou analýzu byly vytvořeny metodiky pro práci s rentgenem. Metodiky se zabývají počátečnímu nastavení RTG, úpravou obrazu, tvorbou reportované analýzy, využití měřicích nástrojů, analýzu zastoupení voidů pájeného spoje povrchové montáže. Problematika a postupy 3D analýzy popisují snímání dat a jejich následné zpracování v programu VGStudio od základů, až po porovnávání dat s CAD výkresem.

Pro analýzu kvality zapojení konektoru zapouzdřeného výrobku pomocí RTG byla vytvořena poměrová metoda. Metoda spočívá ve změření dvou na sobě závislých vzdáleností zasunutí konektoru v jednotkách pixelů. Na základě jejich poměru byl stanoven kvalitativní koeficient, jež udává informaci, zda je konektor zasunut správně, nebo se nachází na hranici zajištění pojistným trnem.

Pomocí 3D zobrazovací metody byly analyzovány DPS na přítomnost prasklin v prokovu a jeho napojení na vnitřní vrstvy. U DPS pro automobilový průmysl vznikla prasklina až v místě lomu desky a byla detekována pomocí RTG. Další praskliny nepotvrdil ani mikrovýbrus.

U DPS pro spotřební elektroniku docházelo k častým prasklinám, jež odhalil až mikrovýbrus. I když pomocí rentgenu došlo k odhalení prasklin, většina jich detekována nebyla, proto musíme označit metodu použití RTG s mikrofokálním rozlišením za neúčinnou.

Spojováním konektoru a flexibilního vodiče metodou bodového svařování dochází k defektům: nedostatečné, příliš silné svaření, poškození svaru, svaru na nesprávné pozici. Výše zmíněné defekty lze spolehlivě detekovat pomocí RTG v režimu 2D snímání. Základní rysy hovořící o jakosti svaru ultrazvukem jsou rentgenovou analýzou nedetekovatelné. 2D analýzou lze zhodnotit polohu umístění vodiče a soudržnost lanového spletení. 3D analýzou lze navíc zjistit přiléhavost vodiče ke kontaktní plošce. RTG analýza je proto vhodná pro hledání fatálních vad způsobujících nefunkčnost propojení, nikoliv pro zhodnocení míry jakosti svaření.

Pro detekci nečistoty ze základního materiálu DPS pod pouzdem QFN je základním ukazatelem chladič ploška. Vlivem nečistoty nedojde k dostatečnému přilehnutí chladič plošky k DPS a rozlití pájecí pasty po celé ploše - detekovatelná struktura

šablonového tisku pasty. Pozdrobnějším zkoumáním lze detekovat přesnou pozici nečistoty.

Při vytvoření zkratů na ploškách natisknuté pasty pouzdra QFN vznikaly zkraty až v případě, kdy byl zkrat vytvořen přidáním 50% množství pájky mezi vývody součástky. Zkrat se po procesu přetavení přemístil z vnitřní strany součástky na vnější stranu a byl detekován AOI kontrolou.

Za účelem snížení výskytu voidů pod chladicí ploškou pouzdra QFN došlo ke změně tiskové šablony pájecí pasty. Rentgenovou analýzou bylo zjištěno snížení průměrného zastoupení voidů o 4,6 % na 39,5 %. Průměrná velikost maximálně se vyskytujícího voidů klesla o 1,7 %.

U automatické analýzy byly popsány funkce pro tvorbu inspekčního programu a celé inspekční prostředí. Tyto poznatky byly využity pro inspekci více panelové desky s aplikovanou traceabilitou. Blokové funkce byly v kódu okomentovány a jednotlivé inspekční kroky byly od sebe náležitě odděleny. Výstupem analýzy je pdf report jako součást přílohy.

Přínosem diplomové práce bylo prostudování vlastností a funkcí RTG YXlon Cougar pro využití rentgenové defektoskopie na konkrétních výrobcích. Tato práce dokáže seznámit obsluhu RTG od obecných informací týkajících se RTG defektoskopie, přes ovládání, až po konkrétní metodické postupy a charakteristické rysy odhalování defektů.

Literatura

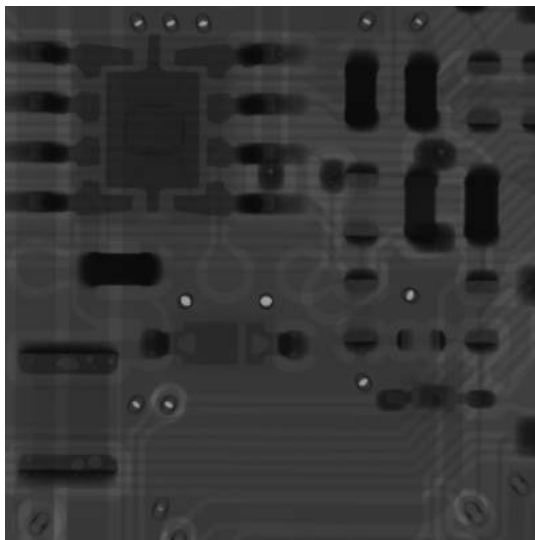
- [1] *Tesla.xf.cz [online]. [cit. 2018-11-25]*.. Dostupné z URL:
<<http://tesla.xf.cz/rentgen.html/>>.
- [2] *SÚKUPOVÁ, Lucie. Sukupova.cz [online]. [cit. 2018-12-02]*.. Dostupné z URL:
<<http://www.sukupova.cz/rentgenka-a-produkce-rentgenoveho-zareni>>.
- [3] *ČEJKA, Petr. Eledus [online]. 11.1.2015 [cit. 2018-12-03]*.. Dostupné z URL:
<<https://www.eledus.cz/vyuziti-rentgenova-zareni-pro-defektoskopicke-systemy/>>.
- [4] *SVOBODŮ, Lucie a ELEDUS. Jaké jsou nejdůležitější parametry rentgenů?. In: Https://byznys.hw.cz [online]. 2016, 12. 10. 2016 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z URL:
<<https://byznys.hw.cz/jake-jsou-nejdulezitejsi-parametry-rentgenu.html>>.*
- [5] *Inline rentgen. In: Https://www.zeiss.cz/ [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z URL:
<https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/_izeni-a-kontrola-vyrobnihoprocesu/volumax.html>.*
- [6] *IPC - 7093: Design and Process Implementation for BTCs. 2011.*
- [7] *HANUSOVÁ, Ing. Dana. Skryté vady desek plošných spojů: část 3 [online]. 4/2011 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z URL:
<Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:6760/skryte-vady-desek-plosnych-spoju-cast-3>>.*
- [8] *BLISH, Richard a Cypress Semiconductor. Impact of X-Ray Inspection on Cypress Flash Memory. Document No. 001-98523 Rev. *A. San Jose. [cit. 2019-1-28].*
- [9] *IPC-A-610: Acceptability of Electronic Assemblies. 2010.*
- [10] *Prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc., Doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D., Doc. Ing. Jiří Maxa, Ph.D. a Ing. Miroslav Zatloukal. Výrobní procesy. Brno, 2014.*

Seznam příloh

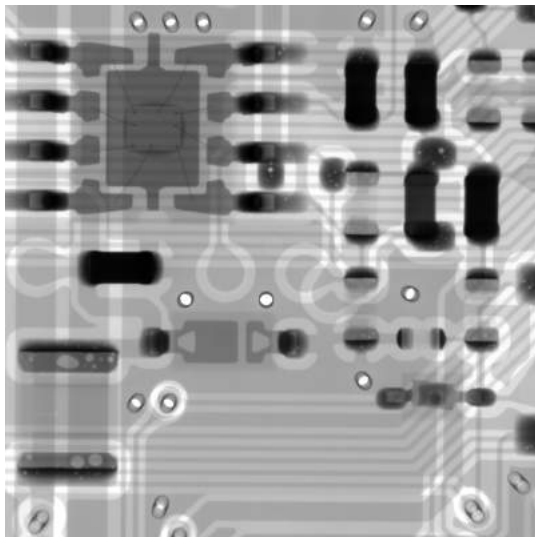
A	Ukázka aplikace funkcí úpravy obrazu	76
B	3D analýza prokovu	81
C	Analýza QFN	83
	C.0.1 Nečistoty pod pouzdrém	83
	C.0.2 Analýza voidů	87
D	Defekty odhalené pomocí RTG	88
	D.1 Ověření pájecího drátu	88
	D.2 Defekty svařovaného spoje	88
	D.3 Špatně zapájený kondenzátor	88
	D.4 Měření vnitřních dílů bez demontáže	89
	D.5 Uložení plochého vodiče v otočném modulu	91
	D.6 Přerušovaný vodič	94
	D.7 Křivý vývod součástky	95
	D.8 Chybějící součástka	96
E	Automatická analýza	97
	E.1 Výstupní protokol automatické analýzy	97
F	Obsah přiloženého CD	116

A Ukázka aplikace funkcí úpravy obrazu

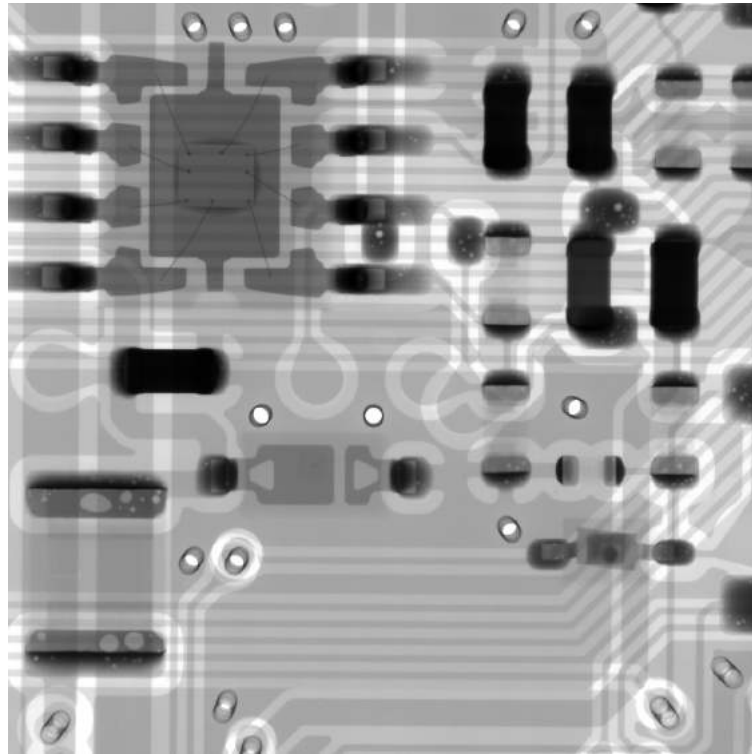
Každým následujícím snímkem byla aktivována nová funkce. Každý snímek obsahuje aktivní předcházející funkce.



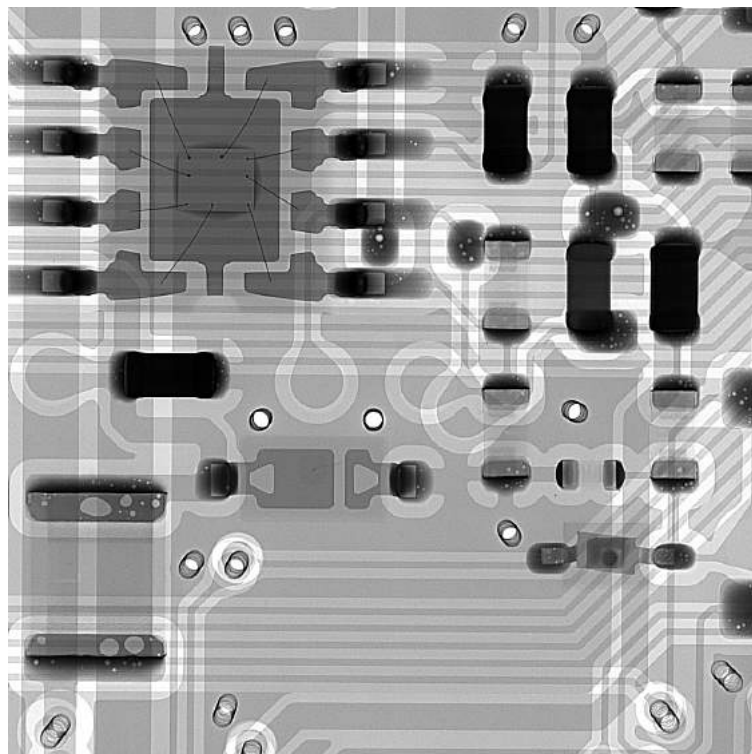
Obr. A.1: Pohled bez využití jakékoliv funkce úpravy obrazu.



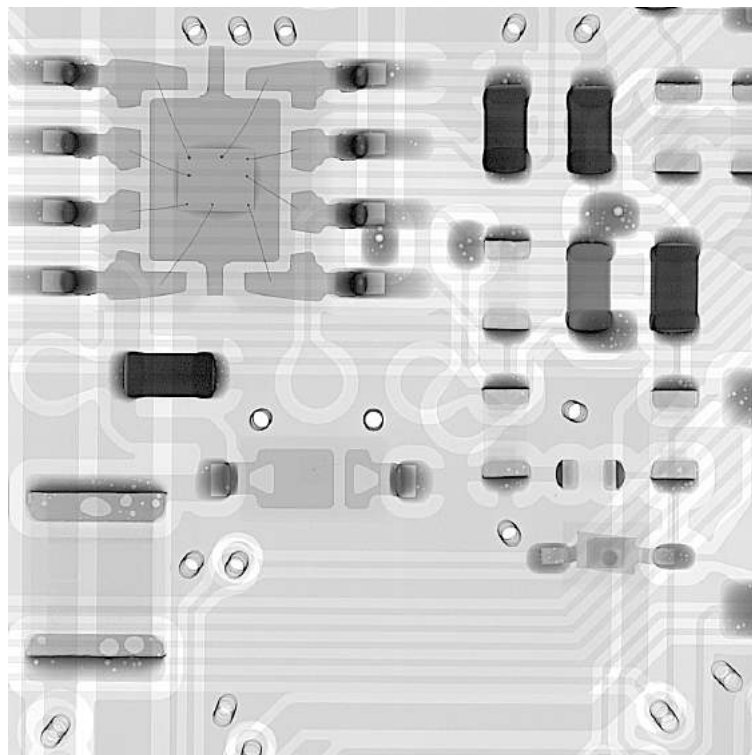
Obr. A.2: Funkce auto - kontrast.



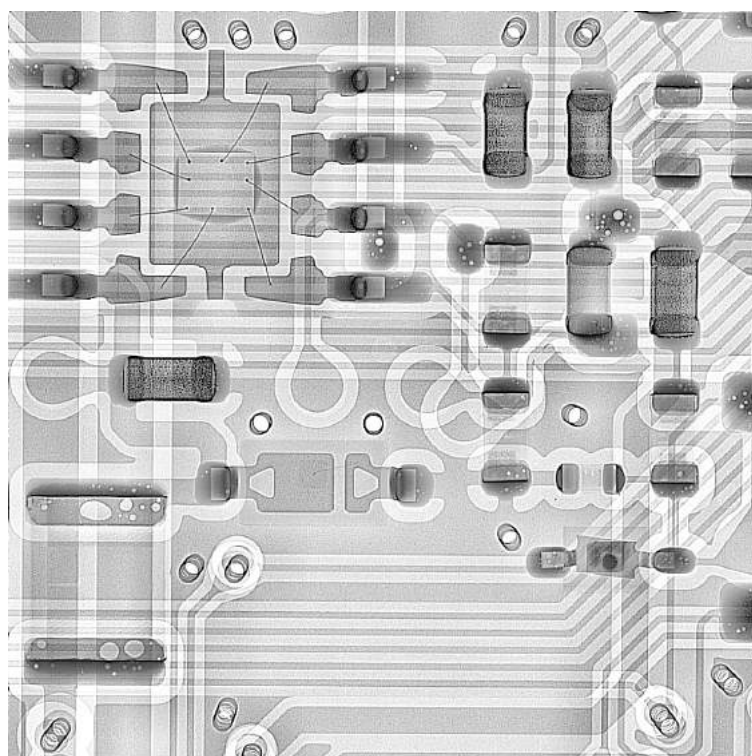
Obr. A.3: Funkce sharpening



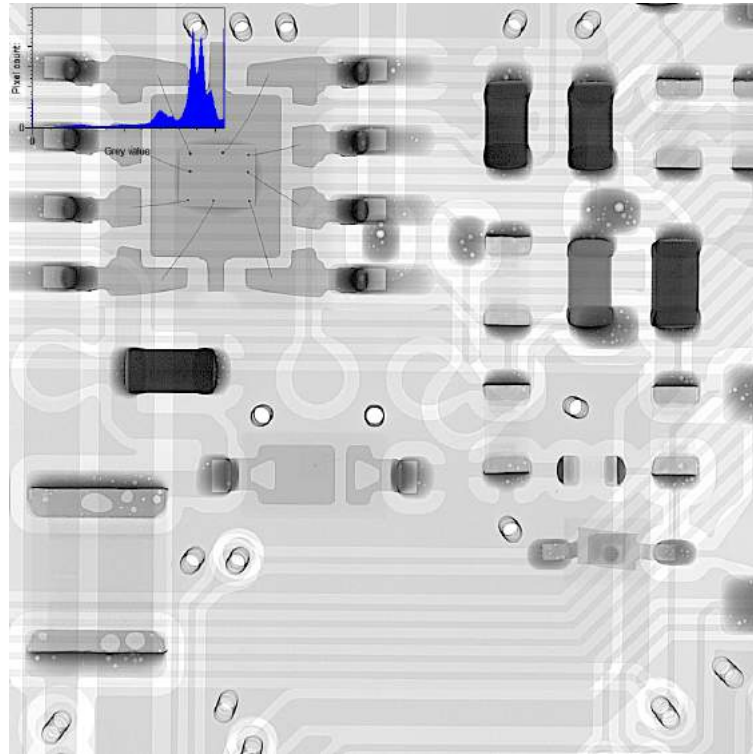
Obr. A.4: Funkce contrast sharpening.



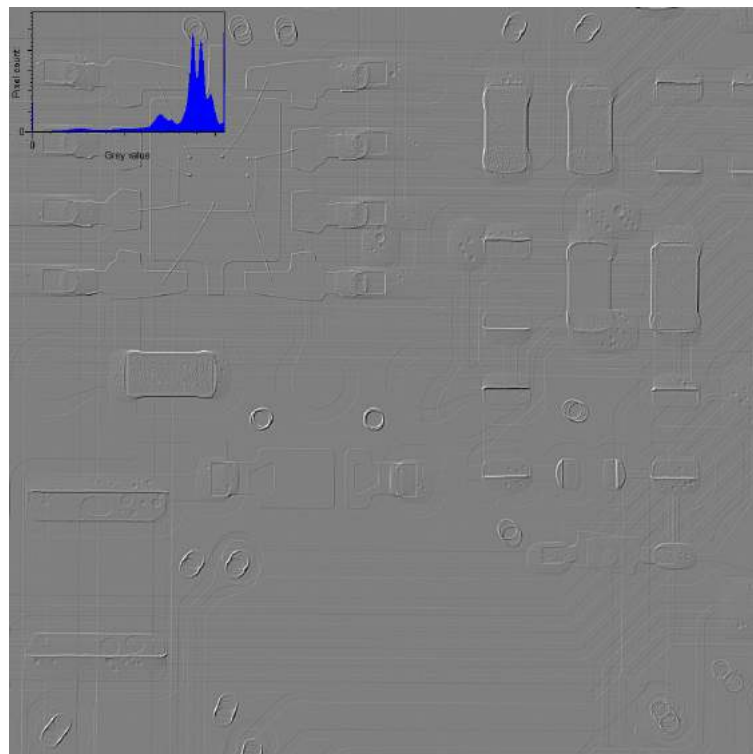
Obr. A.5: Funkce gama contrast.



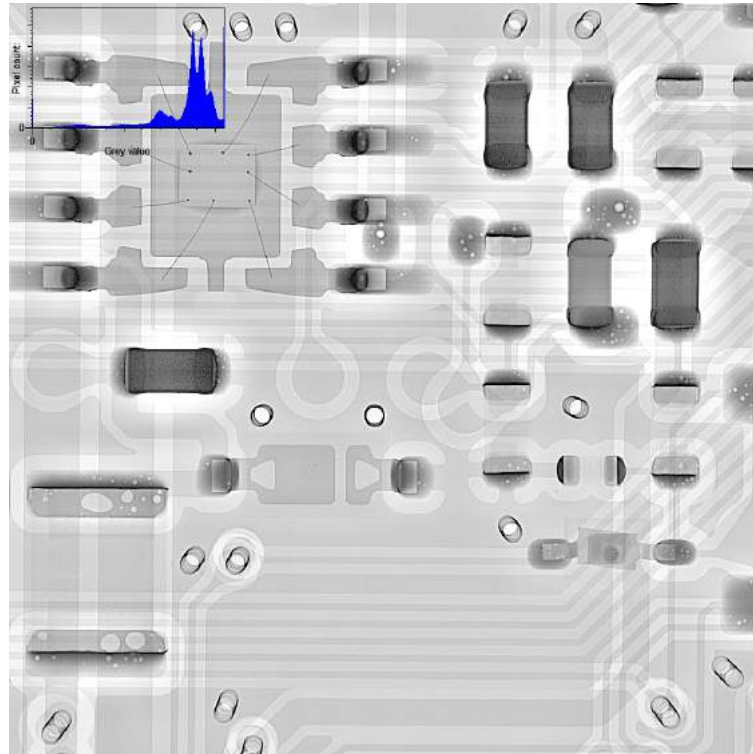
Obr. A.6: Funkce eHDR.



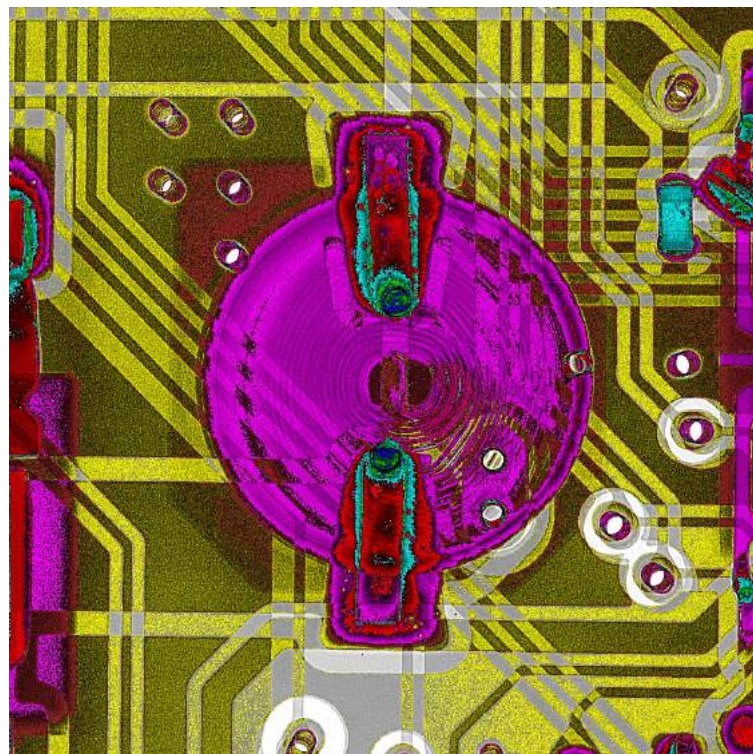
Obr. A.7: Funkce histogram.



Obr. A.8: Funkce difference.

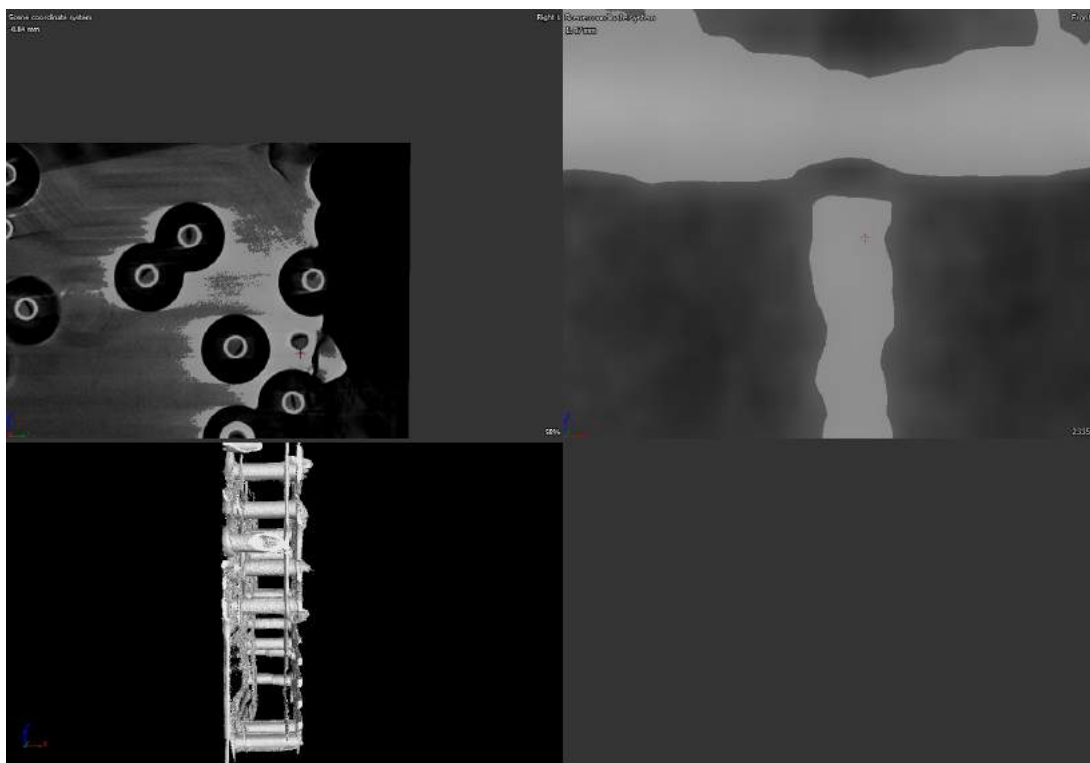


Obr. A.9: Funkce illuminate.

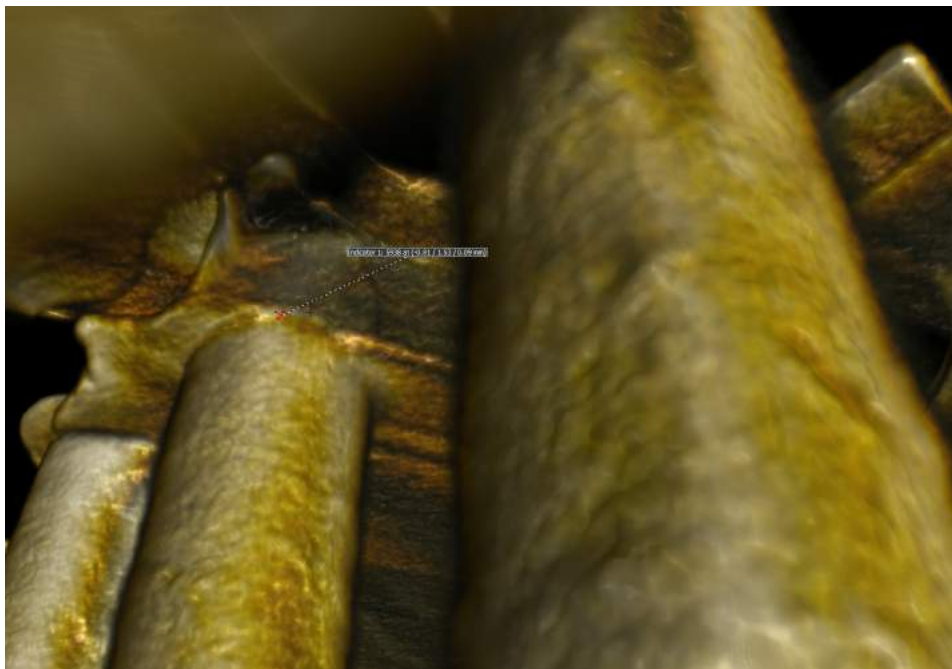


Obr. A.10: Funkce pseudocolor.

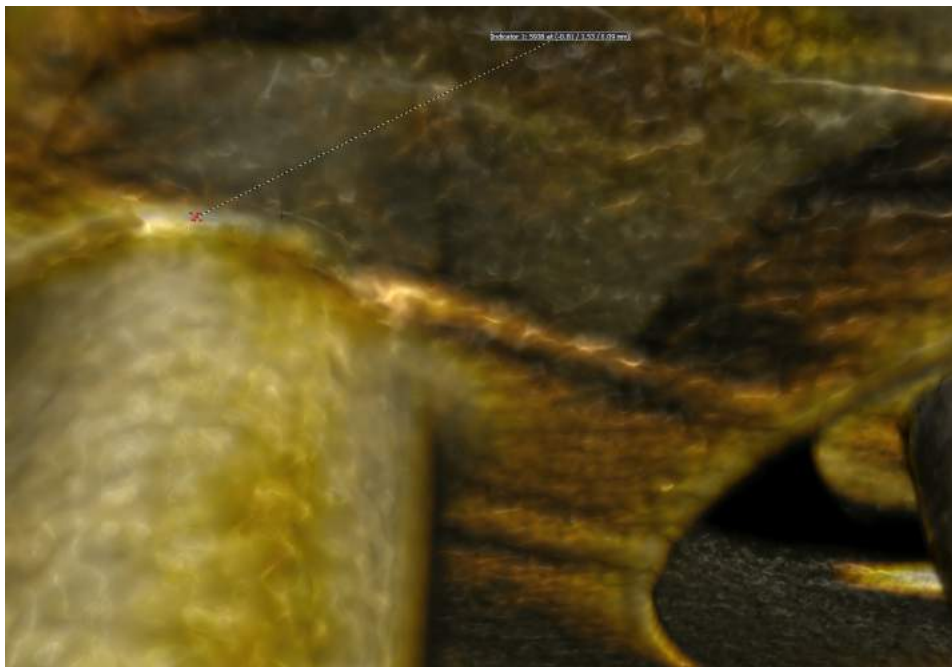
B 3D analýza prokovu



Obr. B.1: Pohled na prasklinu v řezové rovině.



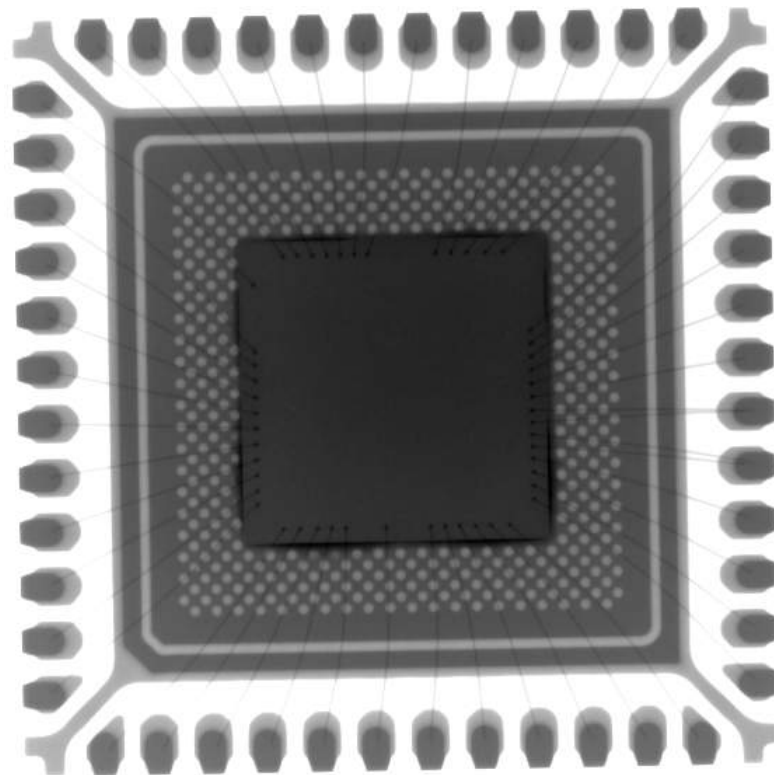
Obr. B.2: Pohled na prasklinu v 3D modelu.



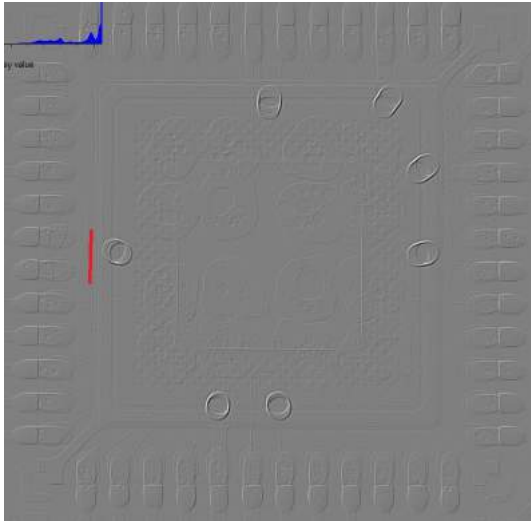
Obr. B.3: Pohled na prasklinu v 3D modelu - detail.

C Analýza QFN

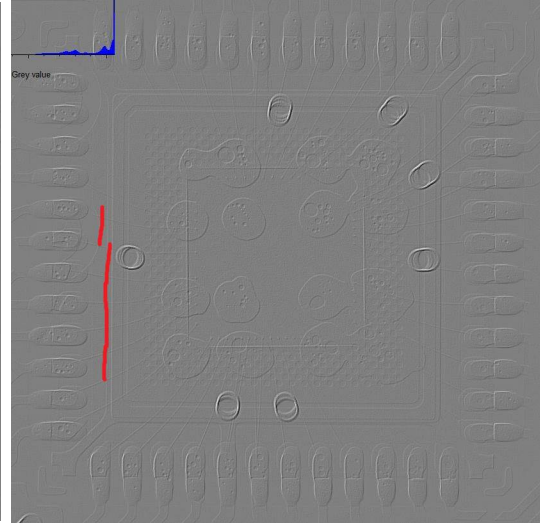
C.0.1 Nečistoty pod pouzdem



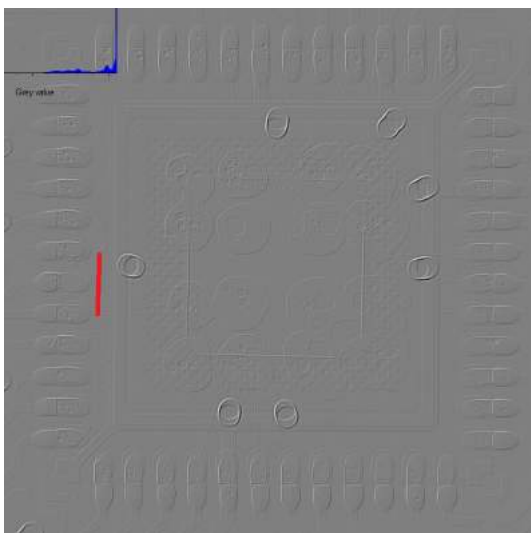
Obr. C.1: Samotné pouzdro QFN pod RTG.



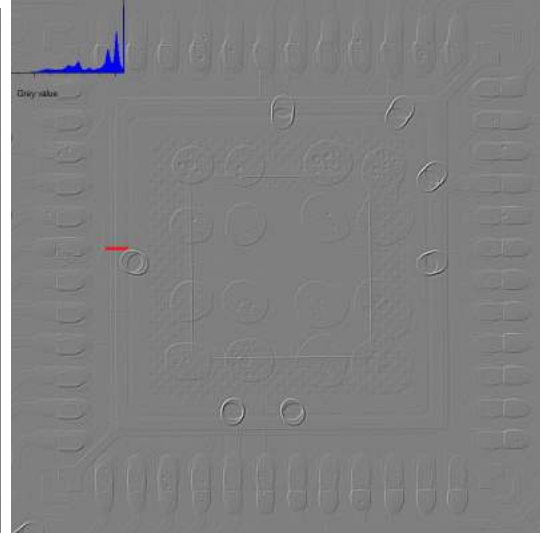
Obr. C.2: Nečistota 1 - difference



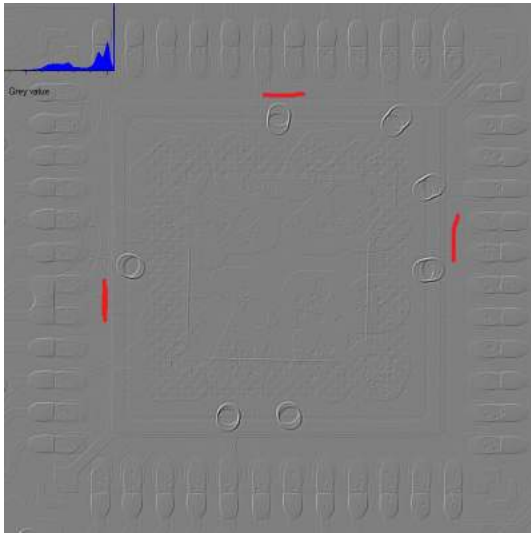
Obr. C.3: Nečistota 2 - difference



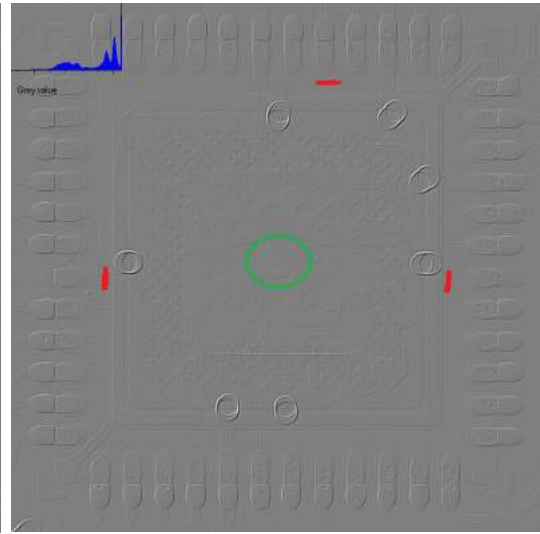
Obr. C.4: Nečistota 3 - difference



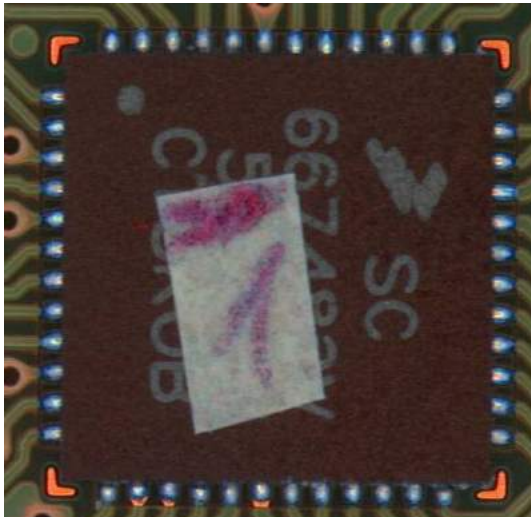
Obr. C.5: Nečistota 4 - difference



Obr. C.6: Nečistota 5 - difference



Obr. C.7: Nečistota 6 - difference



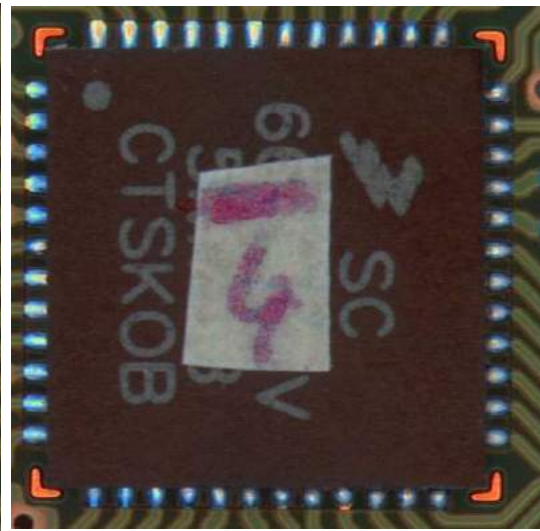
Obr. C.8: Nečistota 1 - AOI



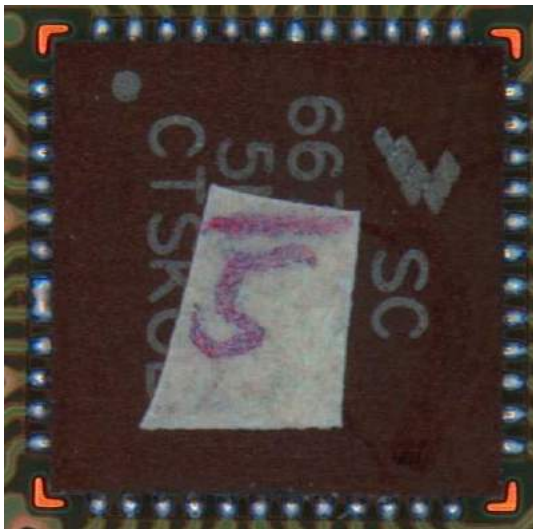
Obr. C.9: Nečistota 2 - AOI



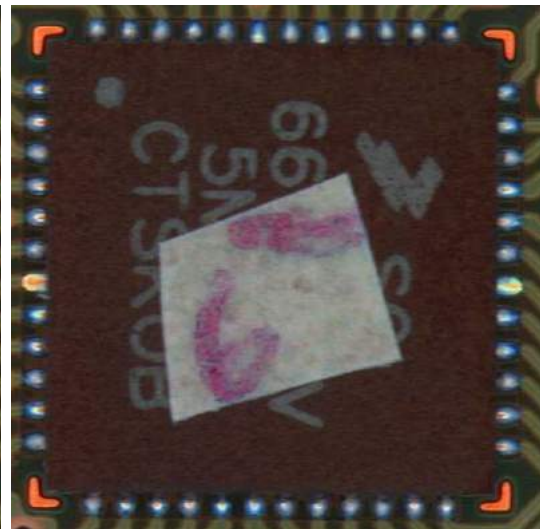
Obr. C.10: Nečistota 3 - AOI



Obr. C.11: Nečistota 4 - AOI



Obr. C.12: Nečistota 5 - AOI



Obr. C.13: Nečistota 6 - AOI

C.0.2 Analýza voidů

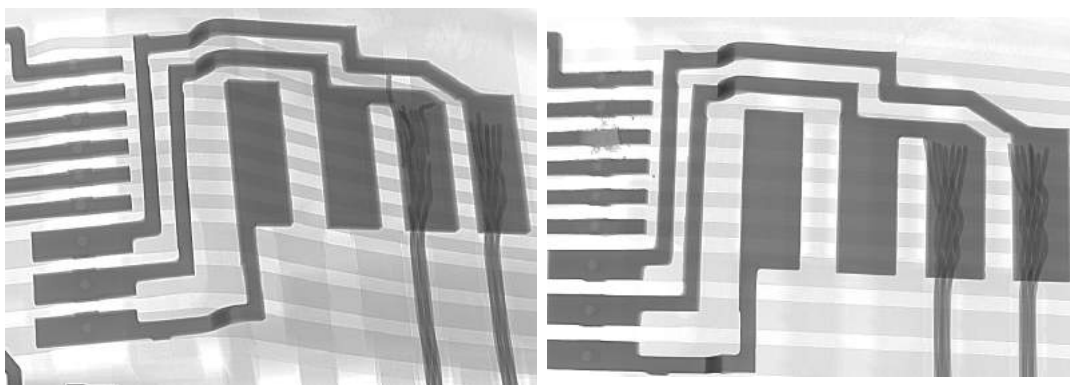


Obr. C.14: Analýza voidů - šablona
Obr. C.15: Analýza voidů - šablona po před úpravou.

D Defekty odhalené pomocí RTG

D.1 Ověření pájecího drátu

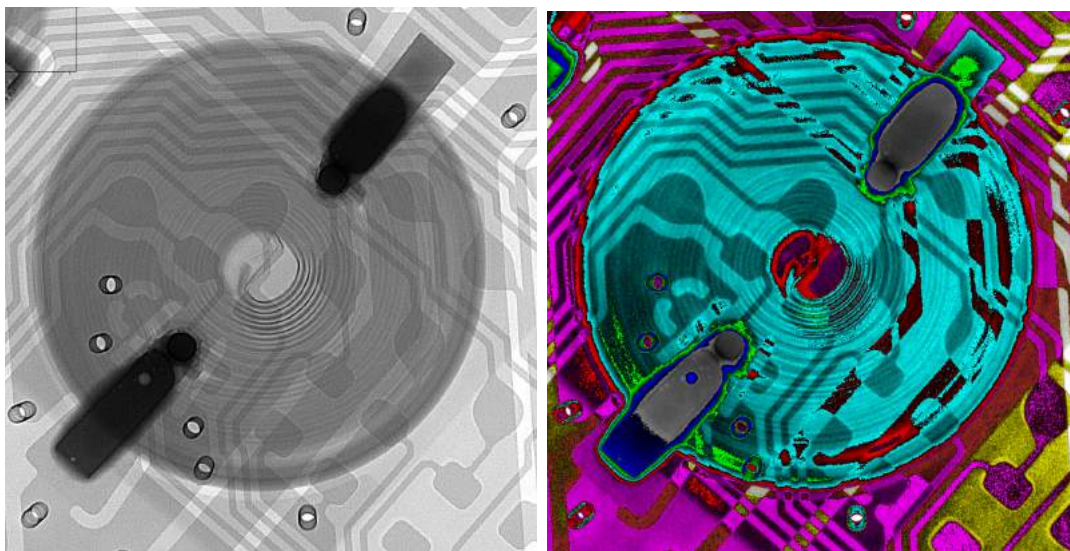
D.2 Defekty svařovaného spoje



Obr. D.1: Defekt ultrazvukového svařování

Obr. D.2: Defekt bodového svařování

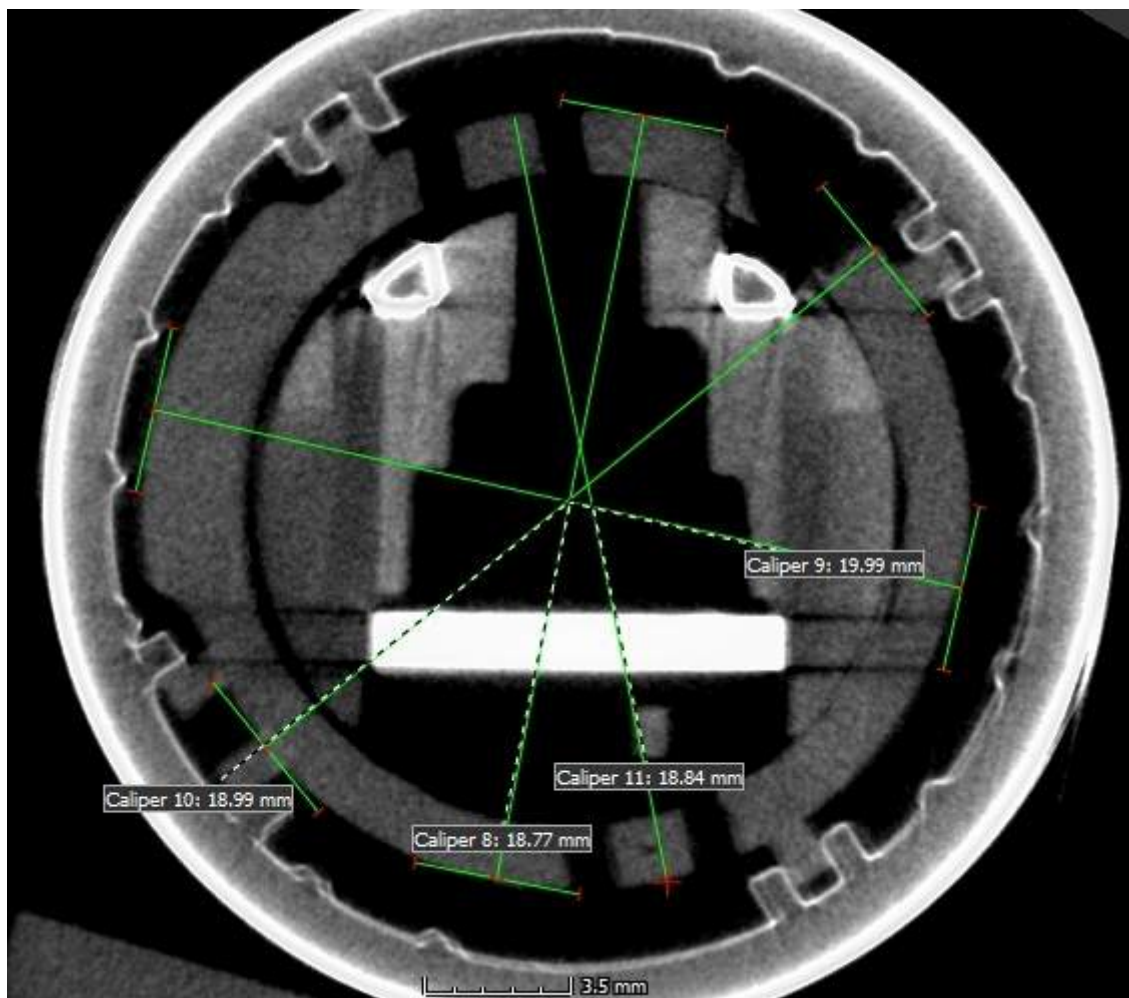
D.3 Špatně zapájený kondenzátor



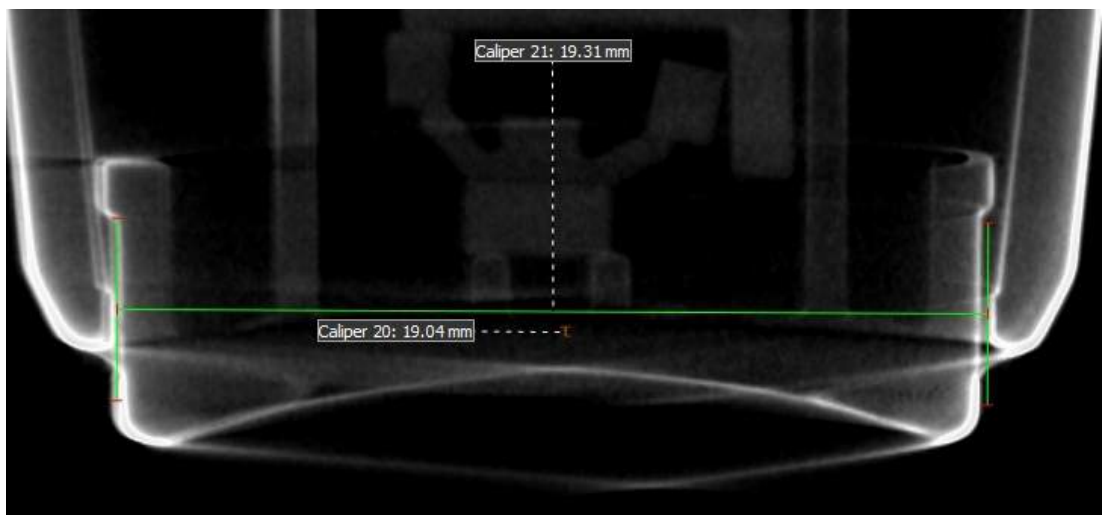
Obr. D.3: Špatně zapájený kondenzátor

Obr. D.4: Špatně zapájený kondenzátor - RGB

D.4 Měření vnitřních dílů bez demontáže

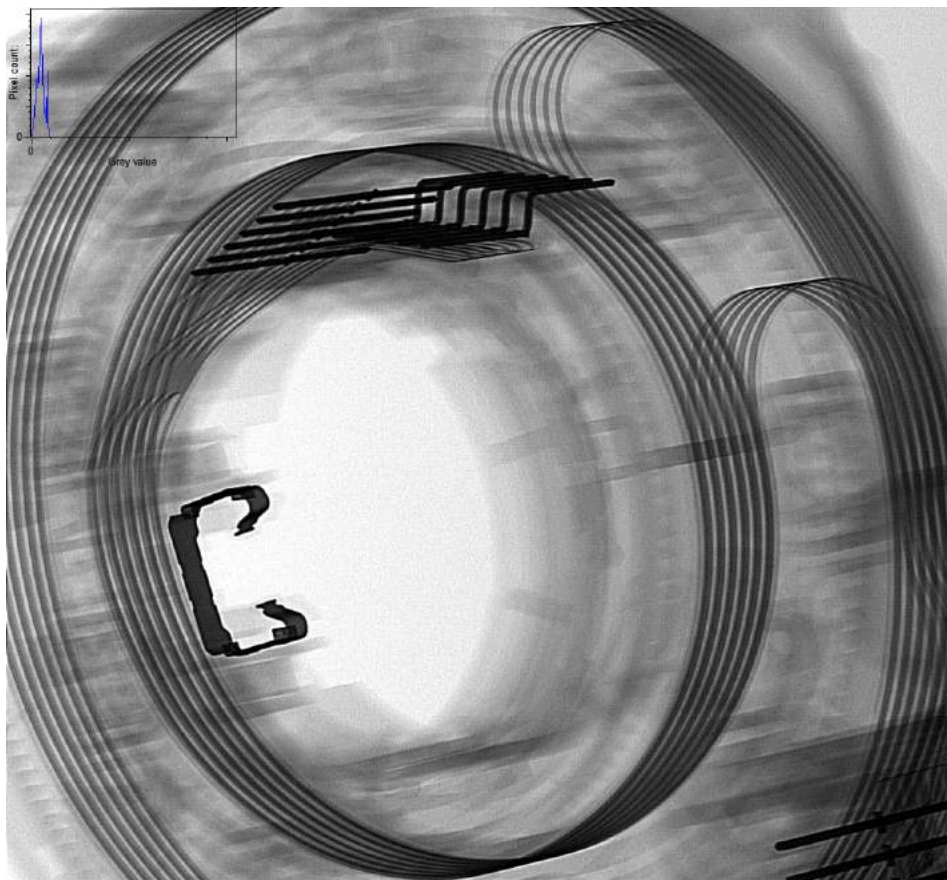


Obr. D.5: Ověření velikosti dílu.

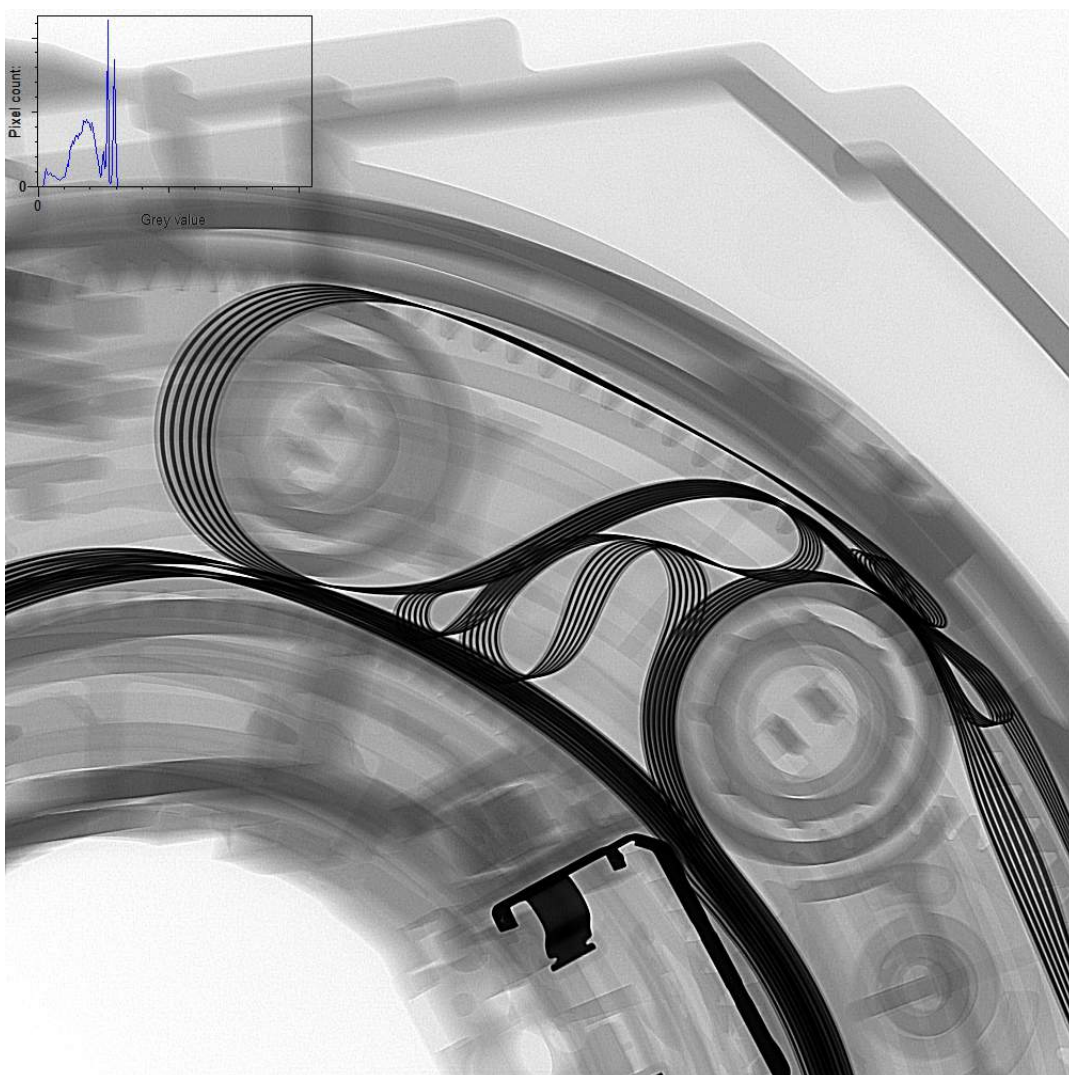


Obr. D.6: Ověření velikosti dílu.

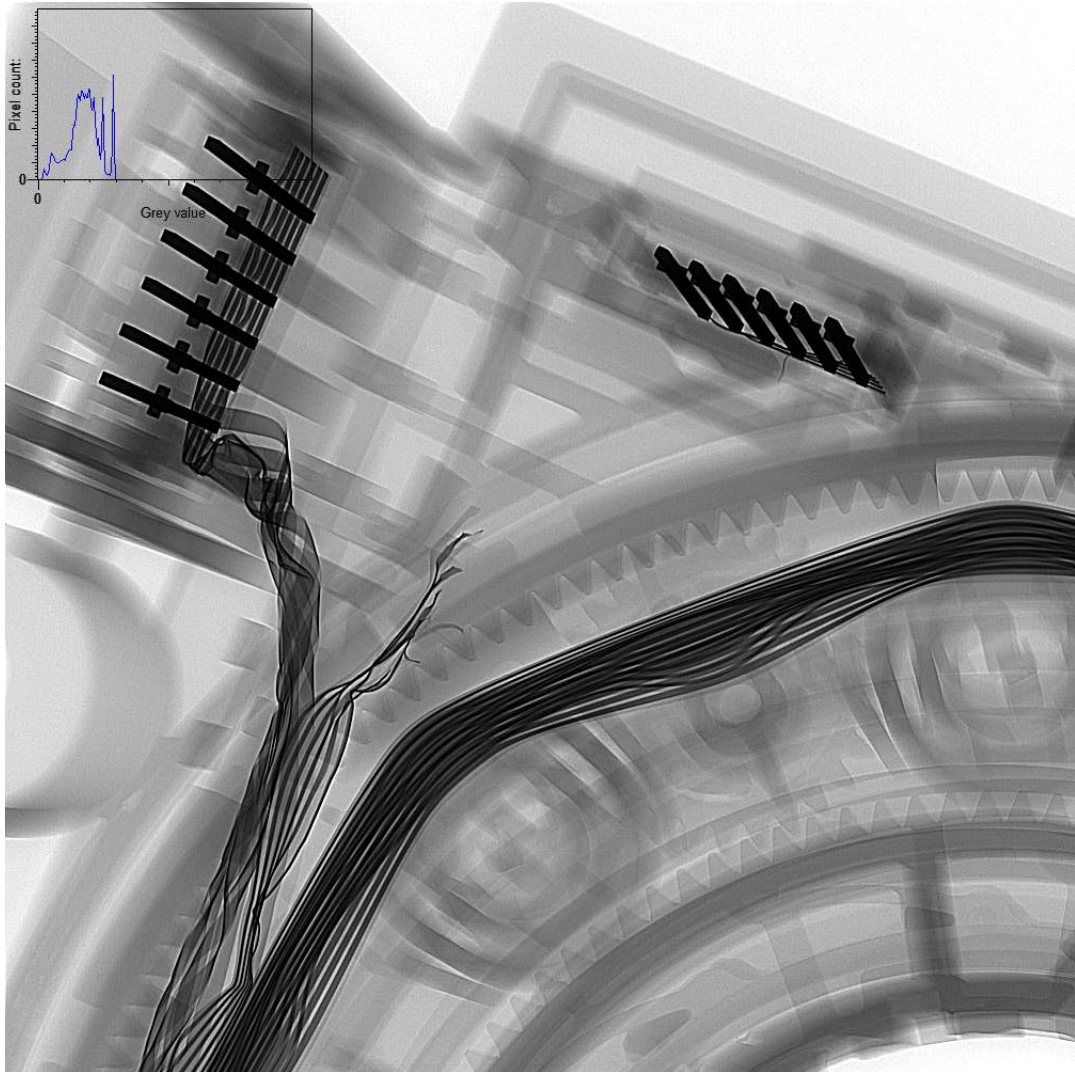
D.5 Uložení plochého vodiče v otočném modulu



Obr. D.7: Správné uložení plochého vodiče.

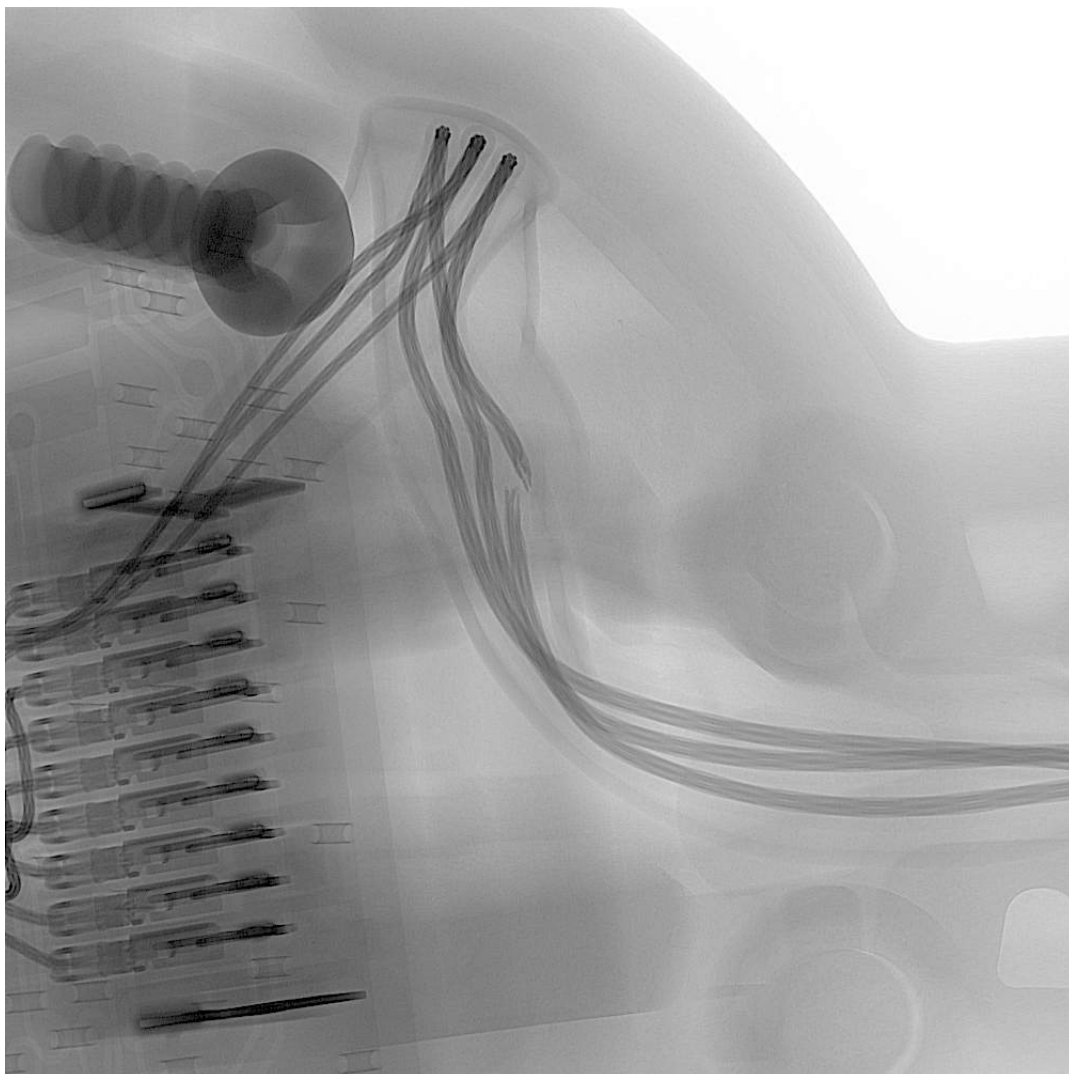


Obr. D.8: Špatně uložený/zamotaný vodič.



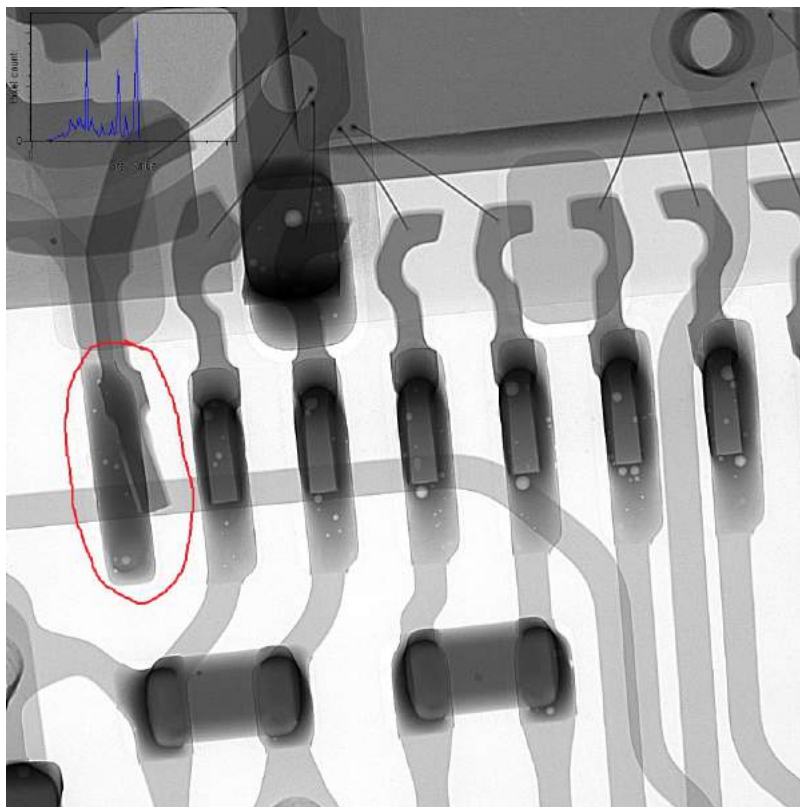
Obr. D.9: Utržený vodič z konektoru.

D.6 Přerušovaný vodič



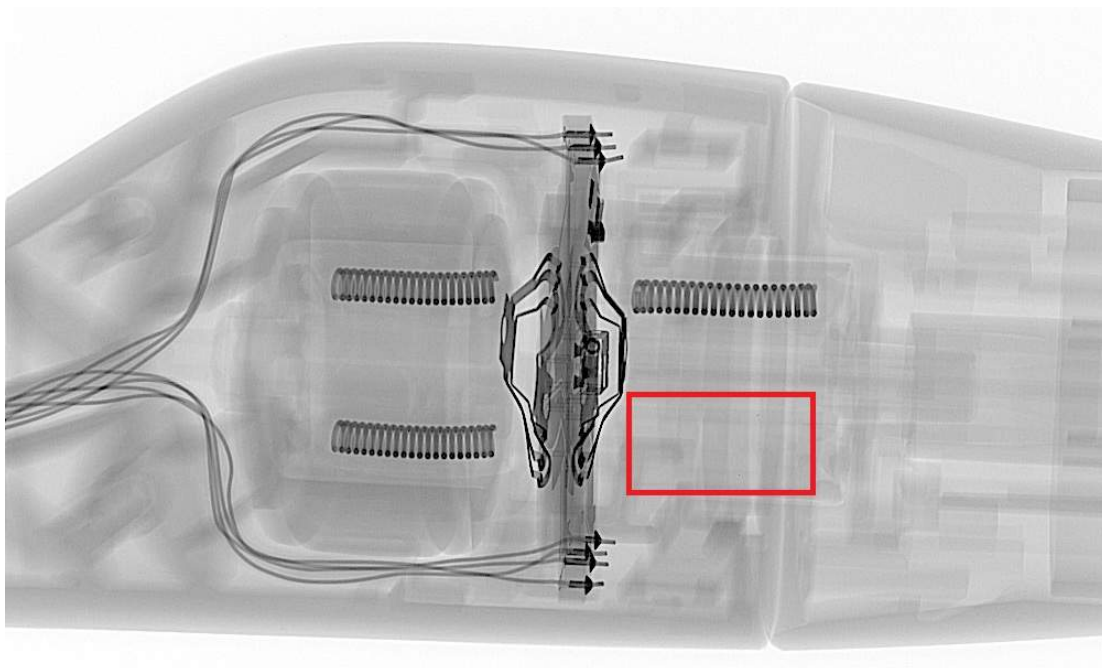
Obr. D.10: Přerušovaný vodič.

D.7 Křivý vývod součástky



Obr. D.11: Křivý vývod součástky.

D.8 Chybějící součástka



Obr. D.12: Chybějící součástka - pružina.

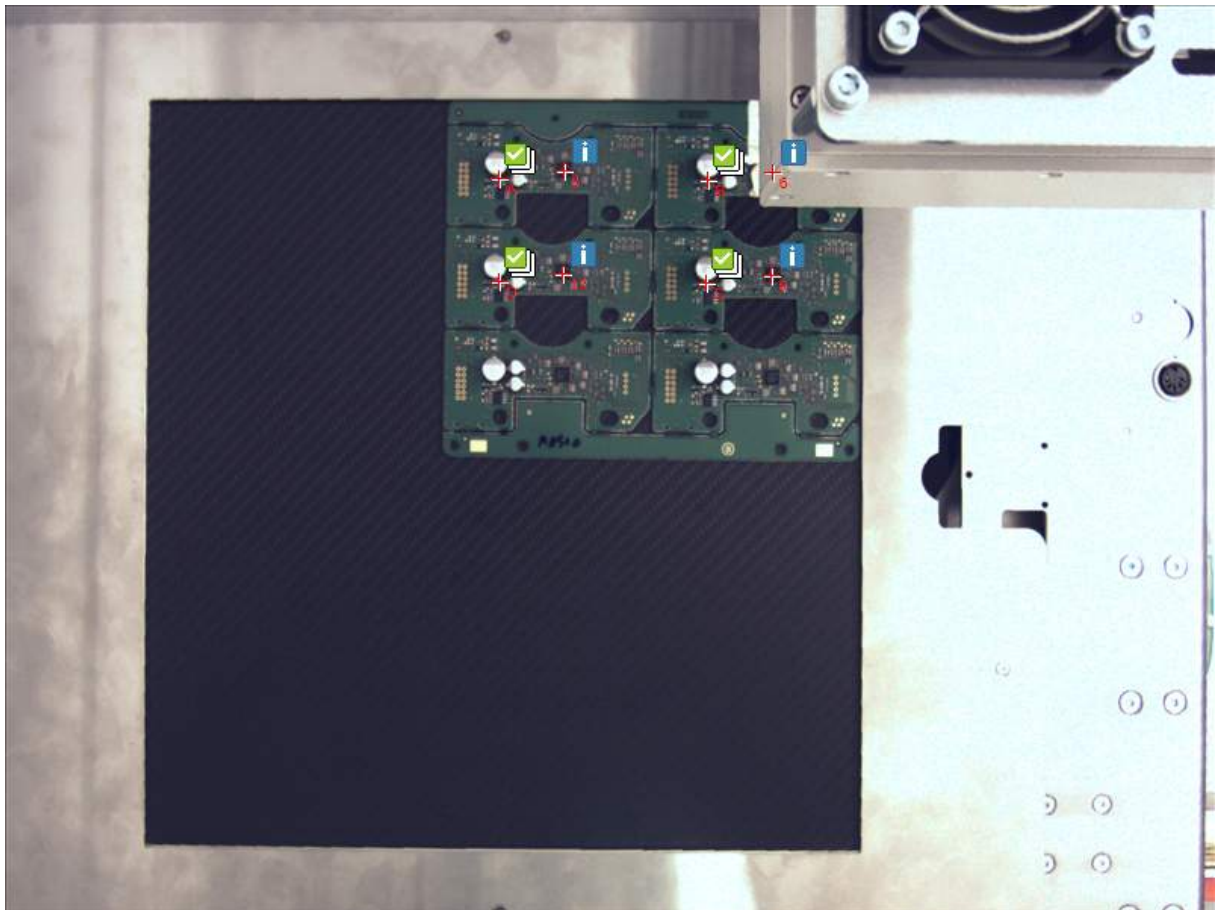
E Automatická analýza

E.1 Výstupní protokol automatické analýzy


Y.Report

AXI Inspection Report

Created: 2019/05/03, 16:18
File name: 00001-11111111111234-Automatic_Inspection.pdf
Tray ID: 1111111111234
Starting time: 03-05-2019 16:16:58
Duration: 00:01:44
Comment: analýza cap pouzder
Customer: MV / TES
Lot ID: DP1.21
Inspection program: DP_9.13
Equipment name: FGUI-10003399
Operator name: YXLON



Results:  4  0  0

Overall: 

Content of stacked marks in photo overview image:**Stacked mark A contains:**Mark 1

Mark 2

Stacked mark B contains:Mark 4

Mark 5

Stacked mark C contains:Mark 7

Mark 8

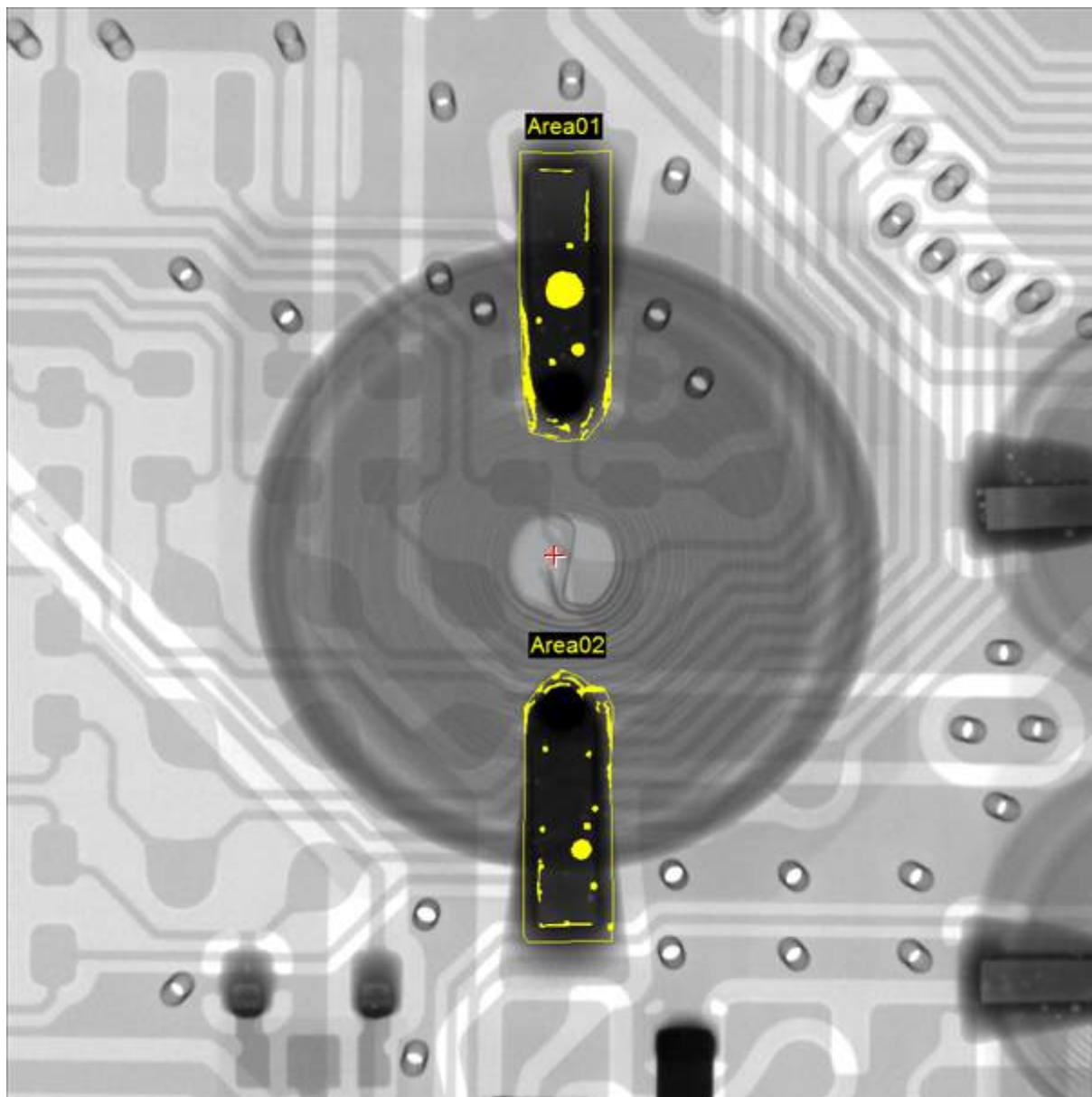
Stacked mark D contains:Mark 10

Mark 11

Mark 1

Result:

Comment:



Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	89 kV
Current	101.2 μ A

Detector


Mode	Medium Quality
IP	None

Manipulator

Magnification	8.24
ZT	-43682 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m $^\circ$
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 1 (cont.)

Inspection: VC_MultiArea


Result automatic inspection: 

Device name cap vertical
 Comment Voidy capacitoru
 Date 5/3/2019
 Time 4:17 PM
 Total result PASS
 User comment

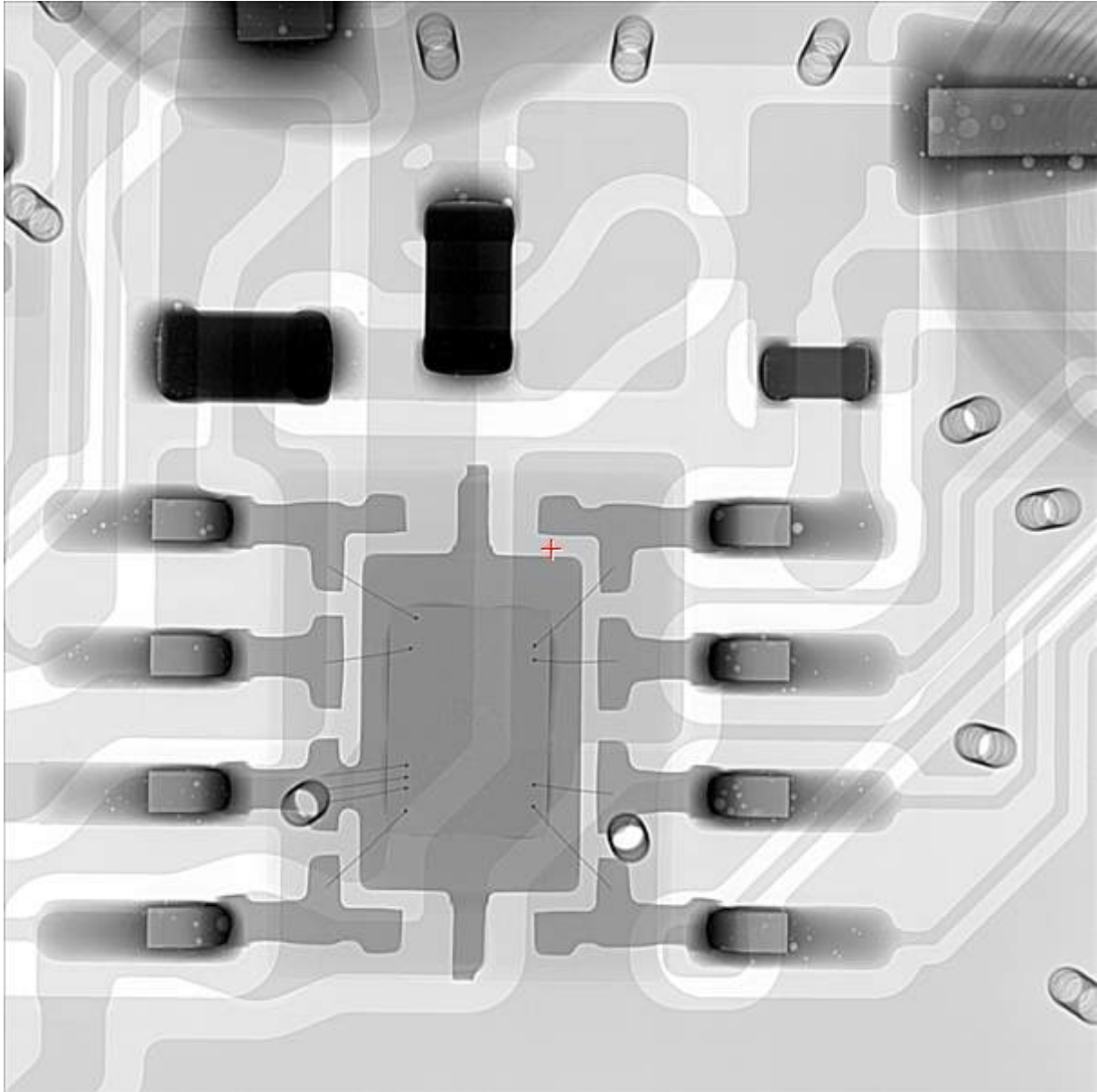
Result table:


Area	Result	Total voids %	Total voids limit %	Max single void %	Max single void limit %
Area01	PASS	10.47	50.00	04.35	10.00
Area02	PASS	07.06	50.00	01.37	10.00

Mark 2

Result: 

Comment: IC presah



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 µA


 Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV13

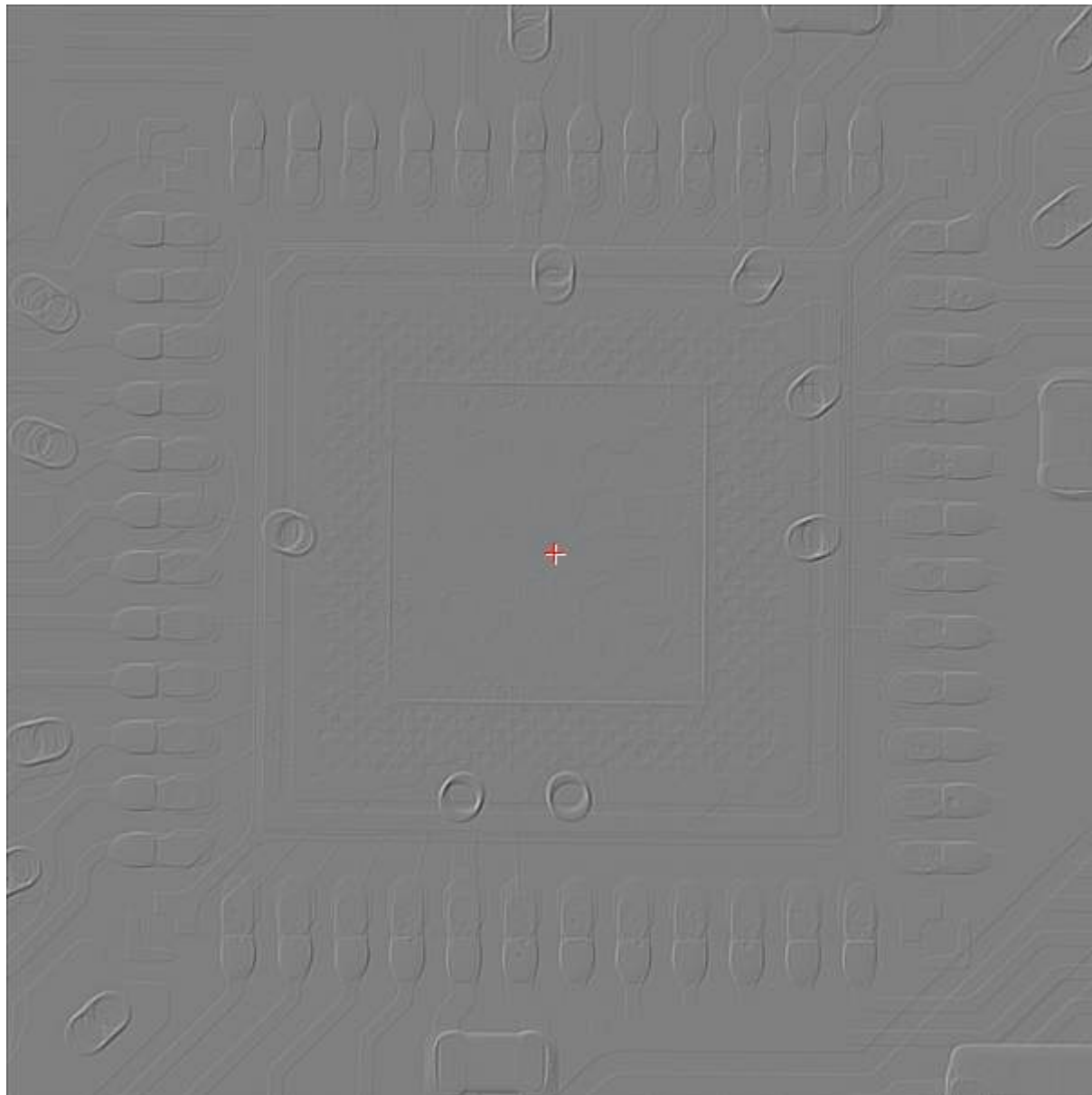
 Manipulator


Magnification	13.22
ZT	-25598 µm
ZD	314999 µm
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 3

Result: 

Comment: QFN pájení,presah,void



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 μ A

 Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV14

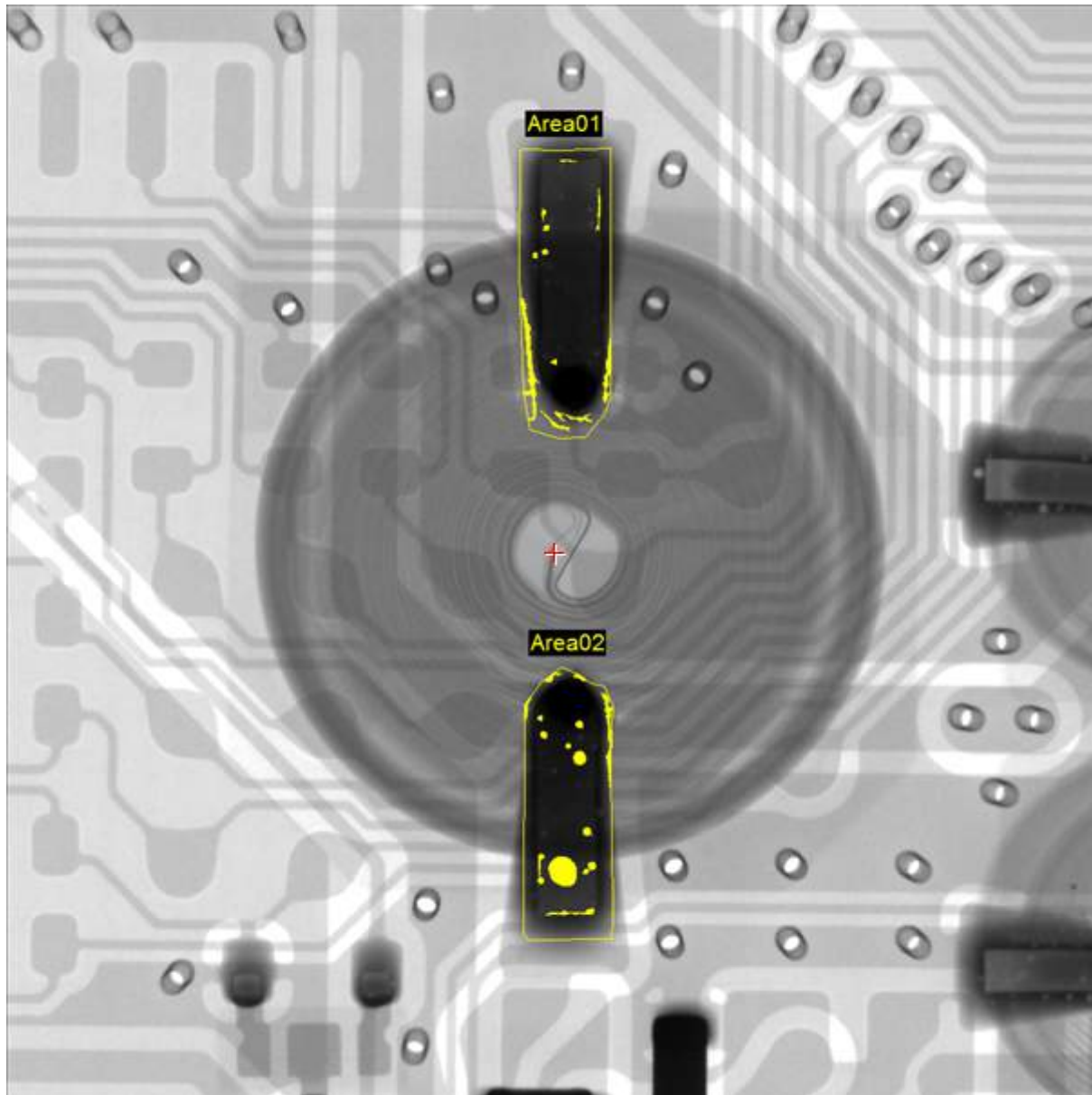
 Manipulator


Magnification	14.12
ZT	-23805 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 4

Result:

Comment:



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	89 kV
Current	101.2 μ A

 Detector


Mode	Medium Quality
IP	None

 Manipulator

Magnification	8.24
ZT	-43682 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m $^\circ$
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 4 (cont.)

Inspection: VC_MultiArea


Result automatic inspection: 

Device name cap vertical
 Comment Voidy capacitoru
 Date 5/3/2019
 Time 4:17 PM
 Total result PASS
 User comment

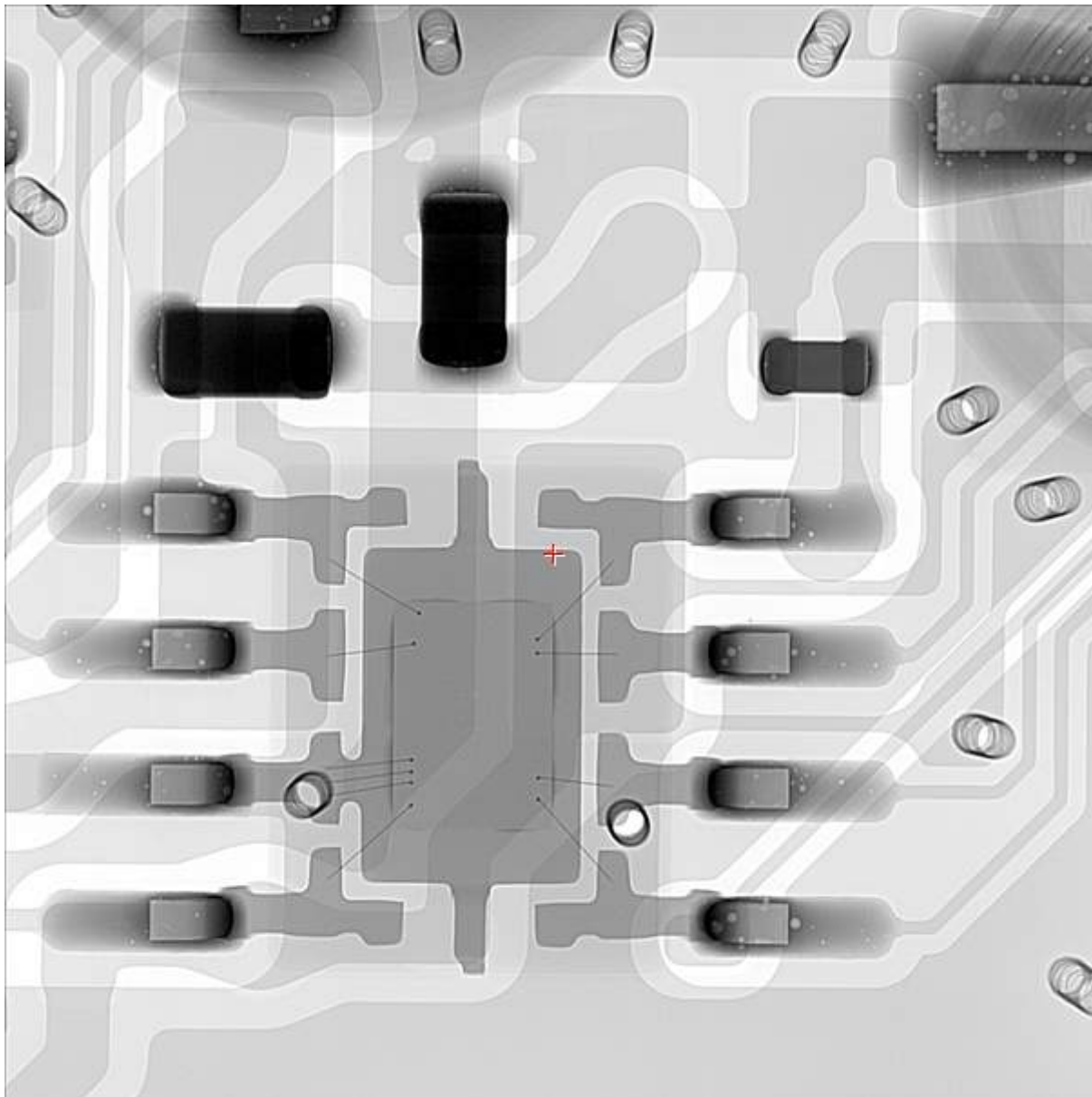
Result table:

Area	Result	Total voids %	Total voids limit %	Max single void %	Max single void limit %
Area01	PASS	04.98	50.00	02.29	10.00
Area02	PASS	07.97	50.00	02.90	10.00

Mark 5

Result: 

Comment: IC presah



Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 μ A


Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV13

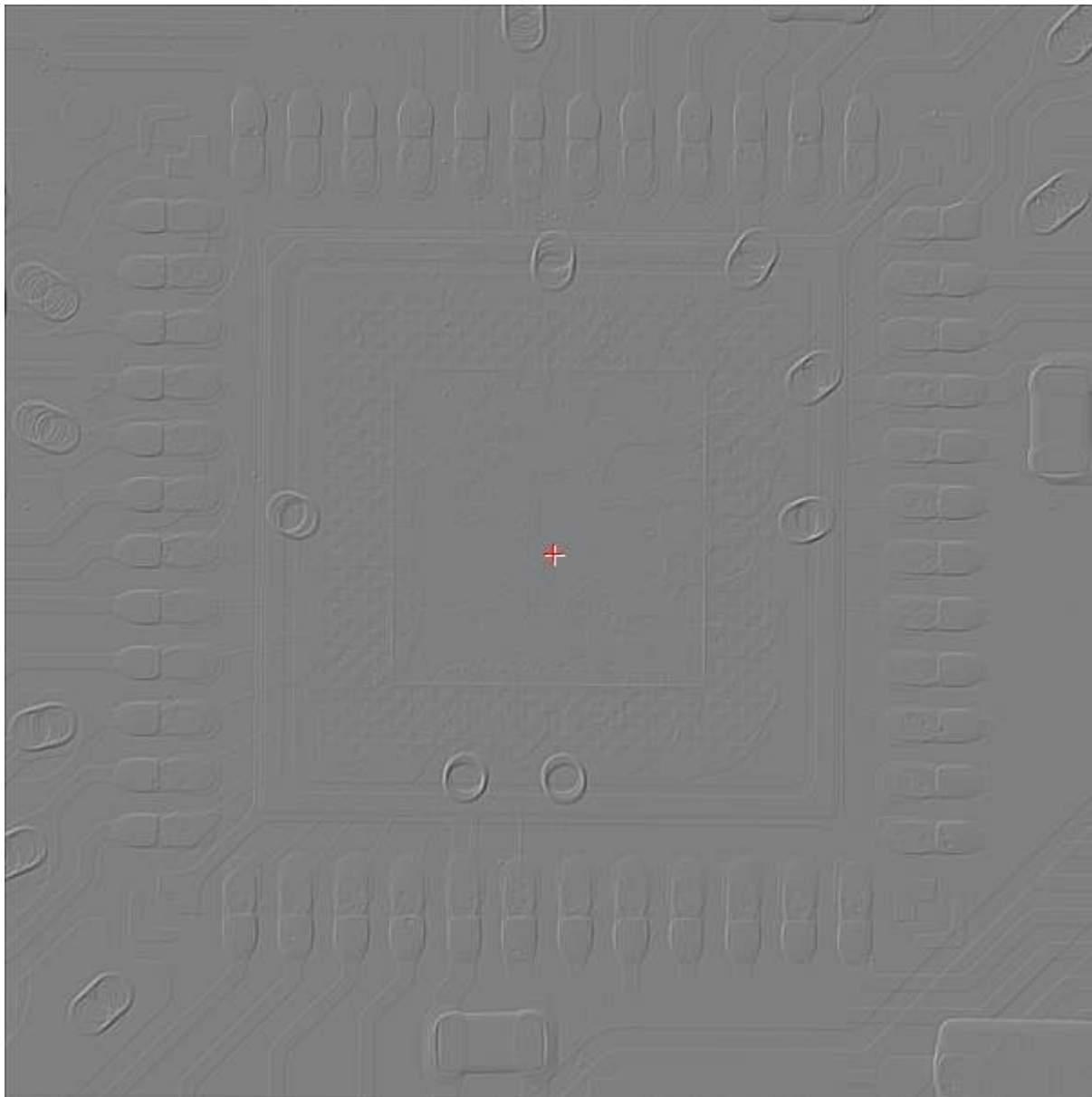
Manipulator


Magnification	13.22
ZT	-25598 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 6

Result: 

Comment: QFN pájení,presah,void



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 μ A

 Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV14

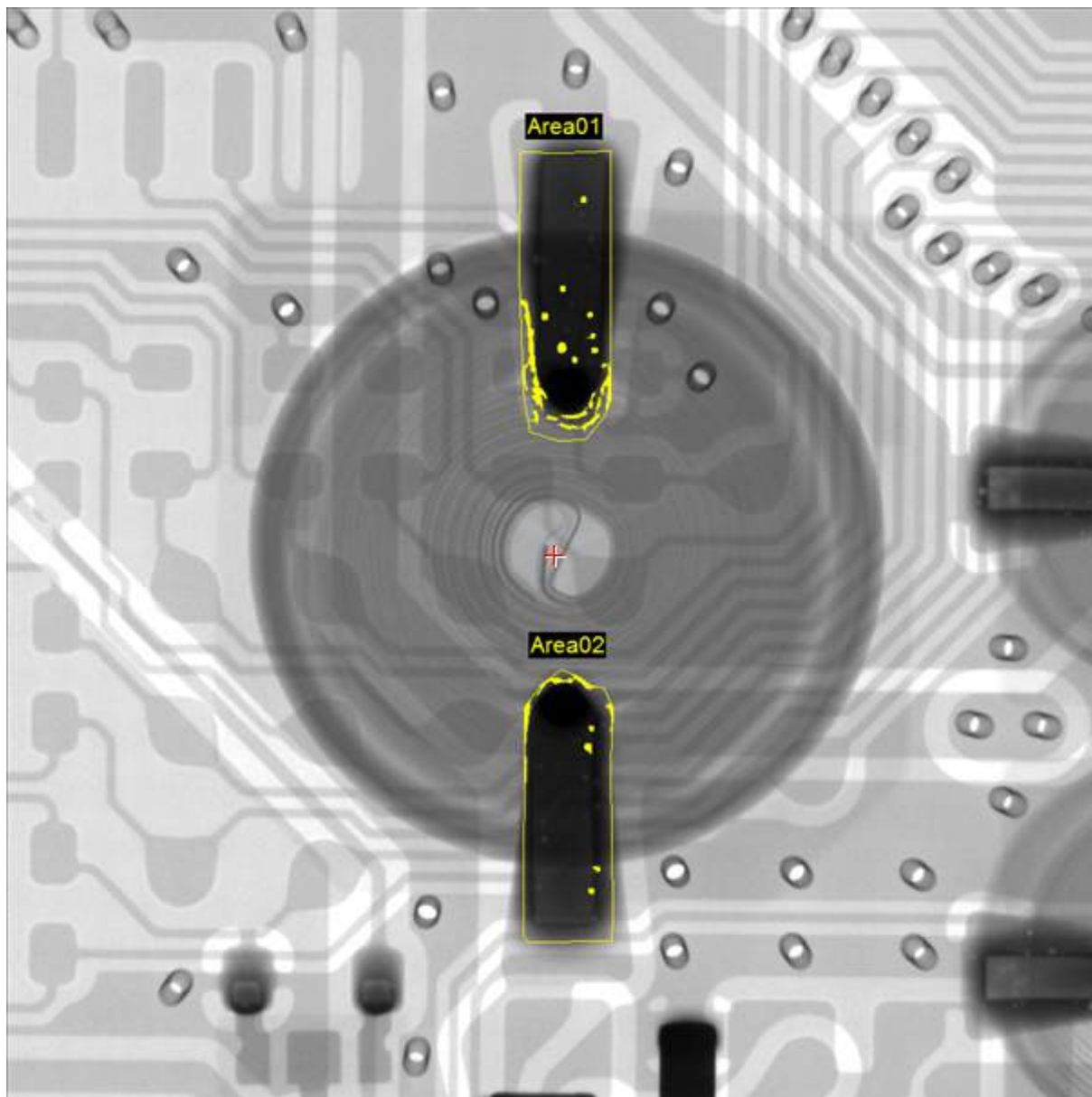
 Manipulator


Magnification	14.12
ZT	-23805 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 7

Result:

Comment:



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	89 kV
Current	101.2 μ A

 Detector

Mode	Medium Quality
IP	None

 Manipulator

Magnification	8.24
ZT	-43682 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 7 (cont.)

Inspection: VC_MultiArea


Result automatic inspection:

Device name cap vertical
 Comment Voidy capacitoru
 Date 5/3/2019
 Time 4:18 PM
 Total result PASS
 User comment

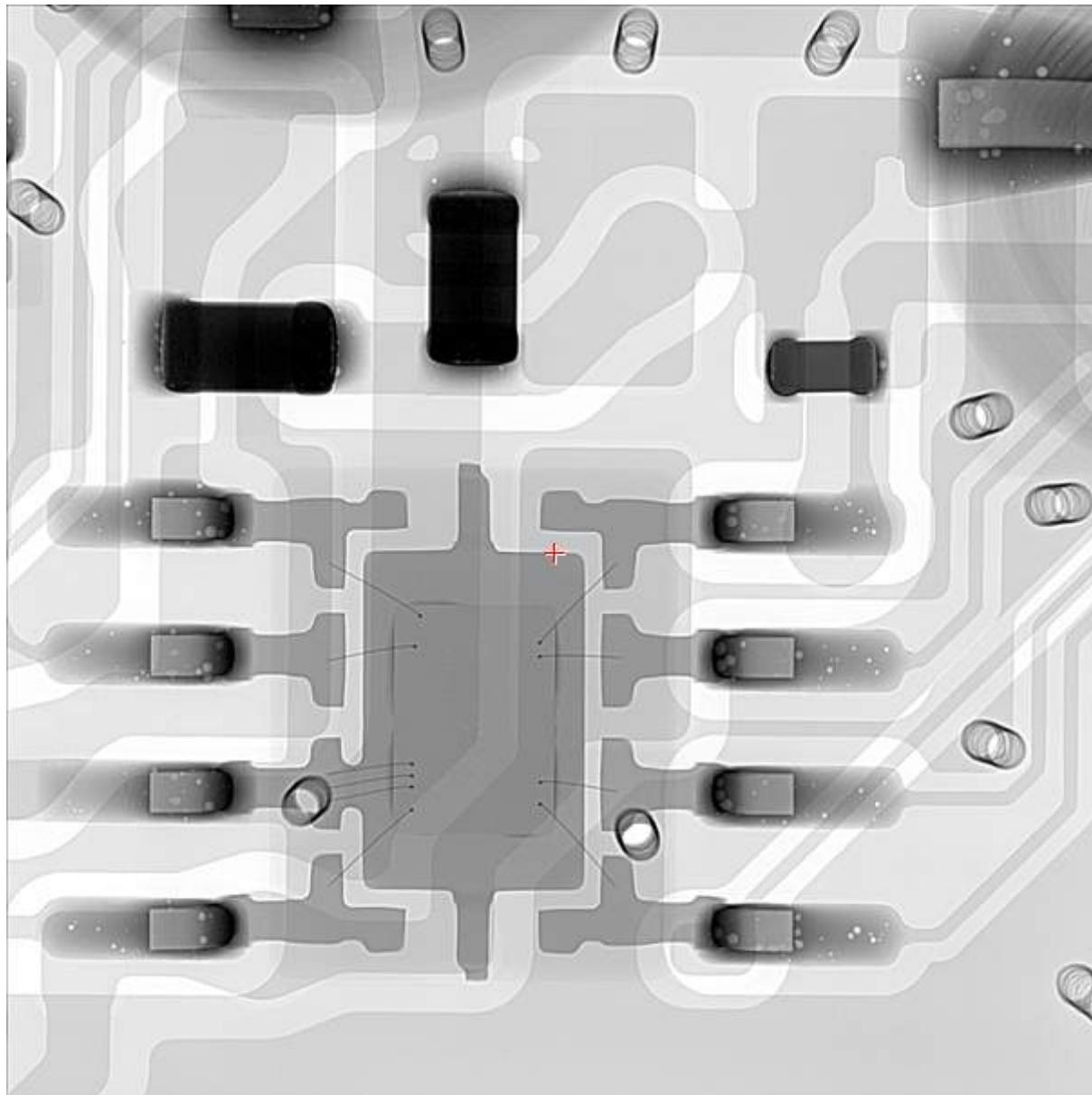
Result table:


Area	Result	Total voids %	Total voids limit %	Max single void %	Max single void limit %
Area01	PASS	06.38	50.00	02.68	10.00
Area02	PASS	03.09	50.00	01.08	10.00

Mark 8

Result: 

Comment: IC presah



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 µA


 Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV13

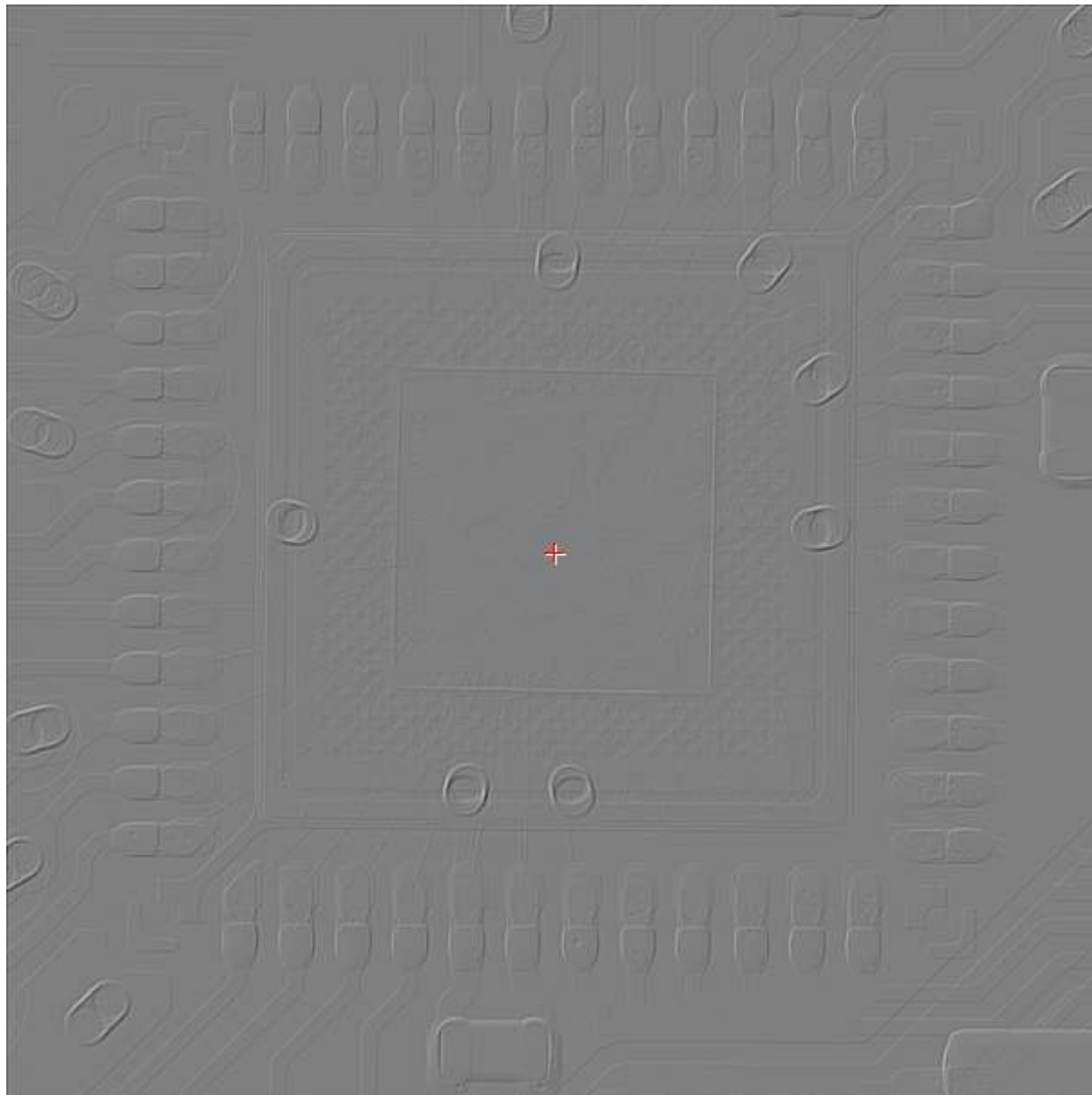
 Manipulator


Magnification	13.22
ZT	-25598 µm
ZD	314999 µm
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 9

Result: 

Comment: QFN pájení,presah,void



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 μ A

 Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV14

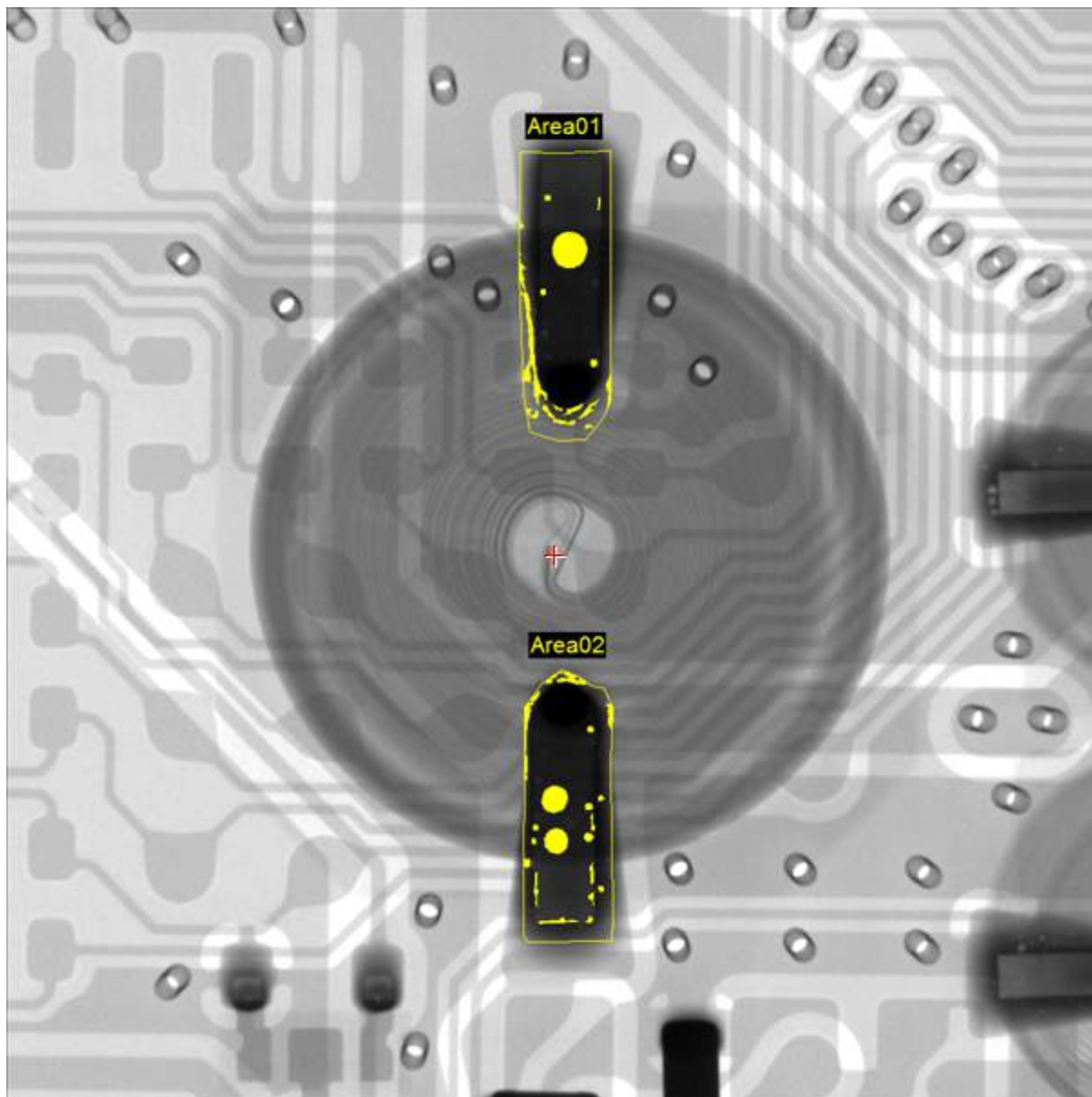
 Manipulator


Magnification	14.12
ZT	-23805 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 10

Result:

Comment:



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	89 kV
Current	101.2 μ A

 Detector


Mode	Medium Quality
IP	None

 Manipulator

Magnification	8.24
ZT	-43682 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m $^\circ$
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 10 (cont.)

Inspection: VC_MultiArea


Result automatic inspection: 

Device name cap vertical
 Comment Voidy capacitoru
 Date 5/3/2019
 Time 4:18 PM
 Total result PASS
 User comment

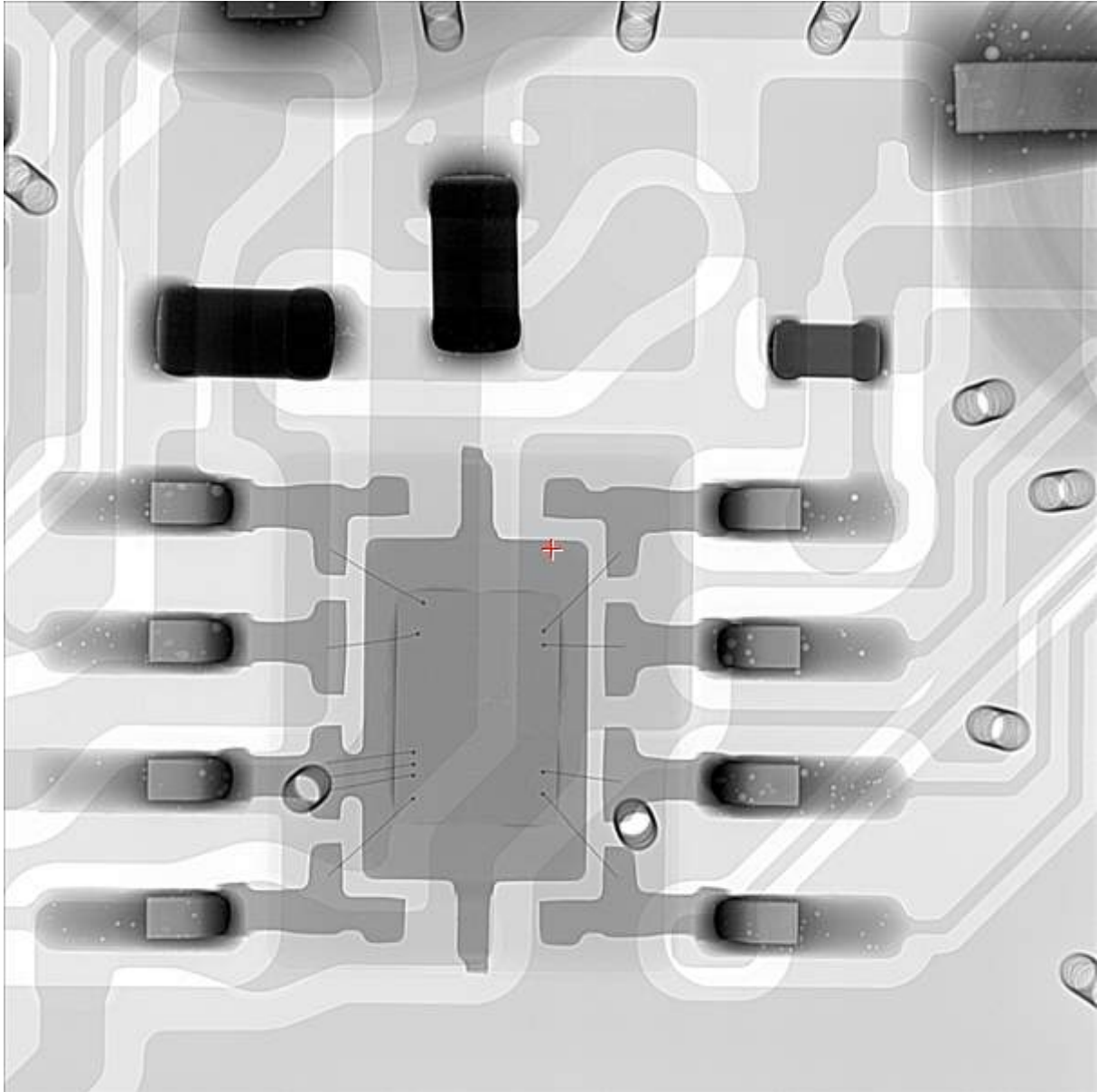
Result table:

Area	Result	Total voids %	Total voids limit %	Max single void %	Max single void limit %
Area01	PASS	09.66	50.00	03.94	10.00
Area02	PASS	10.18	50.00	02.41	10.00

Mark 11

Result: 

Comment: IC presah



Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 μ A


Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV13

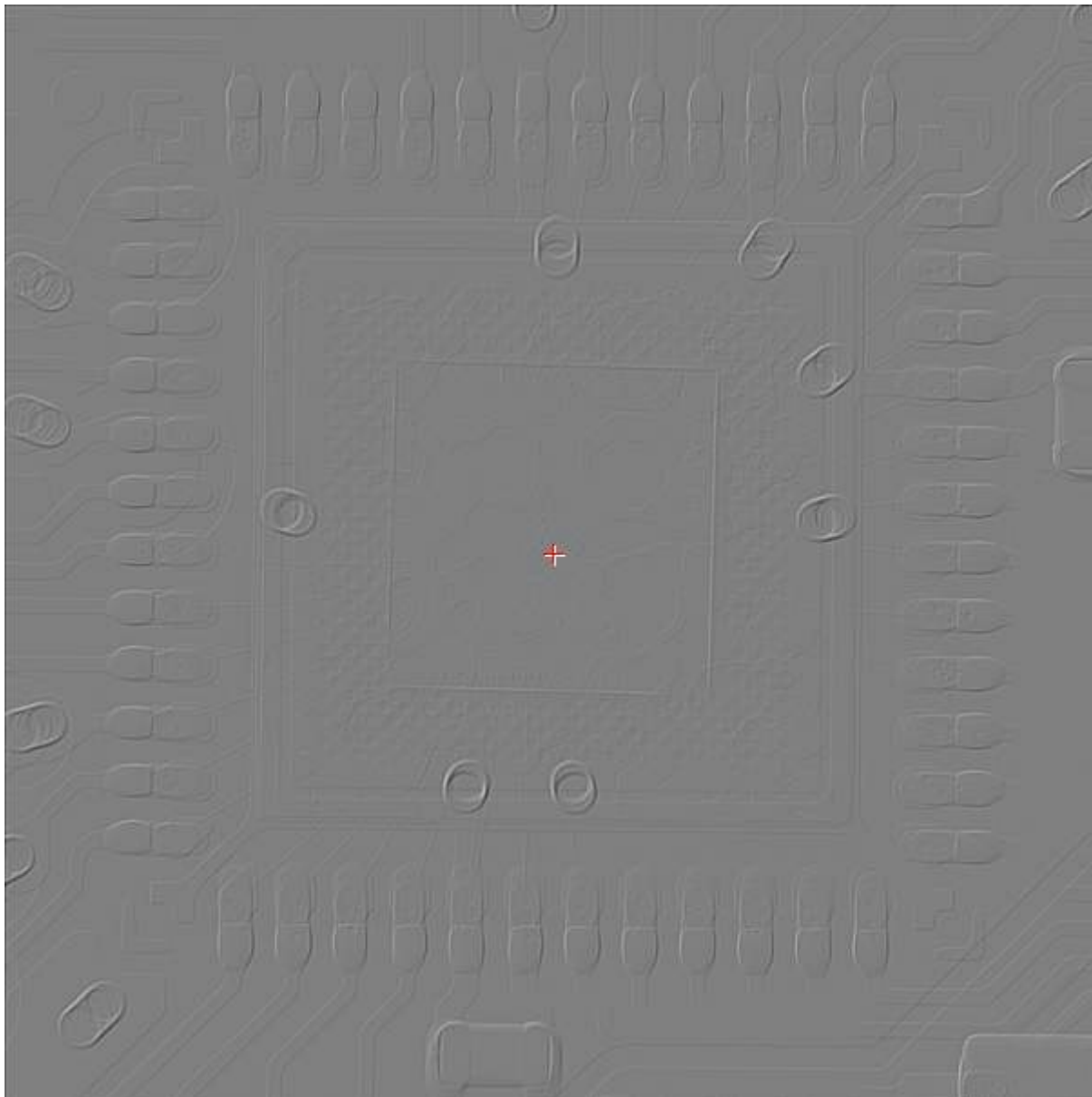
Manipulator


Magnification	13.22
ZT	-25598 μ m
ZD	314999 μ m
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

Mark 12

Result: 

Comment: QFN pájení,presah,void



 Tube

Mode	Microfocus TXI
Voltage	83 kV
Current	101.2 µA

 Detector

Mode	Medium Quality
IP	MichaelV14

 Manipulator

Magnification	14.12
ZT	-23805 µm
ZD	314999 µm
TiltD	0 m°
Tray-Offset	0.0 mm

F Obsah příloženého CD

/	kořenový adresář příloženého CD
├── QFN šablona	Zastoupení voidů před a po úpravě šablony
├── report.....	Snímky a výstupní soubory
│ ├── report.pdf	Report automatické analýzy
│ └── program.fnc	Okomentovaný program automatické analýzy