

Analýza nýtového spoje MLS modulu

Eva Jermářová

Bakalářská práce
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Eva Jermářová**
Osobní číslo: **T15018**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Analýza nýtového spoje MLS modulu**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracování literární studie na dané téma.**
2. **Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část.**
3. **Provedení experimentu.**
4. **Vyhodnocení naměřených výsledků.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Bednařík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2018

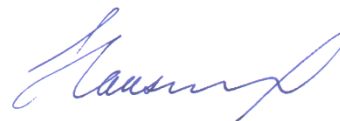
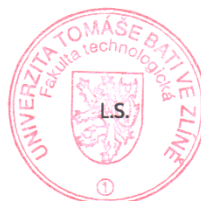
Termín odevzdání bakalářské práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 13. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: JERMAŘOVÁ EVA

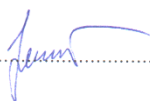
Obor: PROCESNÍ INŽENÝRSTVÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 14. 5. 2018


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla. (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihledne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou nýtových spojů. V teoretické části je popsána tvorba nýtového spoje, jeho výhody i nevýhody, a možnosti kontroly procesu nýtování. Dále je zde uveden popis MLS modulu světlometu a jeho nýtový spoj. Praktická část se zabývá pevností tohoto spoje zkoušené tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick Roell Z010 a vizuální kontrolou nýtového spoje pod mikroskopem Zeiss Smartzoom 5.

Klíčová slova: Nýt, nýtový spoj, nýtování, pevnost. MLS modul, světlomet.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with problems of rivet joints. The theoretical part describes making of rivet joint, its advantages and disadvantages and riveting process control possibilities. This part also describes MLS module of headlamp and its rivet joint. The practical part includes measuring of strength of this rivet joint in the testing machine Zwick Roell Z010 and visual control of this rivet joint under the microscope Zeiss Smartzoom 5.

Keywords: Rivet, rivet joint, rivetting, strength, MLS module, headlamp.

Tímto bych velice ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Martinu Bednaříkovi, Ph.D., a panu Ing. Karlu Volčíkovi za ochotu, trpělivost, vynaložený čas a cenné rady a připomínky, které mi pomohly při psaní této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 METODY SPOJOVÁNÍ MATERIÁLŮ	12
1.1 DĚLENÍ SPOJŮ	12
2 NÝTOVÉ SPOJE	14
2.1 ZHOTOVENÍ NÝTOVÉHO SPOJE	14
2.2 TVARY A VELIKOSTI NÝTŮ	16
2.3 MATERIÁLY NÝTŮ	18
2.4 DĚLENÍ SPOJŮ A ZPŮSOBŮ NÝTOVÁNÍ	19
2.5 DIMENZOVÁNÍ	21
2.6 TECHNOLOGIČNOST	24
2.7 ROZNÝTOVÁNÍ	25
2.8 NÝTOVÁNÍ PLASTŮ	26
3 MLS MODUL A PROCES VÝROBY	28
3.1 MLS MODUL.....	28
3.2 CHLADÍCÍ MODUL.....	29
3.3 PROCES VÝROBY	30
4 MOŽNOSTI KONTROLY PROCESU NÝTOVÁNÍ	32
4.1 ANALÝZA V PRŮBĚHU PROCESU NÝTOVÁNÍ.....	32
4.1.1 Nýtovací stroj s měřením délek.....	32
4.1.2 Nýtovací stroj s měřením přesahu.....	33
4.1.3 Nýtovací stroj s měřením přesahu a délky	34
4.1.4 Zajištění kvality spoje měřením v průběhu nýtování	34
4.2 KONTROLA MĚŘENÍM HOTOVÝCH VÝROBKŮ	36
4.2.1 Zkouška tahem	36
4.2.2 Opticko-mechanická analýza	36
4.2.3 Ruční kontrola měřením rozměrů nýtů	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	39
6 VÝROBA A PŘÍPRAVA VZORKŮ	40
6.1 ODSTRANĚNÍ ŽEBER CHLADIČE	40
6.2 VYVRTÁNÍ OTVORU	40
6.3 NÝTOVÁNÍ.....	41
7 TAHOVÁ ZKOUŠKA	42
7.1 TRHACÍ STROJ	42
7.2 UPNUTÍ VZORKŮ.....	43
7.3 PRŮBĚH TESTU	44
8 OPTICKO – MECHANICKÁ ANALÝZA	45

8.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	45
8.2	MIKROSKOP	46
9	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	47
9.1	VÝSLEDKY TRHACÍ ZKOUŠKY	47
9.1.1	Vzorky 1-15 – Nýtovací síla 2,2 kN	47
9.1.2	Vzorky 16-30 – Nýtovací síla 1,9 kN	48
9.1.3	Vzorky 31-45 – Nýtovací síla 2,4 kN	50
9.2	VÝSLEDKY OPTICKO-MECHANICKÉ ANALÝZY	55
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Technologie nýtování je jedním z nejstarších způsobů spojování materiálů. Již v době bronzové bylo potřeba materiály spojovat a nýtování představovalo rychlý a jednoduchý způsob jak materiály spojit. Přestože dnes již ustupuje modernějším technologiím jako je svařování, lepení, či šroubové spoje, stále najdeme několik průmyslových odvětví, ve kterých se nýtování stále drží a je oceňované pro jeho vlastnosti a jednoduchost.

Stejně jako se nýtování objevuje ve stavebnictví a leteckém průmyslu, není tomu jinak ani v průmyslu automobilovém, který zde oceňuje nejen možnost spojení dvou nesvařitelných, popřípadě neslepitelných materiálů, ale i jednoduchost a nízkou cenu za jakou lze takové spoje vytvářet.

Nýtování má ale i několik limitujících faktorů, kvůli kterým není pro některé aplikace vhodné. Například takto nelze spojovat příliš silné součásti, nebo součásti, u kterých je požadována vysoká přesnost spojení. Tyto limitující faktory je třeba znát a počítat s nimi již při vývoji výrobku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METODY SPOJOVÁNÍ MATERIÁLŮ

Materiály je ve výrobním procesu často nutné spojovat. Spojováním dílů se zhotovují výrobky složitějších tvarů, nebo velkých rozměrů, které nelze vyrobit běžnými technologiemi, nebo je vyrobit lze, nicméně by jejich výroba byla příliš nákladná. [1]

Součásti, detaily technologických zařízení i jednotlivé výrobky se spojují rozebíratelně např. čepy, kolíky nebo šroubovým spojením, nerozebíratelně potom nýtováním, svařováním, pájením, nebo lepením. [1, 2]

V oblasti spojování materiálů se velmi rychle rozvíjí vývoj strojů vybavených číslicovým řízením a automatizace, mechanizace a robotizace procesů, které dříve vykonávali lidé pouze svými silami a ručními nástroji. S rozvojem těchto robotizovaných procesů se zvyšuje kvalita spojů, odstraňuje se namáhavá práce, zlepšují se pracovní podmínky a ekologie. [1]

1.1 Dělení spojů

Spoje lze dělit z několika různých hledisek. Z hlediska vzájemného pohybu součástí se rozlišuje spojení pevné, které znemožňuje vzájemný pohyb součástí ve všech dvanácti směrech (v obou smyslech všech šesti stupňů volnosti), a spojení pohyblivé o kterém lze hovořit v případě, kdy je alespoň jeden z pohybových směrů volný, přestože jsou součásti spojeny. [2]

Podle možnosti demontáže se pak spojení dělí na rozebíratelná, jež lze demontovat bez porušení určitými montážními pohyby, definovanými silami, nebo vyjmutím spojovacího členu, a nerozebíratelná, jejichž demontáž lze provést pouze porušením některých součástí, nebo spojovacího materiálu. [2]

Soudržnost spojovaných součástí zajišťuje několik typů spojů. Materiálový spoj je tvořen za pomoci přídavného materiálu, jako je např. pájka při pájení, nebo lepidlo při lepení. Materiálový spoj je nerozebíratelný, jeho demontáž je tedy možná pouze porušením přídavného materiálu ve stykové ploše. [2]

Dalším typem spoje je spoj tvarový. Tento spoj vzniká spoluzáběrem stykových ploch součástí bez přídavných prvků, nebo případně s přídavnými spojovacími členy jako jsou čepy, pera, nebo drážkové hřídele. Demontáž tohoto spoje je možná s využitím jen malého množ-

ství síly, protože toto spojení je snadno rozebíratelné. Tvarové spoje se často vytvářejí s přídatným předpětím součástí, aby se zamezilo vůli ve spoji. Čistého tvarového spoje se využívá pouze u velmi tuhých součástí. [2]

Spojení součástí, které je zajištěno třecími silami ve stykových plochách se nazývá silový spoj. Třecí síly v tomto spoji vznikají díky elastickým, nebo plasticko-elastickým deformacím součástí, popřípadě spojovacích elementů, nebo díky setrvačným a tíhovým silám. Při demontáži tohoto spoje je třeba odstranit účinek sil působících na stroj, nebo využít odpovídající protisílu. [2]

2 NÝTOVÉ SPOJE

Nýtování je proces, při kterém se vytváří nerozebíratelné spoje. Spojení se dosahuje trvalou plastickou deformací nýtů, nebo jedné ze spojovaných součástí. Nýtování tedy lze rozdělit na přímé, při kterém dochází k deformaci jedné ze spojovaných součástí vložené do vyvrtané průchozí díry ve druhé součásti, a nepřímé, kdy se deformuje nýt vložený do průchozích děr ve všech spojovaných součástech. [1, 3]

Nýtování je vhodné jen pro nepřiliš silné součásti, např. plechy, pásy, válcované tyče U, T, L, I atd. Pro silnější součásti není nýtování vhodné kvůli nutnosti vyvrtat průchozí díry pro nýty ve všech spojovaných součástech. Nýtové spoje také nezaručují přesnou polohu spojovaných částí. Při nýtování vzniká v nýtech i ve spojovaných částech napětí, jehož velikost nelze vždy zcela přesně určit. Tato napětí vytvářejí deformace jednotlivých součástí, což má vliv na rozměry celého nýtového spoje, a proto je nelze používat tam, kde je požadována vysoká rozměrová přesnost. [1, 3]

S rozvojem svařování ztrácí nýtování v mnoha ohledech svůj původní význam. Většinou jsou nýtové spoje nahrazované lepenými či svarovými, které jsou oproti nýtovaným asi o 15 až 20 % lehčí a výrazně tak snižují hmotnost celých konstrukcí a vyžadují méně přípravných prací než spoje nýtované. Stále jsou však oblasti, ve kterých je nýtování vítané zejména pro dobrou odolnost vůči dlouhodobému rázovému zatížení. U svařovaných konstrukcí zatížených střídavě velkým počtem kmitů dochází v krátké době k dosažení meze únavy materiálu a k nebezpečí porušení spoje. [1, 2, 3]

Z těchto důvodů se nýtové spoje používají jen výjimečně, především pro spojení těžko svařitelných materiálů, u profilů z lehkých kovů a slitin, a v případech, kdy je požadována větší pevnost, než je pevnost lepeného spoje. Nýt může sloužit i jako izolant nebo vodič, proto se nýty z vodivých materiálů nebo naopak izolantů používají v elektrotechnice. [1, 2]

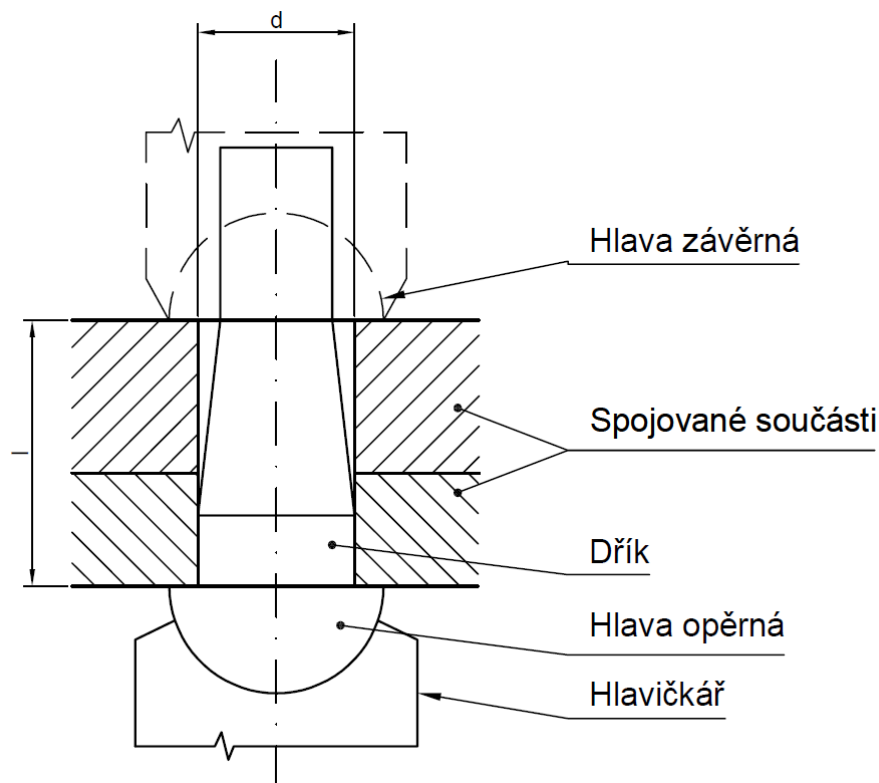
2.1 Zhotovení nýtového spoje

Při zhotovování nýtového spoje se musí podniknout několik nezbytných operací. Nejdříve je nutné vyvrtat díru pro nýt a upravit ji pro konkrétní nýt, např. pro nýt se zapuštěnou hlavou. Díru lze zhotovit vrtáním nebo děrováním. Děrování se však používá obvykle jen u tenkých spojovaných částí, pro nýty menšího průměru, v součástech pro podřadné účely. Kvalita je horší než u děr vrtaných, a tak je horší i únosnost těchto nýtovaných spojů. [2, 3]

Díra pro nýt musí být vždy o něco větší než průměr dřívku nýtu (musí se dodržet vůle na vložení nýtu). Průměr díry d_1 pro spoje, nýtované za studena, je podle velikosti nýtu o 0,1 až 0,5 mm větší, pro spoje nýtované za tepla je průměr díry o 1 mm větší než průměr dřívku nýtu. [3]

Po zhotovení díry se do ní vloží nýt. Surový nezatažený nýt mívá na dřívku vylisovanou přípěrnou hlavu, která má nejčastěji tvar kulové úseče (půlkulová hlava), popř. hlavu čočkovitou nebo plochou. Tvar přípěrné hlavy se odvíjí od funkce součásti a konstrukčního řešení. Tam, kde by vyčnívající hlava překážela, se musí použít nýt se zápusťnou hlavou. Zahloubením pro zápusťnou hlavu se však spojované součásti zeslabují, což má negativní vliv na pevnost celého spoje. Další opracovávání díry je také nákladnější a celý proces nýtování je dražší. Přípěrná hlava nýtu se podepře opěrkou a sevrou se všechny spojované části. [2, 3]

Posledním krokem je zakončení spoje plastickou deformací dřívku a vytvořením závěrné hlavy. Hlava se vytvoří roznýtováním vyčnívajícího konce dřívku za použití hlavičkáře. Podle hlavičkáře pak může mít závěrná hlava stejný tvar jako hlava opěrná, nebo jakýkoli jiný podle potřeby a funkce součásti. Délka surového nýtu je větší než tloušťka spojovaných částí (svěrná délka). Část vyčnívajícího dřívku má za úkol zaplnit díru a přebytek tvoří závěrnou hlavu. Tímto je nýtový spoj kompletní (Obr. 1). [2, 3]

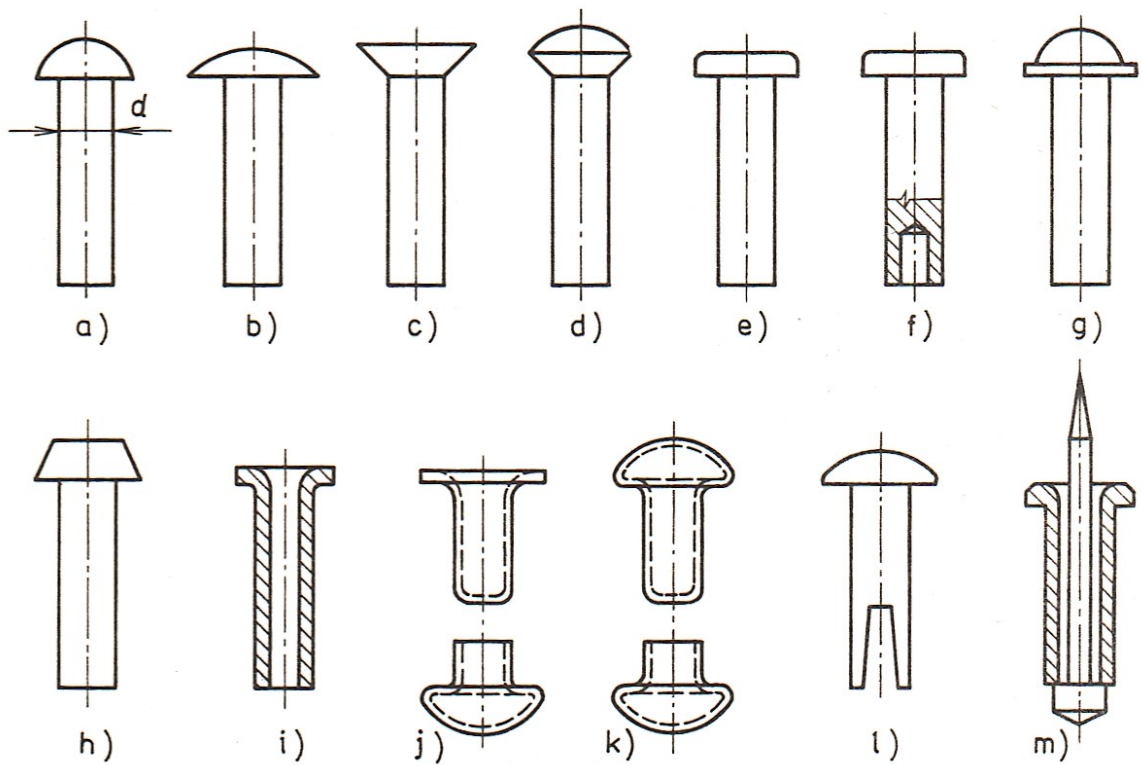


Obr. 1. Nýtový spoj. [4]

U mechanizované nebo automatizované výroby se oproti ruční výrobě přidává navíc manipulace se součástmi a posunutí součástí o jednu rozteč díry. Při strojním nýtování je také možné vytvářet obě hlavy nýtu současně na hladkém dříku. Dřík je ale třeba napěchovat tak, aby dokonale vyplnil otvor a teprve potom vytvořil závěrnou hlavu. [3, 4]

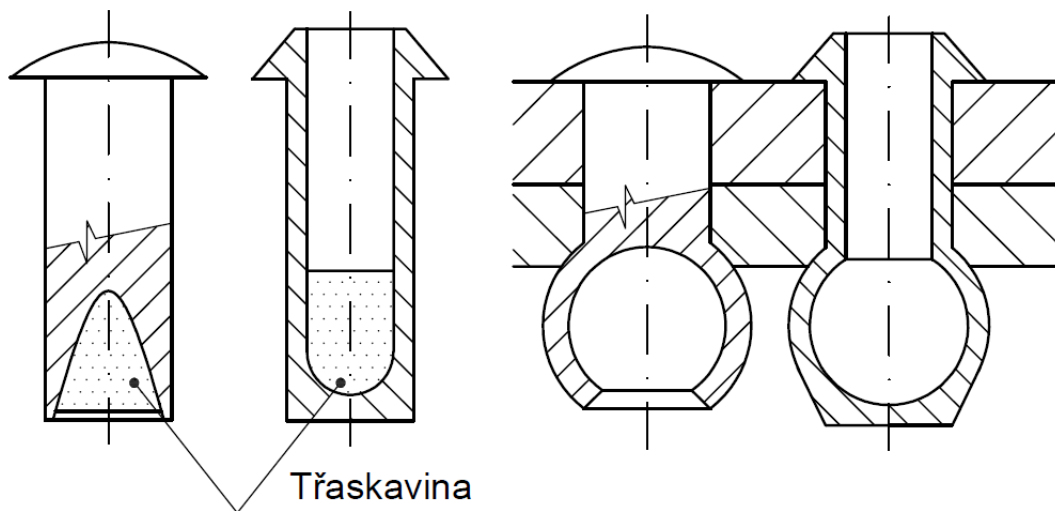
2.2 Tvary a velikosti nýtů

Pro běžné nýtové spoje se zpravidla používají nýty normalizované. Z normalizovaných nýtů se používá např. nýt s půlkulovou hlavou ČSN 02 2301 (Obr. 2a), s plochou kulovou hlavou ČSN 02 2303 (Obr. 2b), zápusťný ČSN 02 2311 (Obr. 2c), s plochou hlavou ČSN 02 2330 (Obr. 2e), kotlový s půlkulovou hlavou ČSN 02 2351 (Obr. 2g), lodní ČSN 02 2370 (Obr. 2h), trubkový ČSN 02 2379 (Obr. 2i), dvojdílný otevřený ČSN 02 2387 (Obr. 2j), dvojdílný uzavřený ČSN 02 2388 (Obr. 2k), nebo rozštěpený ČSN 02 2390 (Obr. 2l). [3]



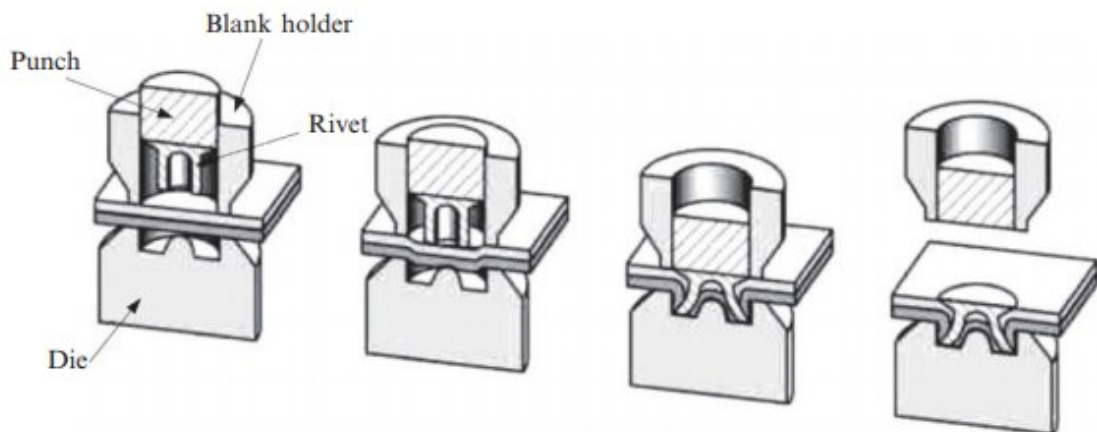
Obr. 2. Normalizované nýty. [2]

Z důvodů technologických, konstrukčních a montážních se někdy musí použít nýty speciální. Těchto nýtů je celá řada, jsou to nýty s vyšší smykovou pevností, nýty výbušné (Obr. 3), nýty přístupné pouze z jedné strany, nýty duté a poloduté, nebo nýty s kompensátorem. [1]



Obr. 3. Výbušný nýt a) před snýtováním, b) spoj snýtovaný výbuchem třaskaviny. [4]

Existují i nýty, pro které není nutné předvrtávat díry. Tyto nýty se používají pro spojení kovových i nekovových materiálů, jejichž maximální tloušťka je 4 mm. Tyto nýty mohou mít podle potřeby různé tvary. Díra pro nýt se vytvoří tlakem na nýt, který proděraví spojované plechy. Tato technika se nazývá self-pierce rivetting (SPR) a je využívána v automobilovém průmyslu při spojování hliníkových a hořčíkových součástí. [5, 6]



Obr. 4. SPR Nýtování. [6]

2.3 Materiály nýtů

Materiál nýtů se odvíjí od materiálu spojovaných součástí. Mezi některými druhy materiálů může dojít ke vzniku elektrolytické koroze, nebo různým dilatacím spojovaných součástí např. vlivem měnících se tepelných podmínek. Materiál nýtů se také odvíjí od funkčních požadavků. Měl by vyhovovat po stránce pevnostní, korozní i technologické. Většina nýtů se vyrábí z houževnatých materiálů, které se dají dobře tvářet, jako jsou oceli 1.0036 nebo 1.0034.[1]

Všude tam, kde se vyskytují hliníkové konstrukce je dobré používat nýty ze slitin hliníku. Pro méně namáhané spoje se používá hliník o čistotě 99,5 %, pro více namáhané spoje se musí použít nýty ze slitin hliníku např. AlMg₅ nebo AlCu₂Mg. Tyto nýty se používají v elektrotechnice nebo leteckém průmyslu. [1]

Nýty mohou sloužit i jako vodivé spoje, zdířky, pájecí kontakty, nebo naopak izolační spoje. Pro tyto funkce se v elektrotechnice i ve spotřebním průmyslu používají nýty mosazné a mě-

děné. Nýty se vyrábí buď z čisté mědi nebo mosazi pro tváření. V elektronice se často používají trubkové nýty, jejichž výhodou je prostor uvnitř nýty, který se hodí na vytvoření zdírky. V případech, kdy je potřeba nýt izolovaný, se používají nýty plastové. [1]

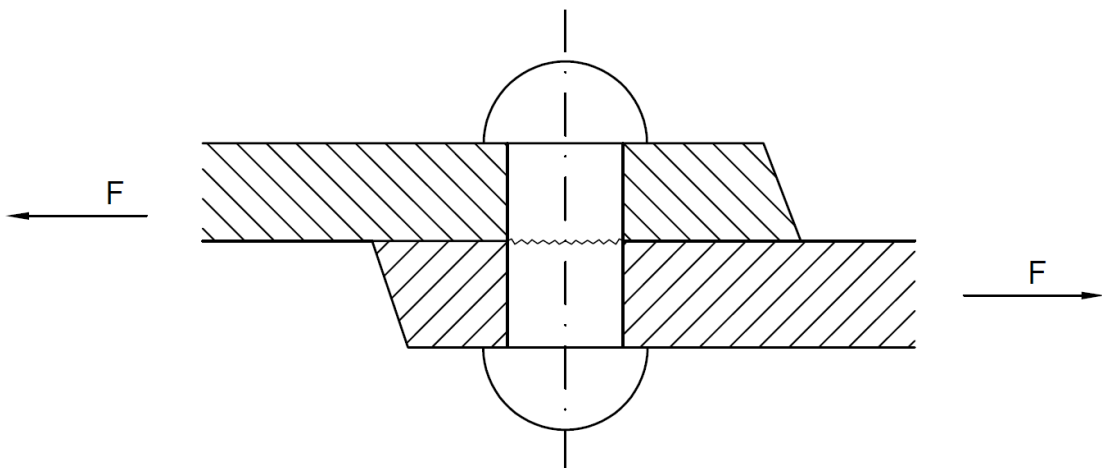
Křehké materiály jako např. keramika nebo sklo, se spojují pomocí trubkových nýtů na nýtovacích strojích s přtlakem a kývavým pohybem. Tento způsob je šetrnější a nedochází při něm k praskání tenkostěnných výrobků. [1]

2.4 Dělení spojů a způsobů nýtování

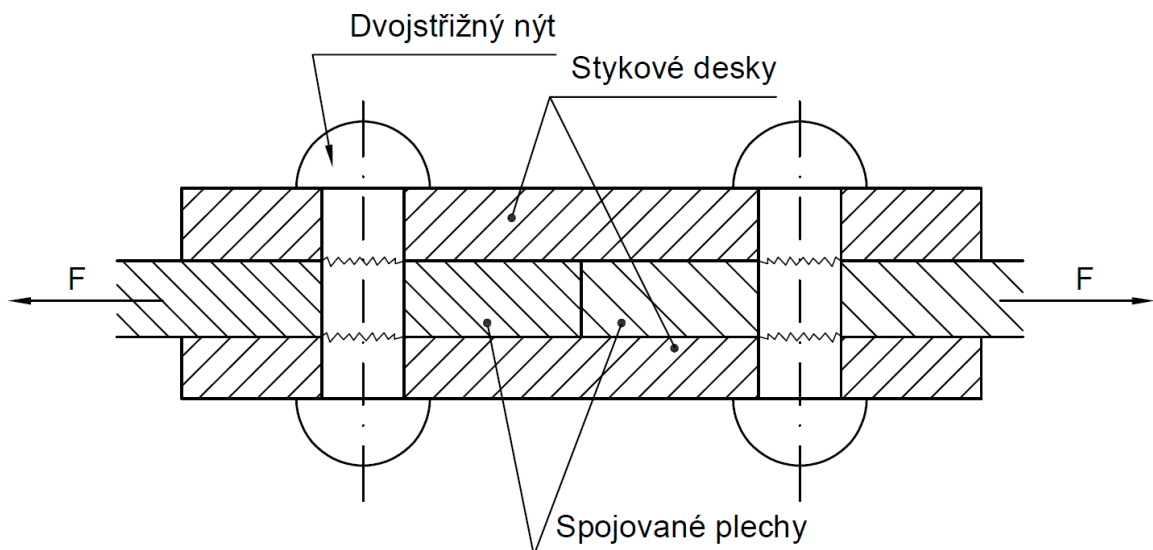
Způsoby nýtování lze rozdělit dle několika kritérií. Podle použitých pomůcek, nástrojů a strojů lze tyto způsoby dělit na nýtování strojní a ruční. Ruční nýtování se provádí opakovanými údery pneumatickým kladivem, popřípadě ručními nástroji. Při ručním nýtování se používá mnoho nástrojů a pomůcek k přidržení součástí, sevření součástí a vytvoření hlavy nýtu. Při strojním nýtování se tyto nástroje používají také, jen jsou součástí jednoho či více strojních přípravků, nebo samotných strojů. [2]

Podle druhu potřebné energie lze způsoby nýtování dělit na nýtování rázové a nýtování tlakem. Pro nýtování rázové je charakteristickým nástrojem kladivo. Používá se při ručním nýtování. Závěrná hlava se vytváří opakovanými údery kladiva do dřívku nýtu. Při nýtování tlakem vzniká závěrná hlava vlivem plynule narůstající síly vyvinuté na dřík nýtu. Tento způsob nýtování má řadu předností. Jedná se především o ovládnutí nýtovacího pochodu, stejnoměrnost a reprodukovatelnost provedení nýtového spoje, menší spotřebu energie a rychlejší proces výroby. [2]

Samotné nýtové spoje pak lze dělit z mnoha různých hledisek např. podle počtu průřezů namáhaných stříhem na jednostřížné (Obr. 5) a dvojtřížné (Obr. 6) (popř. víceštížné). Spojení s jednostřížnými nýty vzniká přeložením spojovaných částí přes sebe (přeplátovaný spoj), zatímco spoj s dvojtřížnými nýty vzniká přiložením spojovaných součástí k sobě, a překrytím jejich konců dalšími dvěma stykovými deskami. Tento spoj je z pevnostního hlediska výhodnější a používá se častěji, než spoj přeplátovaný. Spoj s jednostřížnými nýty je při přenášení tahové a tlakové síly namáhan i na ohyb, a proto se používá jen v případech, kdy jsou spojované součásti dostatečně tuhé. Kvůli namáhání na ohyb vznikají u přeplátovaných spojů nepředvídané deformace. Měly by se tedy využívat jen pro méně důležité spoje. Spoje přeplátované i spoje s jednou nebo dvěma stykovými deskami lze pak rozdělit podle počtu nýtovacích řad na jednořadé a víceřadé. [3, 4]



Obr. 5. Jednostřížný nýt. [4]



Obr. 6. Dvojitřížný nýt. [4]

Podle účelu součástí a nýtového spoje se nýtování dělí na pevné, nepropustné, pevné a nepropustné a na závěr stahové. [1]

Nýtování pevné a nepropustné se používá při výrobě kotlů, tlakových nádob a potrubí s vysokým tlakem. Je zde velký důraz na pevnost i těsnost spoje. Pevnosti se dosahuje správným dimenzováním, těsnosti spoje tužením okrajů hlav nýtů i spojovaných plechů. Dnes se však nýtování pevné a nepropustné používá zřídka, je postupně nahrazováno svařováním. [1, 4]

Nýtování pevné se používá při stavbě ocelových konstrukcí mostů, jeřábů, skeletů, střech apod. Jediným požadavkem je zde pevnost spoje, proto jsou rozteče jednotlivých nýtů větší než u předešlého nýtování. Pro tento druh nýtování se převážně používají válcované profily,

např. nosníky I, U a T, nebo pásy a plechy. V současné době se však i tento druh nýtování nahrazuje levnějším svařováním. [1, 4]

Nýtování nepropustné se využívá při nýtování nádrží, plynojemů, nebo velkopřůměrových potrubí. Tento způsob musí splňovat především požadavek nepropustnosti spoje. Jelikož nejsou takto nýtovaná zařízení vystavována velkým tlakům, lze volit i menší tloušťky plechů. Těsnosti spojení se pak dosahuje větším množstvím menších nýtů a vkládáním těsnění do nýtového spoje. Tento způsob nýtování však již byl téměř vytlačen svařováním. [1, 4]

Stahové nýtování má za úkol pouze spojit tenké plechy, nikoli přenášet působící síly. Používá se pro pláště strojů a zařízení, automobilů a letadel. I zde je snaha vytlačit nýty svařováním, ale např. u některých součástí letadel jsou nýty stále oceňovány pro lepší rázovou odolnost. [1, 4]

2.5 Dimenzování

Nýtové spoje se z funkčního hlediska dělí na nýty nosné neboli silové, přenášející síly mezi dvěma součástmi z jedné na druhou, a nýty spínací nebo také spojovací, které slouží pouze ke spojení dvou součástí a nepřenášejí přitom žádné velké síly. [3]

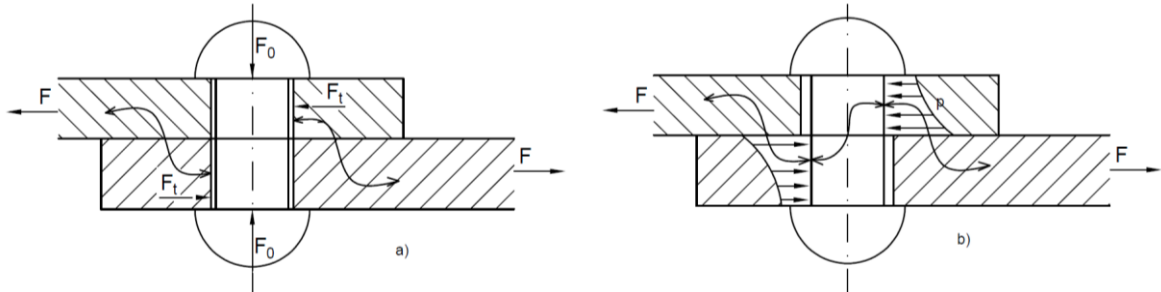
Průměr nýtů se volí obvykle podle tloušťky spojovaných součástí. Pokud je tloušťka nejtenčí součásti s menší než 12 mm, zpravidla se volí průměr nýtů přibližně dvakrát větší, než je tloušťka nejtenčí součásti. V případě, že je tloušťka s větší, volí se průměr nýtu $d = s + 10$ mm. Při spojování součástí z lehkých slitin se zpravidla volí průměr nýtů dvakrát větší, než tloušťka součástí. U dvojstržných nýtů se volí průměr $d = 1,5s$. [3]

Nýty by měly být vždy zatíženy silou působící kolmo k ose. Namáhání tahem ve směru osy nýtu je v nýtových spojích velmi nebezpečné, hrozí zde odtržení hlavy nýtu a poškození konstrukce. [3]

Přenos síly v nýtových spojích závisí na způsobu výroby spoje. Nýt zatažený za tepla bude spojované součásti tlačit k sobě osovou silou F_0 , která vzniká při chladnutí nýtu a součásti mají mezi sebou třecí odpor F_t , tvořený součinem osově síly F_0 a koeficientu tření f . Celá přenášená síla F je tedy z jedné součásti na druhou přenášena pouze pomocí tření (Obr. 7a). [3]

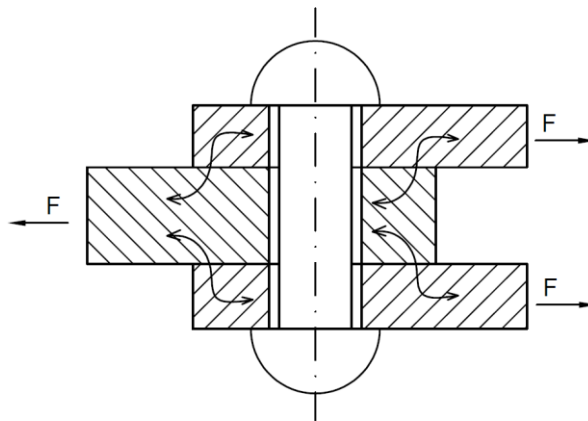
V případě, kdy je nýt zatažen za studena, je osová síla F_0 velmi malá, a tedy i třecí síla F_t mezi součástmi je zpravidla menší, než přenášená síla F . Nýt je tedy v tomto případě namáhán na smyk v místě styku ploch součástí, a na otláčení v místě styku s boky děr. Při posunutí

spojených částí se nýt vlivem těchto dvou namáhání deformuje a tato deformace způsobuje rozložení působícího tlaku nerovnoměrně po celé tloušťce spojované součásti s maximem v místě styku obou součástí. [3]



Obr. 7. Přenos síly u jednostřížného nýtu zataženého a) za tepla, b) za studena. [3]

Přenos síly u dvojtřížných nýtů je lepší než u jednostřížných. Nýt spojuje více součástí, tření ve stykových plochách je výrazně větší a téměř celá přenášená síla F se tedy přenáší pouze třením (Obr. 8). Nýt je zatížen souměrně a má mnohem větší (přibližně dvojnásobnou) únosnost ve smyku oproti nýtu jednostřížnému. [3]



Obr. 8. Přenos síly u dvojtřížného nýtu. [3]

Kromě smyku a tlaku je nýt namáhán množstvím různých sil. V důsledku tváření při zatahování, smrštění za tepla zataženého nýtu a prodloužením dříku nýtu při ohybové deformaci je nýt namáhán například na tah a ohyb. Z důvodu velmi obtížného zjišťování všech napětí působících na nýt se v praxi provádí zjednodušená kontrola nýtů jen na prostý smyk a na otláčení s přiměřeně sníženými hodnotami dovolených napětí. V tomto snížení dovolených

napětí jsou zahrnuta všechna vedlejší téměř zanedbatelná namáhání. Při této kontrole se zanedbává tření mezi spojovanými součástmi a předpokládá se, že nýt zcela vyplňuje díru a není zde žádná vůle, proto se při výpočtu za průměr nýtu dosazuje průměr díry. [3]

Pro běžné konstrukce se standardně volí nýty z oceli 1.0028. U těchto nýtů se volí dovolané napětí τ_D 60 až 80 MPa a dovolený tlak p_D 120 až 150 MPa. Pokud jsou součásti zatíženy střídavými silami (např. páky) snižují se dovolená napětí i tlaky až o 30 %. [3]

Při pevnostním výpočtu nýtových spojů se musí určit potřebný počet nýtů zvoleného průměru, a poté je třeba zkontrolovat spojované součásti, které jsou více namáhané v důsledku oslabení součástí děrami pro nýty. [3]

Výpočet potřebného počtu nýtů i pro přenesení síly F kolmé k ose nýtů:

U jednostřížných nýtů namáhaných na smyk

$$i = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_D} (1; N, \text{mm}, \text{MPa}) \quad (1)$$

U jednostřížných nýtů namáhaných na otláčení

$$i = \frac{F}{s \cdot d \cdot p_D} (1; N, \text{mm}, \text{mm}, \text{MPa}) \quad (2)$$

U dvojitřížných nýtů namáhaných na smyk

$$i = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_D} (1; N, \text{mm}^2, \text{MPa}) \quad (3)$$

U dvojitřížných nýtů namáhaných na otláčení

$$i = \frac{F}{s \cdot d \cdot p_D} (1; N, \text{m}, \text{mm}, \text{MPa}) \quad (4)$$

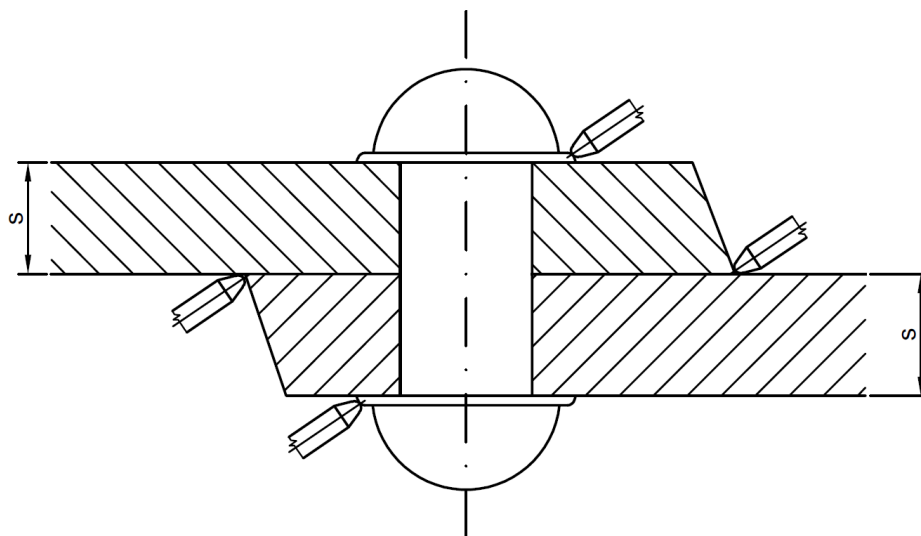
kde s je tloušťka spojovaných součástí, d je průměr díry, τ_D dovolené napětí a p_D dovolený tlak. [3]

V praxi se při dimenzování uvažuje vždy rovnice, ze které vychází větší počet nýtů. U jednostřížných nýtů o jejich počtu rozhoduje převážně namáhání na smyk, u dvojitřížných nýtů naopak namáhání na otláčení. [3]

2.6 Technologičnost

Nýtové konstrukce by měly být navrženy tak, aby je bylo možné vyrobit na co nejmenší náklady, tedy za co nejkratší čas, kvalitně, a čím jednodušeji, tím lépe. Snížení nákladů lze docílit dodržováním těchto zásad. [2]

- Nýtové spojení vytvořit na co nejpřístupnějším místě, aby bylo co nejjednodušší a nejrychlejší se k němu dostat.
- Díry pro nýty zhotovit najednou ve všech spojovaných součástech.
- Preferovat lisování závěrné hlavy tlakem před údery kladivem z důvodu ušetření času a energie.
- Při nýtování materiálů s různou tvrdostí umístit závěrnou hlavu k materiálu s vyšší tvrdostí, čímž se předejde nechtěným deformacím. Ze stejného důvodu umístit závěrnou hlavu k plechu s větší tloušťkou při spojování dvou rozdílně silných plechů.
- Nepoužívat pevnější nýty, než je tvrdost spojovaných materiálů z důvodu zmenšení nebo úplného zamezení vzniku deformací jednotlivých součástí.
- Při spojování odlišných materiálů vložit izolaci mezi jednotlivé spojované dílce z důvodu zamezení vzniku koroze.
- V leteckém průmyslu používat nýty se zapuštěnou hlavou pro zabezpečení aerodynamické čistoty potahu letadel.
- K utěsnění spoje se používají hermeticky těsnící materiály jako thiokolová páska nebo tmel. Také je možné roztemovat (Obr. 9) hlavu nýtu, nebo provést svar po obvodě plechu či součásti. Při opravě těsnosti je možné provést svar i v místě hlavy nýtu. [2]

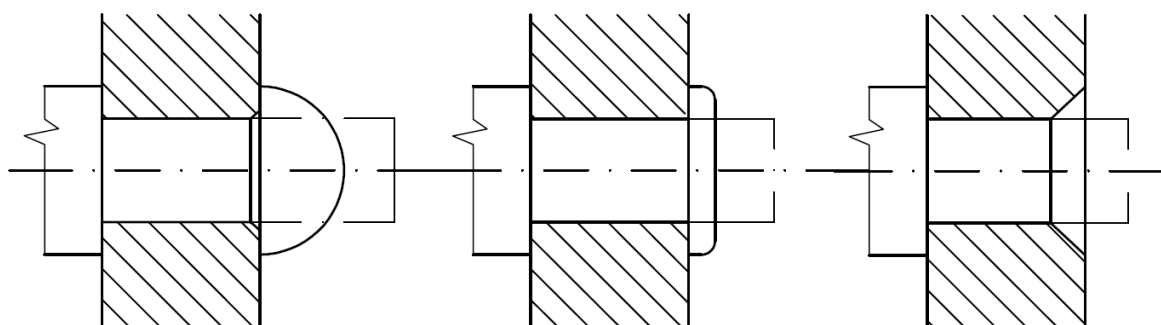


Obr. 9. Temování (tužení) nýtového spoje. [4]

2.7 Roznýtování

Spojení roznýtováním se používá pro méně namáhané spoje přenášející malé zatížení. Spoj vznikne napěchováním a roznýtováním přečnívajícího konce jedné ze součástí, nebo vsazeného čepu vloženého do díry součásti druhé. Závěrná hlava může potom mít libovolný tvar podle nástroje, kterým je tvořena. [4]

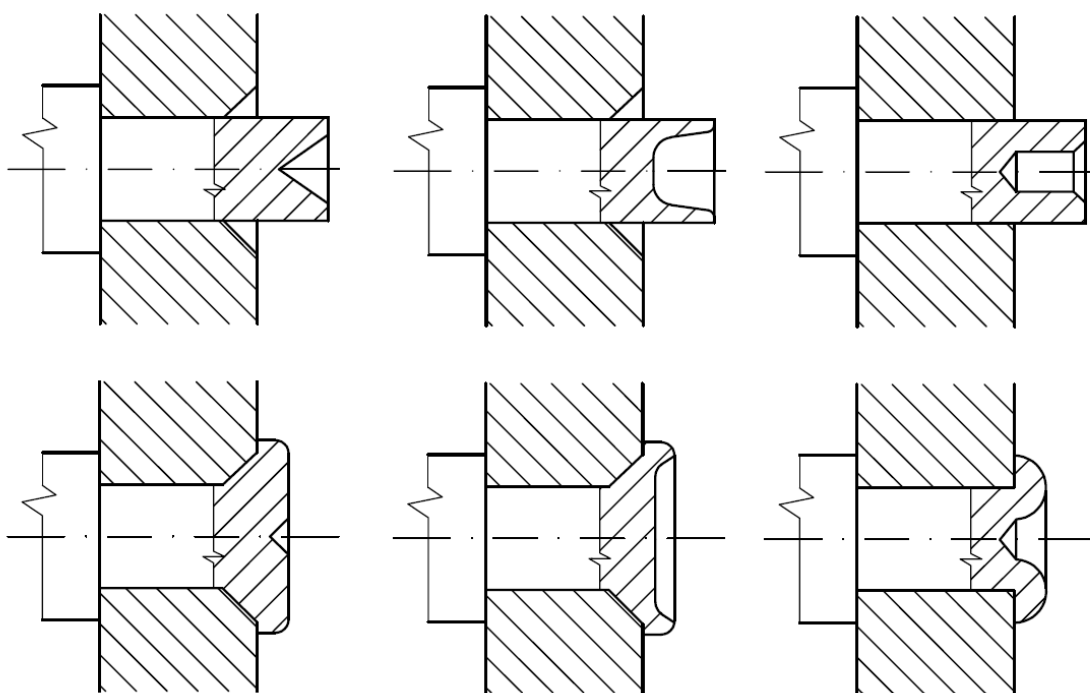
Nejčastěji je roznýtován konec vložené součásti, který je osazen na menší průměr (na konci součásti je vytvořen čep) (Obr. 10). Tímto je zajištěna vzájemná poloha obou součástí. Konec roznýtované části je obvykle válcový, velmi zřídka hranolový. Hranolový čep se tvoří v případě, kdy je potřeba přenášet nýtem nejen osovou sílu, ale i točivý moment. [3]



Obr. 10. Spojení součástí roznýtováním. [4]

Nejjednodušším způsobem vytvoření roznýtovaného spoje je vytvoření závěrné hlavy nýtu roznýtováním vyčnívajícího konce součásti vloženého do díry v součásti druhé. Čep se nejprve napěchuje do díry, ve které měl ze začátku malou vůli, poté se vytvoří závěrná hlava.

Při pēchování čepu do díry však působí na díru velký tlak, proto lze takto spojovat pouze součásti z houževnatých materiálů (ve většině případů kovových). Má-li spoj přenášet malou osovou sílu, nebo je-li připojovaná součást z křehkého materiálu a mohla by se tedy pēchováním porušit, spojí se součásti pouhým rozvālcováním vyčnívajícího konce čepu. Při tomto postupu se vytvoří v čelní ploše čepu kuželové nebo válcové zahloubení, nebo se konec čepu navrtá, čímž se usnadní pozdější rozvālcování okrajů (Obr. 11). Tento způsob spojení se používá i pro spojování tenkých plechů, které by se mohly nýtováním pokrčít. [3]



Obr. 11. Navrtané konce čepů před nýtováním (nahore) a po snýtování (dole). [3]

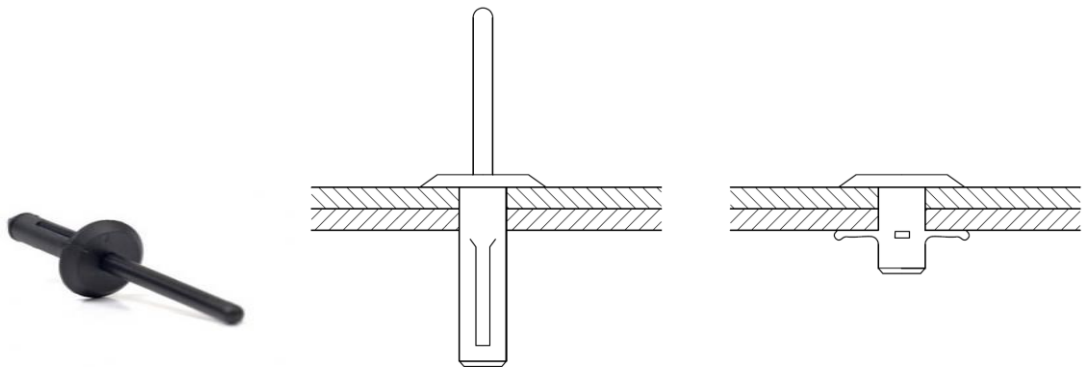
2.8 Nýtování plastů

Nýtování našlo své uplatnění i při spojování plastových součástí. Pro tyto účely se používají nýty trubkové z hliníku nebo mědi, ale i nýty plastové. Nýtování plastovými nýty je rychlý a levný způsob spojování plastových částí. Používají se samostatné nýty vyrobené z termoplastů, nebo je možné i roznýtovat nýty, které jsou přímo součástí jedné ze spojovaných částí konstrukce. Nýtové spoje z plastů nejsou tak pevné jako spoje ocelové a vlivem křípu plastů nejsou nepropustné, ale pro špatně svařitelné plasty jsou dobrým řešením spojení částí. [1]

Materiálem pro výrobu plastových nýtů bývá nejčastěji PA, ABS, nebo POM. Závěrná hlava nýtů s průměrem dířku do 5 mm se vytváří za studena, větší nýty potom pomocí vytápěného

hlavičkáře. Speciálním případem nýtování plastovými nýty je využití tvarové paměti některých materiálů např. PVC. Nýt z PVC se při teplotě 110 °C snaží zvětšit svůj objem a tím vytvoří závěrnou hlavu a kvalitní spoj. [1]

Pro spojení součástí lze také použít speciální plastové nýty s Klik-Lok systémem od firmy Marson. Tyto nýty jsou vyráběny vstřikováním nylonu a používají se ke spojování plastů, kompozitů a ve výjimečných případech i kovů. Tento produkt nabízí vysoce výkonnou alternativu ke standardním kovovým nýtům. Díky své nízké váze jsou využívány v automobilovém a leteckém průmyslu. Speciální konstrukce těchto nýtů umožňuje vytvoření závěrné hlavy pouhým zatažením za plastový výstupek protažený celým tělem nýtu až ke konci dříku. Zatažením se dřík deformuje a po zacvaknutí již zůstane v této poloze. [7, 8]



Obr. 12. Speciální plastový nýt s Klik-Lok systémem. [7, 9]

Při spojování plastů je spojení nýty díky jejich objemu a rychlé montáži levnou a efektivní alternativou ke šroubovým spojům. Nýty jsou také oproti šroubovým spojům odolnější a spolehlivější při zatížení vibracemi. Oproti šroubovým spojům mají však nýty nižší tahovou a únavovou pevnost a kvůli objemovému tváření jsou méně rozměrově přesné. [8]

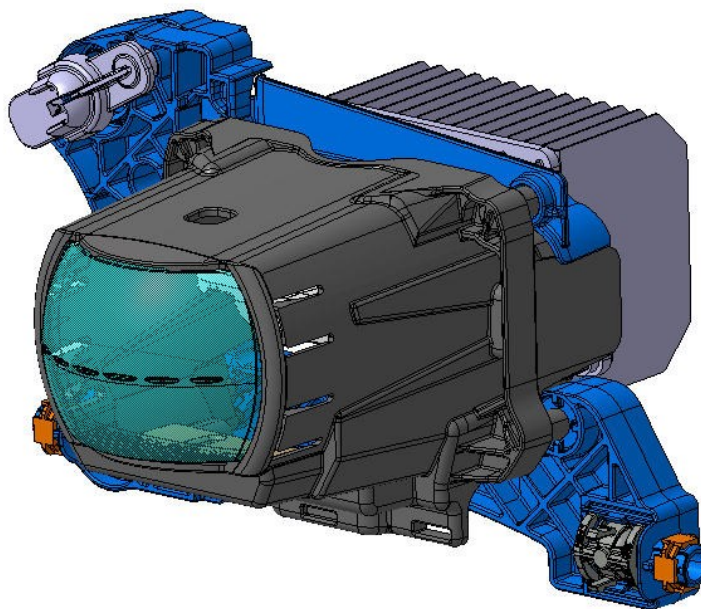
Plasty lze též spojovat nýtováním za využití tření. Tato technika se používá pro spojování polymerů, kompozitů, nebo polymerů s kovy. Při této technice spojování není třeba předvrtávat díry pro nýty. Nýt při nýtování rotuje velkou rychlostí, čímž se vytváří tření mezi nýtem a spojovaným materiálem. Materiály se poté deformují a nýt si třením vytvoří cestu skrz spojované součásti. [10]

3 MLS MODUL A PROCES VÝROBY

3.1 MLS Modul

MLS modul (Obr. 13) plní ve světlometu funkci hlavního svítidla pro potkávací světla i dálková. Je to jedna z hlavních komponent světlometu automobilu VW Golf A7. Podle požadavku zákazníka se vyrábí ve dvou hlavních provedeních – ve verzi AFS, která je schopná naklánění jen vertikálně, a ve verzi Starr, která je schopná i naklánění horizontálního. Podle státu, do kterého je automobil vyvážen se tyto dvě hlavní provedení musejí vyrábět každé ve třech verzích. Ve verzi pro levosměrné svícení (LES), pro pravosměrné svícení (ES) a pro americký trh (verze SAE). Tyto verze se liší především nastavením směru a intenzity světelného paprsku.

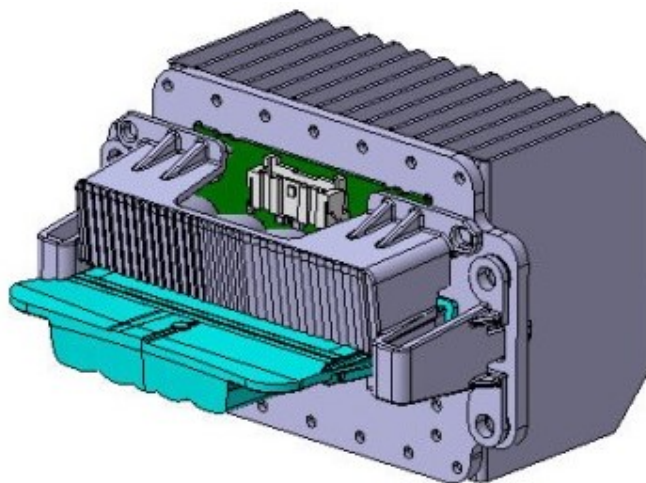
Celý MLS modul se skládá z několika dílů a skupin jako např. čočky, držáku čočky, natáčecích rámečků, modulu s LED diodami a chladičem, a samozřejmě vodičů pro připojení modulu k řídicí jednotce světlometu. Vyrábí se celkem na osmi pracovištích, z nichž každé má svou speciální funkci.



Obr. 13. MLS modul.

3.2 Chladicí modul

Modul chladiče (Obr. 14) má za úkol chladit desku tištěných spojů (PCB). Kvůli vysokým napětím a velkým odporům v tištěném spoji vzniká velké množství tepla, které je potřeba odvádět. PCB je za běžného provozu schopné ohřevu až na teploty převyšující 100 °C, ale provozní teplota LED diod se pohybuje kolem 50 °C (přesné hodnoty se odvíjí od typu LED diody). Zde vzniká problém s chlazením, který se řeší velkými hliníkovými chladiči. Z důvodu lepšího vedení tepla je i deska tištěného spoje vyrobena ze slitiny mědi s tenkou vrstvou izolantu. Kvůli co největší efektivitě odvodu tepla musí mít PCB co největší stykovou plochu se samotným chladičem. Zde je však problém s tepelnou roztažností materiálů. Jakmile se PCB deska příliš zahřeje, prohne se a již nemá tak velkou stykovou plochu. Následkem tohoto jevu klesá účinnost chladiče se zvyšující se teplotou. Proto musí být nýty co nejpevnější, aby udržely PCB co nejdéle narovnané. Kromě teploty jsou zde problémem i vibrace působící na modul při jízdě automobilu.



Obr. 14. Chladicí modul.

Modul chladiče se skládá ze tří částí. Základem je hliníková deska o rozměrech 108x64 mm. K desce je ze spodní strany přinýtováno 14 hliníkových chladících žebek, která jsou tvořena sedmi ohnutými plechy a uprostřed ohnutí přivařena k desce. Z horní strany desky se nachází několik otvorů sloužících k přichycení dalších součástí MLS modulu jako primární optiky low beam (pro denní svícení) a primární optiky high beam (pro dálkové světlo). Jsou zde také čtyři trubkové nýty, jimiž se zajišťuje uchycení desky tištěného spoje na chladiči. Vnější průměr trubky nýtu je 5 mm, vnitřní průměr potom 3,5 mm a výška nýtu je 1,9 mm. Celý chladič je do firmy dodáván externím dodavatelem, který má povinnost měřit a dodržovat rovinnost desky a drsnost Rz16. V místě styku chladiče s PCB jsou však povoleny konvexní

deformace, které přitlačují chladič k PCB. Konkávní deformace povoleny nejsou, mohly by způsobit zhoršené chlazení, a tedy i destrukci LED diod.

Bi-LED PCB má rozměry 63x35 mm a jsou na ní osazeny hlavní elektrické komponenty MLS modulu, tedy především dva druhy LED diod a konektor k připojení desky tištěného spoje k řídicí jednotce. LED diody se zde nachází ve dvou velikostech. Tři větší se nachází pod primární optikou High beam a spolu s ní slouží ke svícení do dálky, zatímco pět menších LED diod spolu s primární optikou low beam plní funkci potkávacího světla. Do PCB jsou vyvrtány čtyři díry pro nýty. Spodní dvě díry mají rozměry 5,3 mm, horní dvě díry mají rozměry 5,15 mm. Rozteč mezi těmito dírami je 47,5 mm, mezi spodními dvěma potom 49 mm. Poloha těchto děr musí být přesně dodržena, stejně jako poloha LED diod. V případě, že tyto parametry dodrženy nejsou, není poloha LED diod vůči primárním optikám ideální, tyto optiky lámou světlo odlišným způsobem, než byl definován a celý modul má poté naprosto odlišné světelné parametry. Toto se u světlometu projevuje např. nedodržením ostré světelné hranice mezi světlem a tmou, rozostřeným svícením, menší intenzitou vycházejícího světla, nebo jiným odstínem barvy světelného paprsku.

3.3 Proces výroby

Výroba chladičového modulu probíhá při sériové výrobě světlometu automobilu VW Golf A7 na montážní lince. Nejdříve musí operátor vizuálně zkontrolovat všechny vstupní díly. Poté založí chladič do spodního přípravku stroje a desku tištěného spoje položí na chladič do přesně definované polohy. Poloha PCB na chladiči je určena čtyřmi dříky nýtů na chladiči a čtyřmi průchozími dírami v desce tištěného spoje. Poté operátor založí primární optiku LB i primární optiku HB do horní části přípravku. Po zahájení chodu stroje stiskem tlačítka Start, dojde k otočení části pracoviště do pracovního prostoru stroje.

V této poloze stroj roznýtuje čtyři piny na chladiči, čímž vytvoří závěrné hlavy nýtů a vznikne nýtový spoj. Každý nýt je nýtován zvlášť a je možno každý nýtovat jinou silou. Standardně nýtování probíhá silou 2,2 kN při tlaku 280 kPa na každém pinu. Při konci nýtování působí dotlak zajišťující dotlačení hlavy nýtu k PCB.

Po této operaci se deska s chladičem pootočí a proběhne laserové vypalování popisu skupiny. Po proběhnutí těchto operací se přípravek opět otočí do výchozí pozice, kde dojde ke kontrole verzí primárních optik, aby nedošlo k záměně např. LES a ES verzí. Následně

operátor ručně zacvakne primární optiky na chladič s přinýtovaným PCB, zkontroluje a odloží skupinu chladiče k následující operaci. Výhodou tohoto nýtovacího stroje je otočný přípravek, který umožňuje nepřetržitou výrobu modulů. Zatímco je jeden modul v procesu nýtování, operátor zakládá optiky na již spojený modul a poté zakládá do přípravku nové komponenty.

Správně snýtovaný modul musí mít průměr hlavy nýtu vždy větší, než je průměr díry na PCB. Pokud je průměr stejný, nebo menší, není zajištěna pevnost tohoto spoje, ani odolnost vůči vibracím a teplotě. Průměry obou spodních nýtů tedy musí být ideálně větší než 5,45 mm, průměry horních nýtů musí mít průměr hlavy minimálně 5,25 mm.

Dalším hlídaným parametrem modulu po snýtování je mezera mezi PCB a chladičem. Mezera zde nesmí být větší než 0,05 mm. Větší mezera již nezaručuje dostatečný kontakt PCB s chladičem, a tedy nezajišťuje potřebný odvod tepla. Nýt nesmí být nijak pokrivený, nebo deformovaný a musí mít přesah přes desku PCB.

4 MOŽNOSTI KONTROLY PROCESU NÝTOVÁNÍ

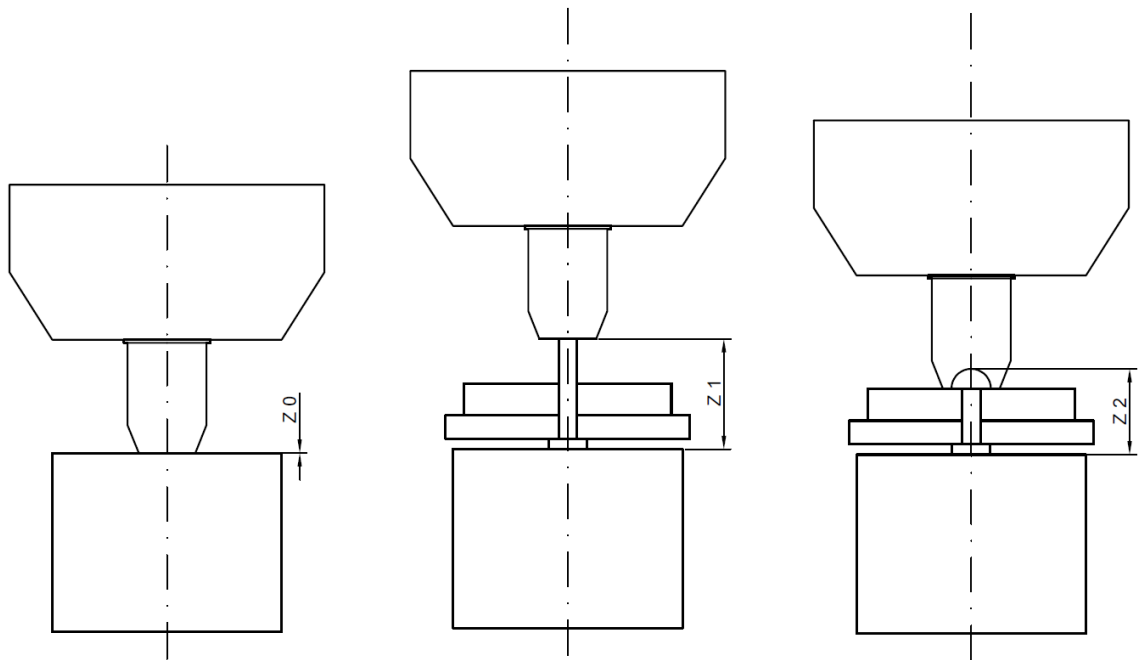
V každém procesu výroby je kladen důraz na kvalitu výrobku. Z tohoto důvodu je nutné provádět vstupní a výstupní kontrolu dílů a výrobků a při sériové výrobě zachovávat stále stejné podmínky výrobního procesu. Proces je možné kontrolovat buď přímo v jeho průběhu, nebo nepřímo kontrolou hotových výrobků.

4.1 Analýza v průběhu procesu nýtování

Kontrola procesu přímo v jeho průběhu je velmi efektivním způsobem udržení kvality výroby. Existuje mnoho způsobů měření nýtových spojů, např. firma Friedrich nabízí několik typů strojů kontrolujících délky nýtů, výšky hlav nýtů, nýtovací sílu a čas nýtování, firma FESTO řeší nýtování převážně pneumatickými motory a kontrolu procesu stavebnicovým systémem čidel, avšak princip kontroly je stejný. Pro měření průběhu procesu nýtování MLS modulu by byl vhodnější systém čidel z důvodu snadné úpravy stávajícího nýtovacího stroje.

4.1.1 Nýtovací stroj s měřením délek

Tímto strojem je v průběhu nýtování měřena délka nýtu před nýtováním (vzdálenost Z1 Obr. 15) a délka nýtu po nýtování (vzdálenost Z2 Obr. 15). Stroj nasměruje nýtovací vřeteno s raznicí na nýt, jakmile na nýt narazí, je měřena jeho délka. Pokud je délka nesnýtovaného nýtu mimo zadanou toleranci, je tento kus vyhodnocen jako vadný. Pokud je délka nýtu v toleranci, spustí se nýtovací proces. Zapne se nýtovací motor s přesně nastaveným nýtovacím tlakem, a raznice sjíždí dolů, dokud nedosáhne vzdálenosti Z2. Pokud je rozměr Z2 v toleranci, a nýtování proběhlo v rámci zadaného času, je celý proces vyhodnocen jako OK. Pokud se konečný rozměr nýtu pohybuje mimo toleranci, nebo proces trvá příliš dlouhou nebo krátkou dobu, je kus vyhodnocen jako vadný. Tímto je provedena vstupní i výstupní kontrola nýtu. [11]



Obr. 15. Princip nýtovacího stroje s měřením délek. [11]

4.1.2 Nýtovací stroj s měřením přesahu

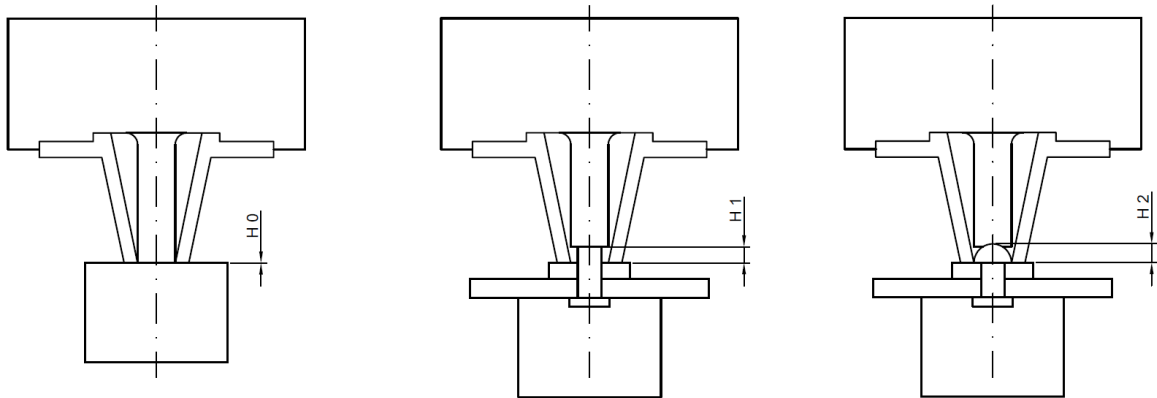
V případě měření přesahu v průběhu procesu nýtování je strojem měřen přesah nýtovaného čepu (H1 Obr. 16) na nesnýtovaném nýtu a výška hlavy (H2 Obr. 16) na hotovém snýtovaném nýtu. Měřidlo je při měření umístěno na odpruženém přidržovači. [11]

Stroj nasměruje nýtovací vřeteno s měřicím tlakem a vyrovnanou nýtovací raznicí na nýt. Při posunu nýtovacího vřetena je měřicí systém přidržovače předpjatý až do chvíle, kdy raznice dosedne na nýt. Měření přesahu nýtu před snýtováním se provádí velmi malým tlakem, aby nedocházelo k deformaci nýtu. Při měření přesahu je zároveň kontrolována přítomnost všech dílů nýtovaného spojení. Pokud nějaký díl soustavy chybí, nebo naopak přebývá, je měřený přesah mimo toleranci a celý proces je pozastaven a vyhodnocen jako chybný. V této chvíli je umožněno obsluze chybějící díl vložit, nebo naopak přebývající odebrat. Pomocí měření přesahu lze tedy zabránit i těmto nechtěným lidským chybám při nýtování. [11]

Pokud hodnota měření přesahu nesnýtovaného nýtu leží v zadané toleranci, zapne se nýtovací pohon s přesně daným nýtovacím tlakem a spustí se proces nýtování na hotový rozměr. Po dosažení požadovaného konečného rozměru, tedy výšky hlavy nýtu (H2) a proběhnutí procesu v pevně daném čase je nýtovací proces vyhodnocen jako OK. Nýtovací vřeteno se poté vrací do počáteční polohy a raznice je vyrovnána. Pokud je změřený hotový rozměr

délky hlavy nýtu mimo zadanou toleranci, nebo když se průběh nýtování pohybuje mimo zadaný časový interval, je proces vyhodnocen jako vadný. [11]

Při měření přesahu je tedy prováděna nejen vstupní a výstupní kontrola nýtu, ale i kontrola přítomnosti všech nýtovaných součástí. [11]



Obr. 16. Princip nýtovacího stroje s měřením přesahu. [11]

4.1.3 Nýtovací stroj s měřením přesahu a délky

Nýtovací stroj s měřením přesahu a délky je vybaven dvěma osami měření. Obsluha stroje zde může nastavit prioritu ose, která je pro zajištění kvality nýtového spoje důležitější. Například může být přiřazena priorita ose měření délky, která měří celkovou délku nesnýtovaného čepu nýtu, nebo naopak ose měřící přesah, tedy velikost hlavy nýtu po snýtování. Zvolené priority je možné přiřadit k různým bodům nýtování zvlášť. [11]

4.1.4 Zajištění kvality spoje měřením v průběhu nýtování

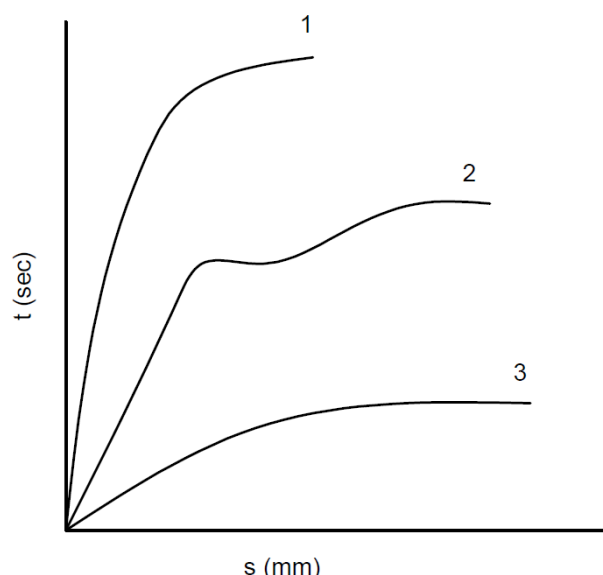
Pro zajištění kvality spoje po procesu nýtování se některé parametry kontrolují již v průběhu samotného nýtování. Běžně se kontroluje délka dráhy, po které raznice nýtuje, nýtovací síla a doba nýtování. Tyto parametry se běžně vynášejí do grafů v jedné z následujících variant:

- 1) Měření průběhu síla – čas
- 2) Měření průběhu dráha – čas
- 3) Měření průběhu síla – dráha

V případě měření dráhy a síly má nýtovací trn přesně nastavenou délku dráhy i sílu s jakou nýtuje. Celý proces nýtování je monitorován a následně vyhodnocován. V ideálním stavu sjede trn dolů o několik milimetrů, než se dotkne nýtu a začne přetvářet. Následně začne

prudce stoupat síla, kterou trn potřebuje, aby mohl pokračovat v dráze. V této fázi se začne nýt objemově přetvářet. Trn pokračuje v tváření pouze do přesně dané vynaložené síly. V tomto bodě nastává zlom, kdy už je nýt vytvořen a neklade tudíž trnu takový odpor. Trn dále pokračuje ve své dráze s přesně danou vzrůstající silou, čímž zajistí kompletní vyplnění díry součástí nýtem, tedy i jeho pevnost a dotvoří závěrnou hlavu. Celý tento proces je monitorován a převáděn do grafu, kde se kontrolují jak přesné vzdálenosti, ve kterých stroj začal přetvářet materiál a kdy přestal, tak i síly, které musel vynaložit. V celém procesu je kontrolováno několik úseků, v nichž se vzdálenosti i síly musejí vejít do předem stanoveného rozmezí. Jestliže je ve kterémkoli úseku vyhodnocena křivka mimo tohle rozmezí, je daný kus označen jako NOK a nepropuštěn do další výroby. [11]

Monitorování průběhu procesu nýtování lze využít i k rozpoznání správného materiálu nýtu. Pokud by byly vysoce namáhané konstrukční díly nýtovány nýty z hliníku místo nýtů z oceli, nýt by nevydržel tak velké namáhání, což by mohlo mít nedozírné následky. Měření síly může být při vysoce dynamických procesech nýtování velmi obtížné, proto se ke kontrole vlastností materiálu využívá měření průběhu dráha – čas. Tyto parametry mohou být měřeny velmi přesně, a tedy i dobře zdokumentovány do grafů. Možné průběhy jsou znázorněny v Obr. 17. Křivka 2 znázorňuje ideální průběh v případě, že materiál je správný, a proces je v pořádku. Křivka 1 znázorňuje příliš tvrdý materiál, křivka 3 naopak příliš měkký. [11]



Obr. 17. Znázornění průběhu nýtování v závislosti na dráze a čase. [11]

4.2 Kontrola měřením hotových výrobků

Kontrola procesu výroby je možná i měřením už hotových výrobků. Operátor běžně provádí vizuální kontrolu každého vyrobeného dílu. Existuje mnoho způsobů, jak hotový výrobek kontrolovat. Lze měřit rozměry nýtů, nebo únosnost na tah, tlak a stříh. Některé zkoušky však mohou být destruktivní, proto se neprovádějí příliš často. [11]

4.2.1 Zkouška tahem

Jednou z možností, jak kontrolovat správnost nýtovacího procesu je kontrolovat výdrž při namáhání materiálu. Tohoto lze docílit např. tahovou zkouškou. Zkouška tahem je jedna ze základních statických mechanických zkoušek, a také zkouška nejrozšířenější. [12]

Pomocí zkoušky tahem jsou obvykle zjišťovány základní materiálové charakteristiky jako např. modul pevnosti. Zkouška tahem se u kovových materiálů řídí normou ČSN EN 10 002. [13]

Při zkoušce tahem se upne chladič do jedné kleští trhacího zařízení a PCB do druhé. Stroj pak pomalým tahem spoj namáhá až do bodu, kdy spoj praskne. Takto se dá kontrolovat jaké zatížení spoj unese. Zkouška je však destruktivní, proto by se dala provádět např. jednou za směnu, při přenastavení nýtovacího stroje atp. Zkouška může skončit několika výsledky:

- Spoj je snýtovaný dobře, a tak vydrží dané zatížení a při překročení se zlomí PCB nebo nýt
- Spoj je snýtovaný špatně, nevydrží tedy dané zatížení a zlomí se PCB, nebo dojde k poškození samotného nýtu ještě před překročením dané síly

Na základě této zkoušky lze vyhodnotit správnost procesu, avšak dojde ke znehodnocení všech testovaných vzorků. [11]

4.2.2 Opticko-mechanická analýza

Další možnou zkouškou je analýza spoje pod mikroskopem. Stejně jako zkouška tahem je i tato zkouška destruktivní. Vzorek se musí nejprve na kvalitní pile, nebo vodním paprskem rozřezat v místě nýtu a následně vyhodnotit pod mikroskopem. Opticky se poté zhodnotí přesah nýtu přes díru v PCB, sklon vnitřní stěny nýtu, tvar hlavy a vyplnění díry v PCB materiálem nýtu. V určitých případech je pod mikroskopem na první pohled vidět, že špatně snýtovaný spoj nemůže vydržet dané namáhání. Zkouška je však destruktivní, proto by se dala provádět jen omezeně, např. po seřízení stroje, nebo výměně nástrojů. [11]

4.2.3 Ruční kontrola měření rozměrů nýtů

Jednou z nejméně přesných metod měření je měření rozměrů hotových nýtů. To lze provést ručně posuvným měřidlem, v dražším případě strojově nasnímáním obrazu nýtu a měřením jeho průměru. Správně snýtovaný modul musí mít průměr hlavy nýtu vždy větší, než je průměr díry na PCB. V ideálním případě je průměr hlavy nýtu na spodní části chladiče 5,45 mm. Oba nýty na horní části chladiče musí mít průměr minimálně 5,25 mm. Pokud by byl průměr menší než tyto hodnoty, nebyla by zajištěna pevnost spoje a bylo by zde velké riziko vyjetí nýtu z díry PCB, které by nebylo dostatečně tlačeno k chladiči, a tedy by v důsledku vzniknutí mezery mezi chladičem a PCB nebylo zajištěno správné chlazení. [11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce byla analýza nýtového spoje chladiče MLS modulu. Jedná se o porovnání únosnosti spoje v tahu při různých nýtovacích tlacích a vyhodnocení nejvhodnějšího nýtovacího tlaku. Měření únosnosti v tahu bylo provedeno na trhacím stroji Zwick Roell Z010, vizuální kontrola nýtového spoje byla provedena pod mikroskopem Zeiss SmartZoom 5. Vzorky pro vizuální kontrolu byly nařezány pásovou pilou.

Zásady pro vypracování bakalářské práce byly následující:

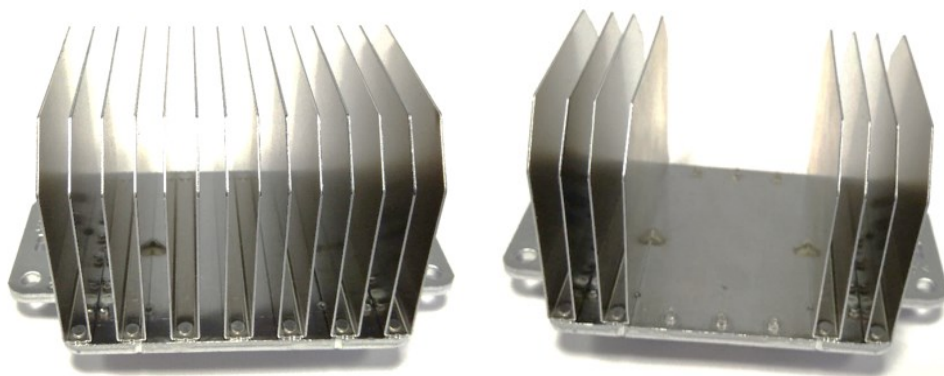
- 1) Vypracování literární studie na dané téma.
- 2) Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část.
- 3) Provedení experimentu.
- 4) Vyhodnocení naměřených výsledků.

6 VÝROBA A PŘÍPRAVA VZORKŮ

Při sériové výrobě chladičího modulu je deska tištěných spojů pevně přinýtována k chladiči. Mezi deskou a chladičem je velmi malá mezera (maximálně 0,5 mm). Z tohoto důvodu bylo nejdříve nutné vyřešit upnutí modulu do kleští trhacího stroje, což vyžadovalo speciální úpravu vzorků ještě před procesem nýtování.

6.1 Odstranění žebér chladiče

Chladič je opatřen 14 ti žebry zajišťujícími chlazení modulu. Pro odtržení PCB od chladiče bylo nutné vyvrtat díru pod deskou PCB, čemuž překážela chladičí žebra. Šest prostředních žebér tedy muselo být odstraněno navrtáním nýtů držících žebra. Krajní žebra chladiče musela být ponechána kvůli upnutí do nýtovacího stroje, který drží chladič právě za tyto žebra.



Obr. 18. Chladič před odstraněním (vlevo) a po (vpravo) odstranění žebér.

6.2 Vyvrtání otvoru

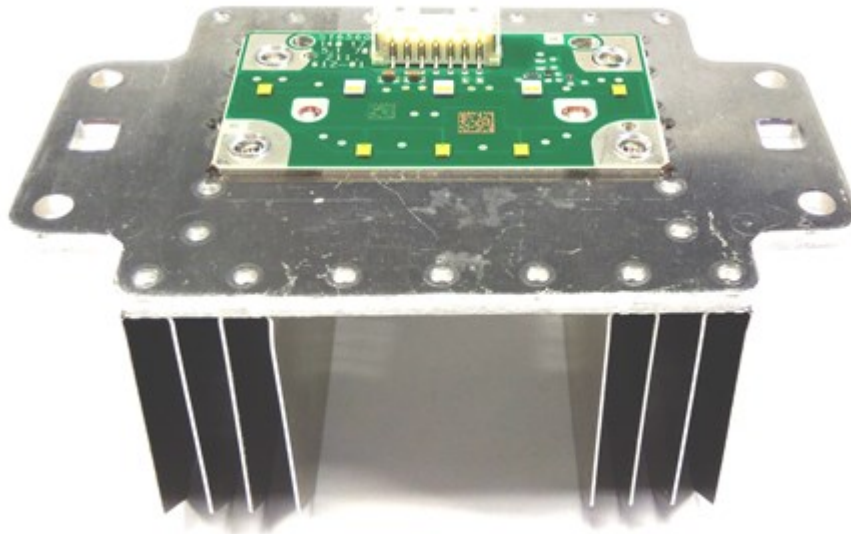
Z důvodu provádění trhací zkoušky tlakem válce na PCB ze spodní strany chladiče bylo nutné v chladiči provrtat díru. V ideálním případě by se pod deskou tištěného spoje vyfrézovala díra co největší, kopírující obvody nýtů a protikusem stejného tvaru by se prováděla i trhací zkouška. Tento postup by však byl finančně, konstrukčně i časově náročnější, a proto byl zvolen postup s provrtáním kruhové díry a provedením trhací zkoušky tlakem válce. Díra o průměru 20 mm byla vyvrtána vrtačkou. Kvůli zajištění rovnoměrného rozložení trhací síly na všechny čtyři nýty musela být díra vyvrtána přesně ve středu mezi čepy přichystanými pro nýtování. Takto bylo připraveno všech 45 vzorků následně použitých pro výrobu zkušebních chladičích modulů.

6.3 Nýtování

Nýtování desky plošných spojů na chladič bylo provedeno na nýtovacím stroji ve výrobní lince. Vzorky 1-15 byly nýtovány za standardního nastavení stroje pro sériovou výrobu, vzorky 16-30 byly nýtovány nižším tlakem a menší silou na jeden nýt, vzorky 31-45 se silou a tlakem vyšším oproti standardnímu nastavení. Při zadání potřebné nýtovací síly si program sám přepočítá potřebný tlak stroje.

Tab. 1. Nýtovací síla a tlak stroje u jednotlivých skupin vzorků

Číslo vzorku	Nýtovací síla [kN]	Tlak stroje [kPa]
1–15	2,2	280
16–30	1,9	242
31–45	2,4	306



Obr. 19. Chladič s nanýtovanou deskou plošných spojů.

Po výrobě všech 45 ti vzorků byla odstraněna všechna zbývající žebra z důvodu snadnějšího upnutí do přípravku při trhací zkoušce. Žebra byla odstraněna odvrácením nýtů, kterými byla přinýtována k desce chladiče.

7 TAHOVÁ ZKOUŠKA

Předmětem tahové zkoušky bylo zjištění síly potřebné k odtržení desky tištěných spojů od chladiče, tedy odtržení alespoň jednoho ze čtyř nýtů. To bylo provedeno na trhacím stroji Zwick Roell Z010. Kvůli konstrukci chladiče byla tato zkouška oproti standardním trhacím zkouškám odlišná přisouváním čelistí k sobě namísto od sebe.

7.1 Trhací stroj

Zkušební vzorky byly trhány na trhacím stroji Zwick Roell Z010.



Obr. 20. Trhací stroj Zwick Roell Z010.

Parametry stroje:

Typ: RetroLine tC II for Z010

Maximální testovací síla: 10 kN

Výška testovacího prostoru: 1458 mm

Šířka testovacího prostoru: 640 mm

Rychlost pohybu čelisti: 0,001 – 1800 mm/min

Nastavení stroje:

Vzdálenost přípravků ve výchozí pozici: 231,95 mm

Rychlost nastavení výchozí pozice: 200 mm/min

Předzatižení: 1 N

Rychlost předzatižování: 10 mm/min

Rychlost zatížení: 40 mm/min

Ukončení zkoušky: Při 80 % F_{\max}

Měřicí hlava: od 200 N do 10 kN [14]

Teplota v laboratoři: 21,6 °C

Tlak v laboratoři: 1007 mb

Vlhkost v laboratoři: 40 %

7.2 Upnutí vzorků

Chladič s nanýtovanou deskou plošných spojů byl zafixován v přípravku, který byl upevněn ke spodní části trhacího stroje pomocí upínacích svěráků. Kvůli konstrukci chladiče byl vzorek upevněn deskou tištěných spojů dolů a provrtanou dírou nahoru.



Obr. 21. Detail upnutí vzorku v přípravku.

7.3 Průběh testu

Po upnutí vzorku do přípravku byl spuštěn test. Na desku plošného spoje bylo tlačeno válcem upnutým do čelisti trhacího stroje. Byl roztržen jeden testovací vzorek ke zjištění odhadu síly potřebné pro odtržení nýtu a možnosti využití citlivější měřící hlavy do 200 N. Zkušební vzorek se však přetrhl až při překročení síly 700 N, proto musela být použita hlava méně citlivá, schopná měření až do 10 KN. Poloha čelisti a vyvíjená síla byly zaznamenávány do programu testXpert II a následně vyhodnoceny.

8 OPTICKO – MECHANICKÁ ANALÝZA

Předmětem opticko-mechanické analýzy bylo zkontrolování všech čtyř nýtů na chladiči pod mikroskopem a posouzení jejich stavu po procesu nýtování. Pro tuto analýzu byly vybrány vzorky, které prošly standardním procesem výroby, byly vizuálně zkontrolovány a posouzeny jako vhodné k propuštění do další výroby.

8.1 Příprava vzorků

Pro analýzu nýtů pod mikroskopem bylo standardním způsobem nanýtováno 15 vzorků – prvních 5 bylo nýtováno silou 1,9 kN, druhá série byla nýtována silou 2,2 kN, třetí série po 5 ti kusech byla nýtována silou 2,4 kN. Před nýtováním nebyly vzorky nijak upraveny, byly použity standardní chladiče i desky plošných spojů. Všechny vzorky byly nýtovacím strojem vyhodnoceny jako OK kusy, následně byly vizuálně zkontrolovány a posouzeny operátorem jako v pořádku, tedy vhodné pro další výrobu.

Po zkontrolování standardním způsobem byla ze všech vzorků odstraněna chladičí žebra, která již pro další analýzu nebyla potřebná. Následně byly vzorky nařezány na pásové pile. Řezy byly vedeny přes středy nýtů, aby je bylo možné později zkoumat mikroskopem.



Obr. 22. Ořezaný vzorek zkoumaný mikroskopem.

8.2 Mikroskop

Zkušební vzorky byly zkoumány digitálním mikroskopem Zeiss Smartzoom 5.



Obr. 23. Mikroskop Zeiss Smartzoom 5. [15]

Parametry mikroskopu:

Maximální rozlišení: 1 μm

Maximální zvětšení: 1011 x

Zorné pole při minimálním zvětšení: 40 mm

Pracovní prostor (x/y/z): 130/100/60 mm

Použité zvětšení: 38x

Pro lepší vyhodnocení vzorků a zaostření všech částí byla použita funkce Extended depth of field (EDF) s krokem 82 μm . Tato funkce mikroskopu vyfotí několik fotografií vzorku v různé vzdálenosti a následně je softwarově poskládá dohromady, čímž zajišťuje zaostření nejen povrchu vzorku, ale i prohlubní a vzdálenějších oblastí. [16]

9 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

9.1 Výsledky trhací zkoušky

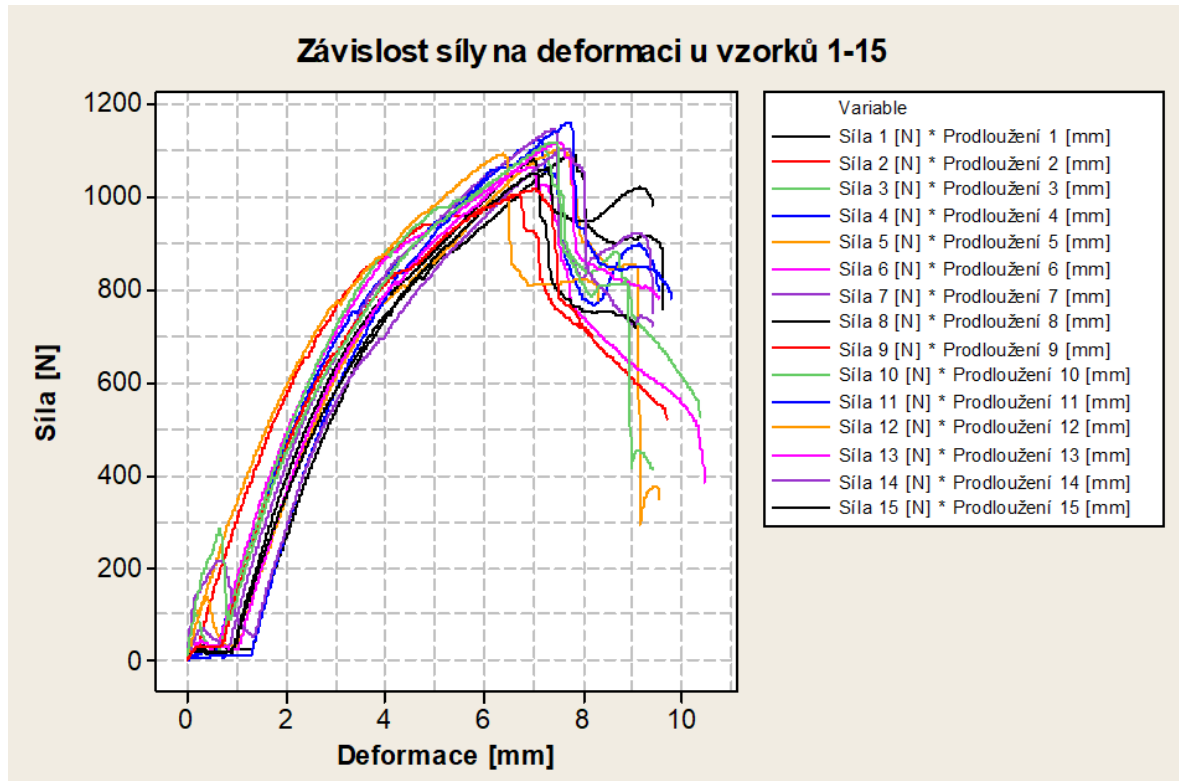
Měření proběhlo na trhacím stroji Zwick Roell Z010, průběh měření byl zapisován do programu testXpert II a výsledky následně vyhodnoceny v programu testXpert II a Minitab 2014. Byl snímán pohyb trhací čelisti a síla působící na vzorek.

9.1.1 Vzorky 1-15 – Nýtovací síla 2,2 kN

Při měření pevnosti nýtů u vzorků 1-15 byla zjištěna průměrná síla potřebná k odtržení alespoň jednoho nýtu $F_{max} = (1091 \pm 10)$ N a prohnutí desky tištěných spojů v okamžiku přetržení nýtu $(7,2 \pm 0,1)$ mm. Maximální naměřená síla, kterou jeden ze vzorků vydržel (vzorek č. 4) byla 1158,15 N, minimální sílu vydržel vzorek č. 2, přesně 1004,72 N. Maximální prohnutí desky tištěných spojů bylo 7,81 mm (vzorek č. 1), minimální pak 6,4 mm (vzorek č. 5).

Tab. 2. Maximální síla a deformace vzorků 1-15

Vzorek č.	F_{max} [N]	Deformace při F_{max} [mm]
1	1092,91	7,81
2	1004,72	6,69
3	1101,65	7,23
4	1158,15	7,75
5	1093,05	6,40
6	1116,57	7,53
7	1105,30	7,69
8	1050,09	7,03
9	1016,15	7,03
10	1119,05	7,44
11	1122,55	7,13
12	1102,45	7,59
13	1063,13	6,95
14	1144,88	7,43
15	1080,38	7,01
$\bar{x} \pm \sigma$	1091±10	7,2±0,1
Maximum	1158,15	7,81
Minimum	1004,72	6,40



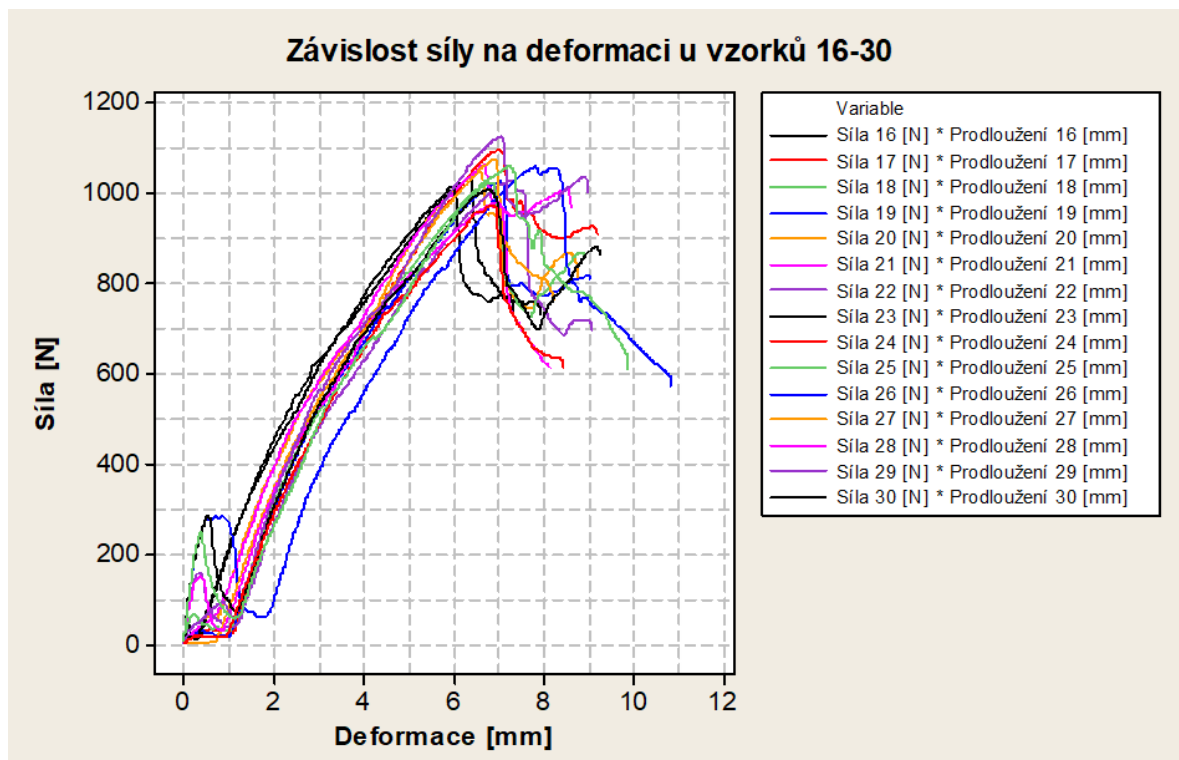
Obr. 24. Průběh síly v závislosti na deformaci vzorků 1-15.

9.1.2 Vzorky 16-30 – Nýtovací síla 1,9 kN

Při měření pevnosti nýtů u vzorků 16-30 byla zjištěna průměrná síla potřebná k odtržení alespoň jednoho nýtu $F_{max} = 1039$ N se střední kvadratickou chybou $\sigma = 11$ N a prohnutí desky tištěných spojů v okamžiku přetržení nýtu $6,8 \pm 0,1$ mm. Maximální naměřená síla, kterou jeden ze vzorků vydržel (vzorek č. 22) byla 1124,64 N, minimální sílu vydržel vzorek č. 24, přesně 972,55 N. Maximální prohnutí desky tištěných spojů bylo 7,83 mm (vzorek č. 19), minimální pak 5,99 mm (vzorek č. 30).

Tab. 3. Maximální síla a deformace vzorků 16-30.

Vzorek č.	Fmax [N]	Deformace při Fmax [mm]
16	1037,56	6,35
17	1093,75	7,00
18	1022,67	6,83
19	1056,74	7,83
20	1073,10	6,90
21	979,22	6,98
22	1124,64	7,05
23	1007,91	6,80
24	972,55	6,86
25	1056,74	7,25
26	1024,81	7,03
27	1045,94	6,60
28	1061,84	6,70
29	1027,11	7,30
30	1013,76	5,99
$\bar{x} \pm \sigma$	1039±11	6,8±0,1
Maximum	1124,64	7,83
Minimum	972,55	5,99



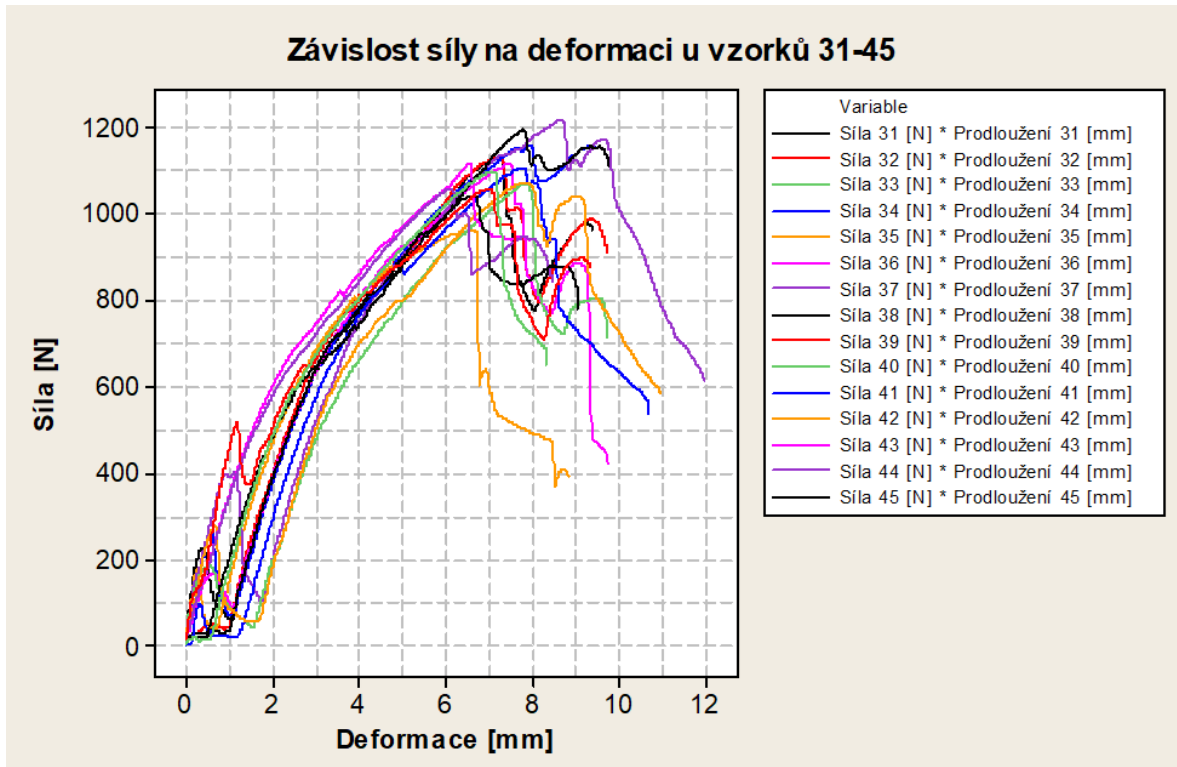
Obr. 25. Průběh síly v závislosti na deformaci vzorků 16-30.

9.1.3 Vzorky 31-45 – Nýtovací síla 2,4 kN

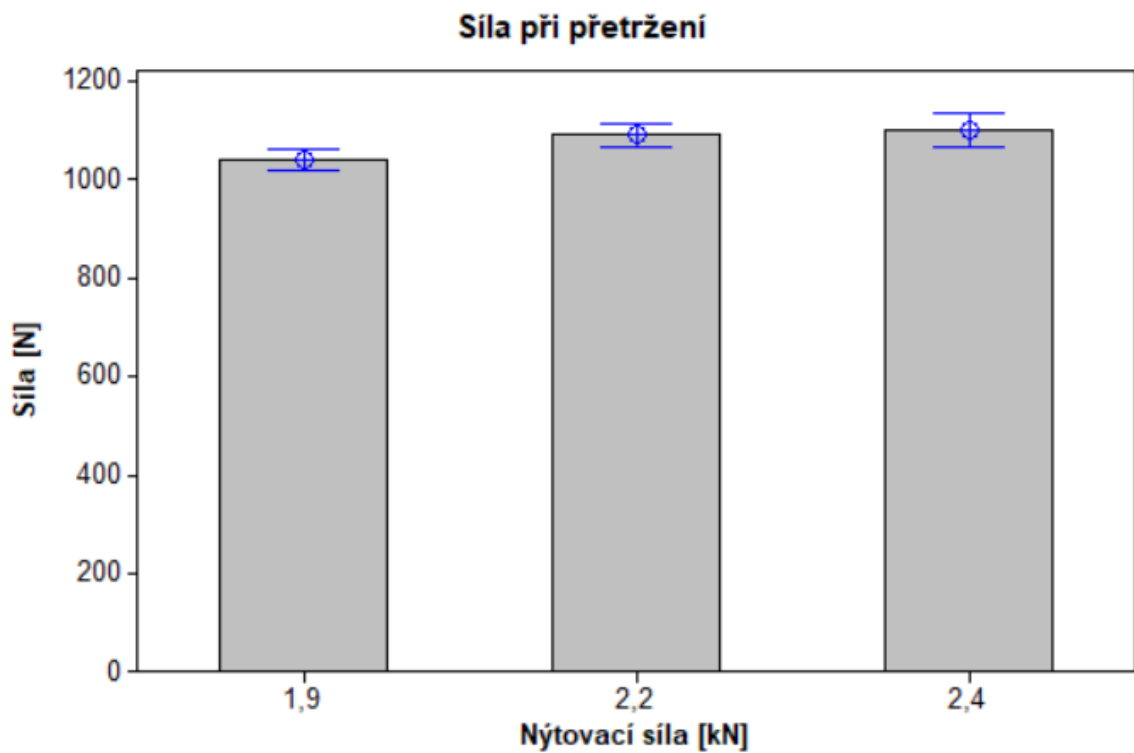
Při měření pevnosti nýtů u vzorků 31-45 byla zjištěna průměrná síla potřebná k odtržení alespoň jednoho nýtu $F_{\max} = (1101 \pm 16)$ N a prohnutí desky tištěných spojů v okamžiku pře-tržení nýtu $7,4 \pm 0,2$ mm. Maximální naměřená síla, kterou jeden ze vzorků vydržel (vzorek č. 44) byla 1214,46 N, minimální sílu vydržel vzorek č. 42, přesně 960,96 N. Maximální prohnutí desky tištěných spojů bylo 9,41 mm (vzorek č. 41), minimální pak 6,12 mm (vzorek č. 37).

Tab. 4. Maximální síla a deformace vzorků 31-45.

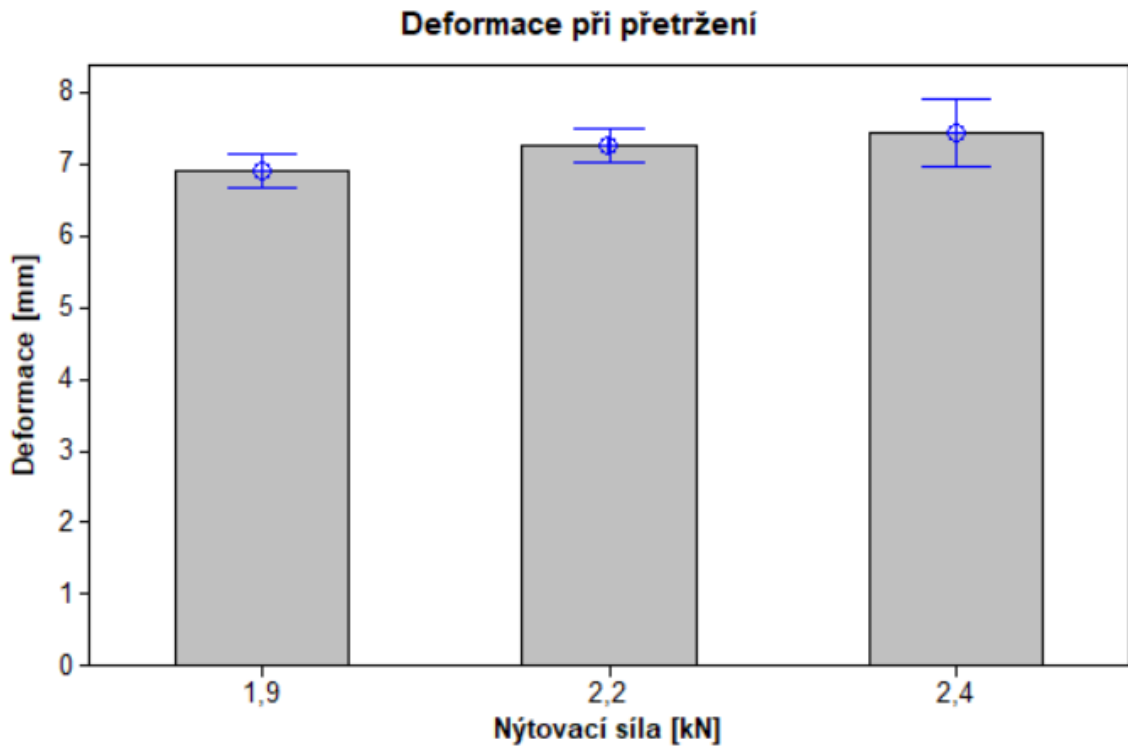
Vzorek č.	Fmax [N]	Deformace při Fmax [mm]
31	1128,70	7,18
32	1132,86	7,25
33	1069,86	7,87
34	1105,84	7,78
35	1073,74	7,86
36	1115,75	6,56
37	1058,49	6,12
38	1039,46	6,69
39	1058,20	7,01
40	1098,17	7,09
41	1159,47	9,41
42	960,96	6,61
43	1114,96	7,48
44	1214,46	8,66
45	1194,58	7,79
$\bar{x} \pm \sigma$	1101±16	7,4±0,2
Maximum	1214,46	9,41
Minimum	960,96	6,12



Obr. 26. Průběh síly v závislosti na deformaci vzorků 31-45.

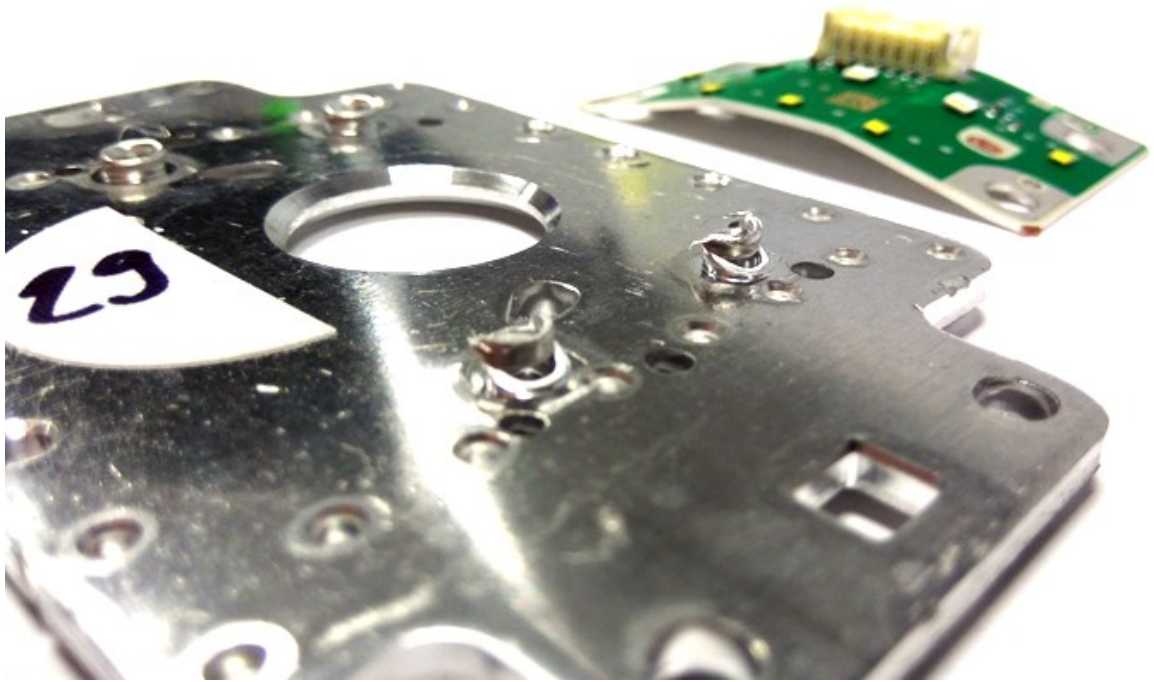


Obr. 27. Průměrná síla potřebná pro přetržení nýtů u jednotlivých skupin vzorků.

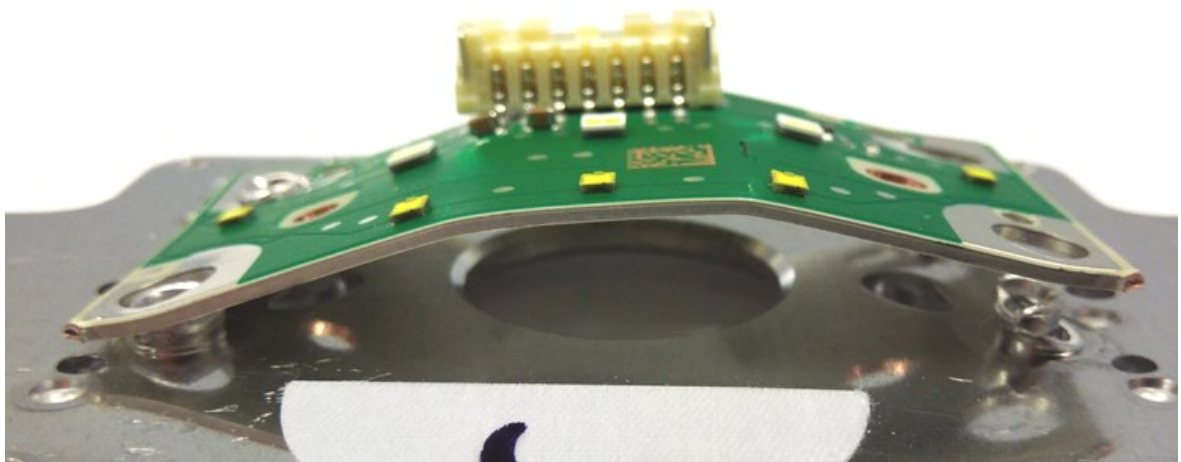


Obr. 28. Průměrná deformace při přetržení nýtů u jednotlivých skupin vzorků.

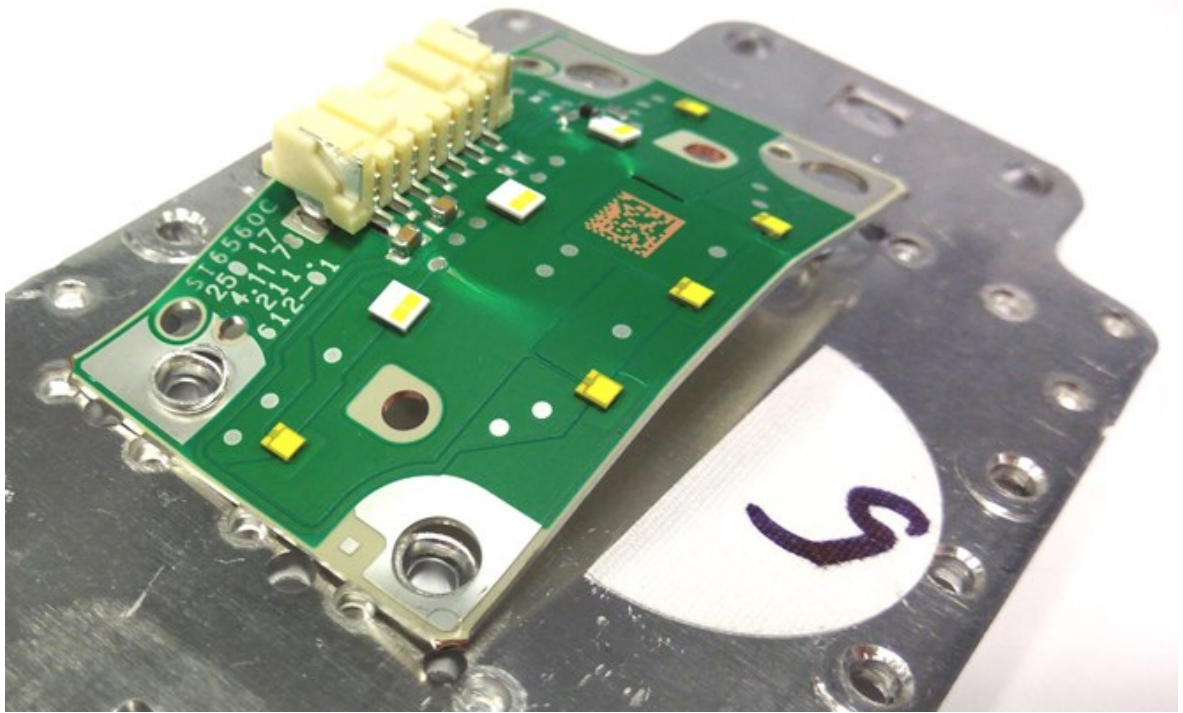
U některých vzorků došlo k odtržení pouze některých nýtů (vzorek 5, obr. 30, 31, 32), u zbytku pak byly odtrženy všechny (vzorek 29, obr. 29). Tento jev může být způsoben působením síly mimo střed PCB, a tedy nerovnoměrným rozložením síly mezi čtyři nýty, nebo odlišnou pevností jednotlivých nýtů. Odlišná pevnost by mohla být způsobena posunutím PCB před nebo při nýtování k jedné straně, což by opět způsobilo zkreslení trhacího testu posunutím osy působící síly.



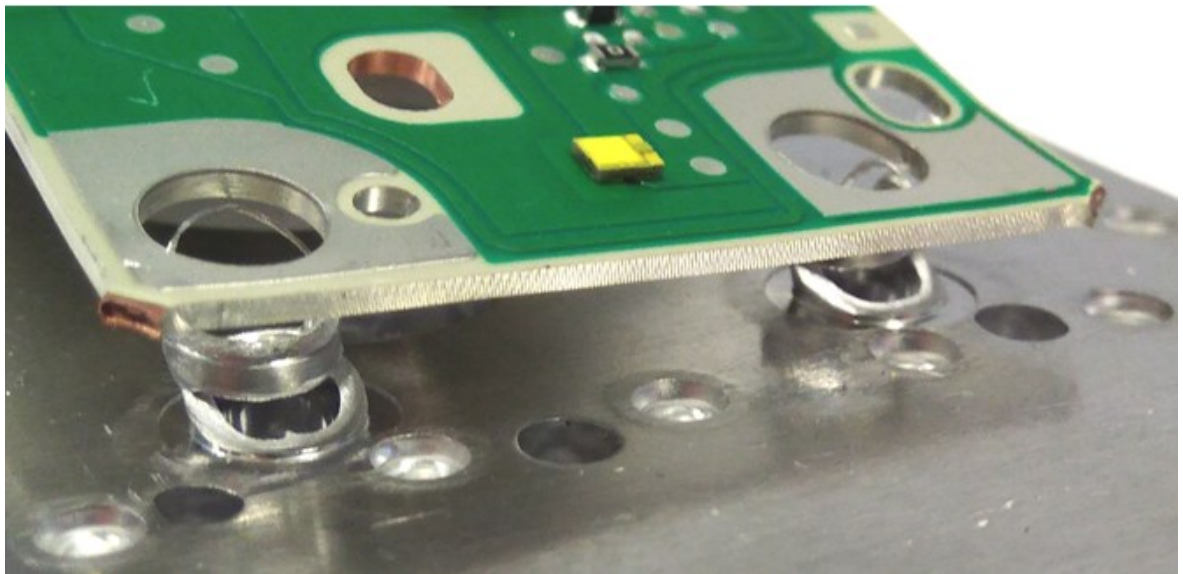
Obr. 29. Vzorek s vytrženými všemi nýty.



Obr. 30. Vzorek č. 5 s vytrženými třemi nýty.



Obr. 31. Vzorek č. 5 – Pohled na držící nýt.

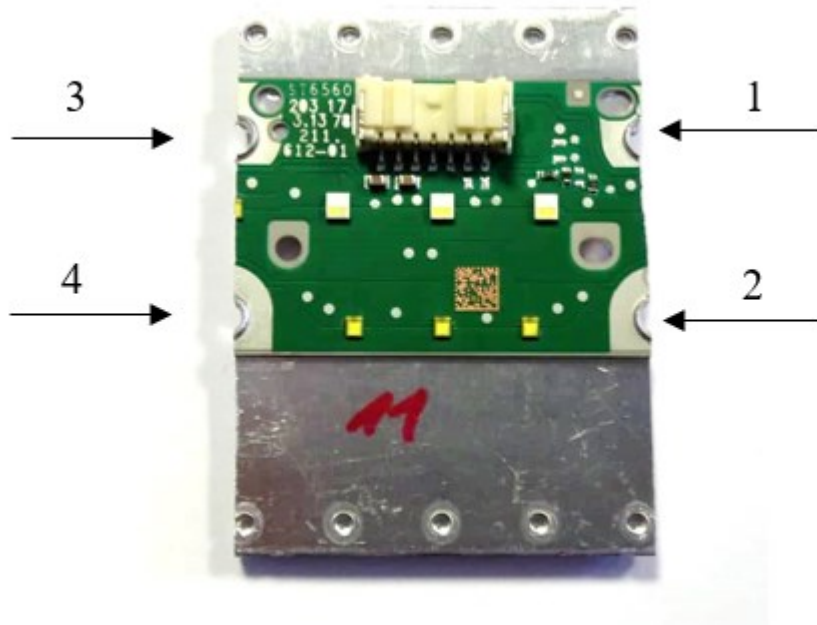


Obr. 32. Vzorek č. 5 – Detail vytržených nýtů.

Při bližším prozkoumání roztrhaných vzorků bylo zjištěno, že nýt nebyl namáhán pouze čistým tahem, ale i smykem. Nýty byly ustříženy otvory prohnuté desky tištěných spojů. Takto přetržené nýty lze vidět na obrázcích č. 29 a 32.

9.2 Výsledky opticko-mechanické analýzy

Předmětem opticko-mechanické analýzy bylo vyhodnocení předem připravených vzorků pod mikroskopem. Na každém chladiči byly provedeny dva řezy přes středy nýtů a jednotlivé nýty byly očíslovány. Řezy a způsob číslování nýtů je zobrazen na Obr. 33.



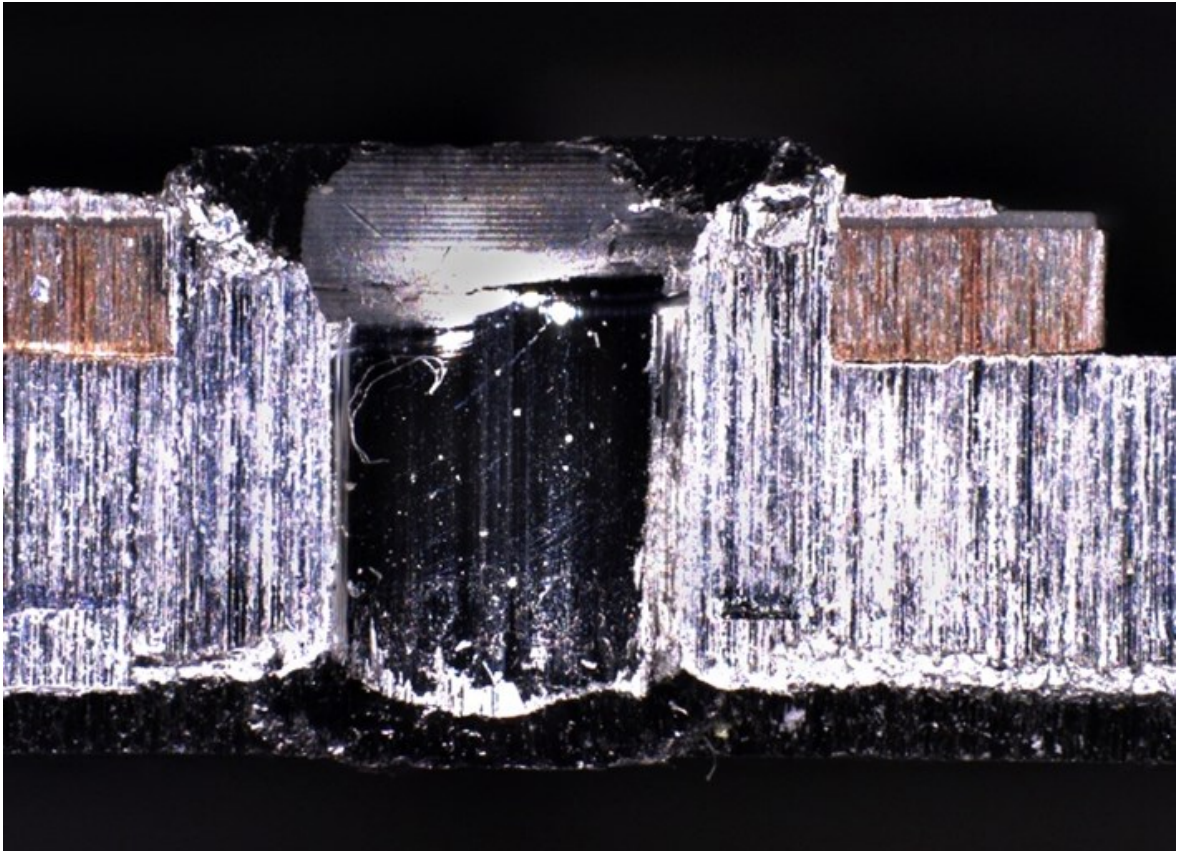
Obr. 33. Číslování nýtů na vzorku chladiče.

Každý nýt byl následně prozkoumán pod digitálním mikroskopem. Byl zkoumán přesah hlavy nýtu přes díru v desce plošných spojů – jeho velikost a tvar. Pokud je přesah velmi malý, hrozí vytržení desky plošných spojů a destrukce chladiče. Vyhodnocení přesahů hlav nýtů je zapsáno v Tab. 5.

Tab. 5. Vyhodnocení přesahu hlavy nýtu přes PCB pro jednotlivé nýty.

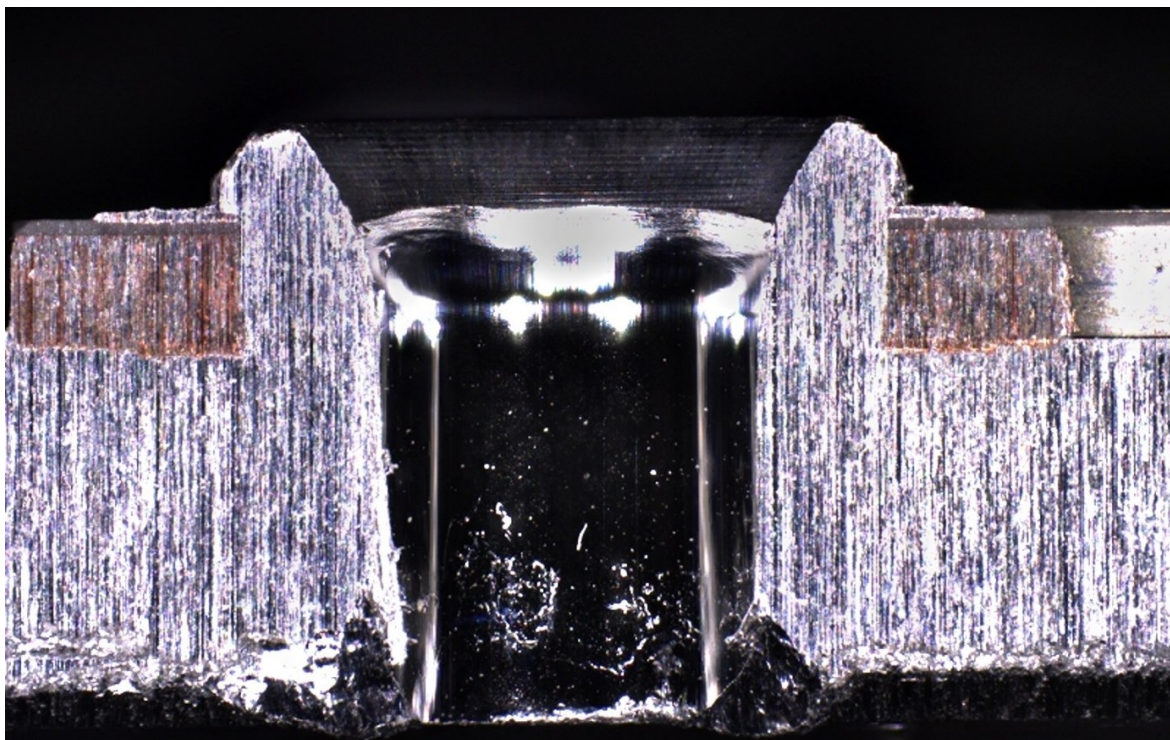
Číslo vzorku	Nýtovací síla [kN]	Nýt 1	Nýt 2	Nýt 3	Nýt 4
1	2,4	Vlevo bez přesahu	OK	Vpravo bez přesahu	Vlevo bez přesahu
2	2,4	Vpravo bez přesahu	OK	OK	OK
3	2,4	OK	OK	Vpravo bez přesahu	Vlevo bez přesahu
4	2,4	Vpravo malý přesah	Vpravo malý přesah	OK	OK
5	2,4	OK	Vpravo malý přesah	OK	OK
6	1,9	Malé přesahy	Malé přesahy	Malé přesahy	Malé přesahy
7	1,9	Malé přesahy	Vlevo bez přesahu	OK	OK
8	1,9	Malé přesahy	Malé přesahy	Malé přesahy	Malé přesahy
9	1,9	Malé přesahy	Malé přesahy	Malé přesahy	Malé přesahy
10	1,9	Malé přesahy	Malé přesahy	Malé přesahy	Bez přesahu
11	2,2	OK	Vpravo malý přesah	OK	Malé přesahy
12	2,2	OK	OK	OK	OK
13	2,2	OK	Malé přesahy	OK	Malé přesahy
14	2,2	OK	OK	OK	Vlevo bez přesahu
15	2,2	Vlevo bez přesahu	Ok	Ok	Ok

Z Tab. 5. je patrné, že vzorky nýtované nejmenší silou, tedy 1,9 kN měly velmi malé, nebo vůbec žádné přesahy, což můžeme vidět na Obr. 34. Zde byl materiál zatlačen trnem spíše dovnitř nýtu místo aby byl tlačěn ven a vytvořil závěrnou hlavu. Tato síla tedy není k nýtování příliš vhodná – hrozí zde vytržení desky plošných spojů.



Obr. 34. Nýt 4 na vzorku č. 10 – nýt bez přesahu přes PCB.

Ve vzorcích nýtovaných silou 2,2 kN a 2,4 kN nebyl viditelný příliš velký rozdíl. Z hlediska funkčnosti nýtu tedy nelze tvrdit, že by jedna síla byla k nýtování vhodnější než druhá, z hlediska ekonomiky výroby je však lepší používat sílu menší, která je nyní používána v sériové výrobě.



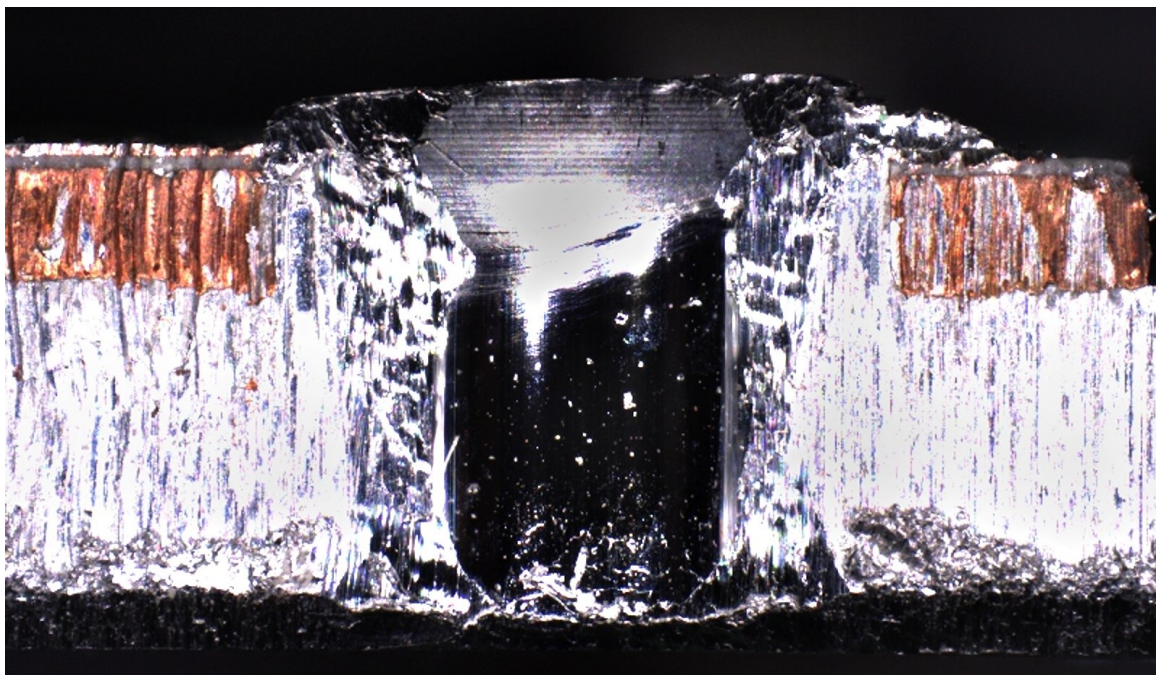
Obr. 35. Nýt 2 na vzorku č. 12 – nýt se správným přesahem hlavy přes PCB.

Kromě přesahu hlavy nýtu byla zkoumána i stopa po nýtovacím trnu, tedy tvar hrany vytvořené nástrojem. V ideálním případě měla hrana tvar přímky, z čehož lze poznat, že nýtovací trn nýtoval přesně ve středu nýtu, tedy i hlava nýtu má rovnoměrný přesah po celém obvodu. Pokud byla hrana deformovaná, znamená to, že nýtovací trn nýtoval mimo osu nýtu, nýt tedy není zanýtován ideálně s rovnoměrným přesahem kolem celého obvodu, ale v lepším případě je na jedné straně nýtu více materiálu a na druhé méně, v horším případě je zdeformovaný vnitřní průměr nýtu, materiál je natlačen dovnitř a přesah takto vytvořené hlavy je buď velmi malý, nebo žádný. Byla zkoumána také výška této hrany – pokud je hrana příliš vysoko, nebyla použita dostatečná nýtovací síla a hlava nýtu byla vytvořena špatně nebo vůbec. Pokud by hrana byla příliš nízko, mohla by být hlava nýtu ustřižena kuželem nýtovacího trnu a hranou díra v desce plošných spojů. Vyhodnocení této hranice u jednotlivých nýtů je zapsáno v Tab. 6.

Tab. 6. Vyhodnocení stopy po nástroji na jednotlivých nýtech.

Číslo vzorku	Nýtovací síla [kN]	Nýt 1	Nýt 2	Nýt 3	Nýt 4
1	2,4	OK	OK	Vlevo nízko	Deformace vnitřního průměru
2	2,4	Ok	OK	Vlevo nízko	OK
3	2,4	OK	OK	Vlevo nízko	Deformace vnitřního průměru
4	2,4	Vlevo nízko	OK	Vlevo nízko	Vlevo nízko
5	2,4	OK	Vysoko	OK	OK
6	1,9	Vysoko	Vysoko	Ok	Ok
7	1,9	Vysoko	Vysoko	Ok	Ok
8	1,9	Ok	Ok	Ok	Ok
9	1,9	Vysoko	Vysoko	Vlevo nízko	Deformace vnitřního průměru
10	1,9	Vysoko	Vysoko	Vlevo nízko	Deformace vnitřního průměru
11	2,2	OK	OK	Vlevo nízko	Hluboko
12	2,2	OK	OK	OK	OK
13	2,2	OK	Ok	Vlevo nízko	Vlevo nízko
14	2,2	Vpravo nízko	Vpravo nízko	Vlevo nízko	Vlevo nízko
15	2,2	Ok	Vlevo nízko	Ok	Ok

Z tabulky je patrné, že vzorky nýtované příliš malou (1,9 kN), nebo naopak příliš velkou silou (2,4 kN) mají zdeformovaný vnitřní průměr čtvrtého nýtu. Lze tedy usoudit, že tato nýtovací síla není pro nýtování vhodná. Při nýtování silou 1,9 kN byla často hranice příliš vysoko, tedy nebyla správně vytvořena závěrná hlava nýtu a nýt poté nemá takovou únosnost jako v případě nýtování větší silou, což bylo již potvrzeno trhací zkouškou. Vzorky nýtované silou 2,2 kN v tomto testu vychází nejlépe – mají dostatečné přesahy hlavy nýtu přes desku plošných spojů a hranice po nástroji byla v ideální výšce (Obr. 35). V některých případech však nebyla hranice rovná, ale zkosená, což vypovídá o špatném vystředění chladiče vůči trnu v nýtovacím stroji (Obr. 36).



Obr. 36. Nýt 4 na vzorku č. 1 – Nýt se zkosenou hranou a deformací vnitřního průměru

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá obecnou problematikou nýtových spojů a problematikou nýtování desky tištěných spojů na chladiče MLS modulu světlometu pro automobil VW Golf A7. V praktické části se zabývá analýzou nýtového spoje tohoto modulu, jeho únosností, vlivem nýtovací síly na únosnost spoje a vizuálním zhodnocením kvality spoje. Součástí této práce je příprava vzorků vizuální analýzu kvality spoje, příprava vzorků pro trhací zkoušku, její provedení a vyhodnocení únosnosti spoje. Pevnost nýtového spoje byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick Z010.

Byly provedeny testy pevnosti nýtového spoje nýtovaného při síle 1,9 kN, 2,2 kN a 2,4 kN. Z výsledků tahové zkoušky vyplývá, že nýtovací síla 1,9 kN je příliš malá a nezajišťuje dostatečnou únosnost spoje. Mezi nýtovací silou 2,2 kN a 2,4 kN nebyly zjištěny výrazné rozdíly. Při nýtovací síle 1,9 kN byla zjištěna maximální síla, kterou spoj unese $F_{max} = 1039 \pm 11$ N, u vzorků nýtovaných silou 2,2 kN byla zjištěna síla $F_{max} = 1091 \pm 10$ N a při nýtovací síle 2,4 kN byla síla $F_{max} = 1101 \pm 16$ N. Největší únosnost měl tedy spoj nýtovaný silou 2,4 kN, ale byl zde větší rozptyl naměřených hodnot. Lze tedy říci, že nejlepší je nýtování touto silou, ale je méně spolehlivé.

Vizuální analýza nýtového spoje byla provedena pod mikroskopem Zeiss Smartzoom 5. Z výsledků této analýzy je patrné, že spoje nýtované silou 1,9 kN nebyly dostatečně kvalitní. Při této síle se materiál potřebný k vytvoření závěrné hlavy nýtu spíš tlačil dovnitř díry nýtu a deformoval celý nýt. Nýt poté neměl dostatečně širokou závěrnou hlavu nýtu a nebyl tedy schopen snést dostatečné zatížení. U nýtů nýtovaných silou 2,4 kN docházelo ke stejnému problému, avšak nýtovací trn se zabořil do materiálu mnohem více, čímž vytvořil přesahy přes desku plošných spojů a spoj snesl větší zatížení.

Jako nejlepší nýtovací síla byla vyhodnocena síla 2,2 kN, u které byly při vizuální analýze zjištěny dostatečné přesahy přes desku plošných spojů a únosnost takto vytvořeného spoje byla pouze o 1 % nižší než u síly 2,4 kN, která nýty poškozovala.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014, 173 s. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [2] KŘÍŽ, Rudolf, Jindřich HERBRYCH a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1994, 241 s. ISBN 80-85827-59-X.
- [3] KOCHMAN, Josef a Alfred BOLEK. *Části strojů*. 2. sv. 5. přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990, 707 s. Technický průvodce.
- [4] BOHÁČEK, František. *Základy strojnictví*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 463 s. ISBN 8003000831.

Internetové zdroje:

- [5] BRALLA, James G. *Handbook of Manufacturing Processes – How Products, Components and Materials are Made [online]*. 2007 [cit. 2.3.2018]. Dostupný z WWW: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpHMPHPCM1/viewerType:toc/root_slug:handbook-of-manufacturing-processes---how-products-components-and-materials-are-made/url_slug:c-stitching-stapling?b-q=Riveting&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&issue_id=>>
- [6] MARKLOUF, Abdel Salam Hamdy Aliofkhaezai. *Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Chemicals, Concrete, and Power Industries [online]*. 2016 [cit. 2.3.2018]. Dostupný z WWW: <<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMFACSCCE/handbook-materials-failure/handbook-materials-failure>>
- [7] *Marson Klik-Lok Plastic Rivets [online]*. [cit. 2.3.2018]. Dostupný z WWW: <<https://www.starfasteners.co.uk/downloads/marson.pdf>>
- [8] TROUGHTON, Michael John. *Handbook of Plastics Joining – A Practical Guide, Second Edition [online]*. 2008 [cit. 2.3.2018]. Dostupný z WWW: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpHPJAPGE2/viewerType:toc/root_slug:handbook-of-plastics-joining---a-practical-guide-2nd-edition/url_slug:cold-stacking?&issue_id=>>
- [9] *Stella7. Marson plastics rivets [online]*. [cit. 2.3.2018]. Dostupný z WWW: <<http://www.stellaseven.com/catalogue.php?Plv=&P1=&Clv=2&Cid=13>>

- [10] *Preliminary Analytical Modeling of Heat Input in Friction Riveting [online]*. [cit. 2.3.2018]. Dostupný z WWW:
<https://app.knoel.com/web/view/pdf/show.v/rcid:kpPF5NI913/cid:kt0113MLQ5/viewerType:pdf/root_slug:antec-2016-proceedings/url_slug:preliminary-analytical?cid=kt0113MLQ5&q=Preliminary%20Analytical%20Modeling%20of%20Heat%20Input%20in%20Friction%20Riveting&b-q=Preliminary%20Analytical%20Modeling%20of%20Heat%20Input%20in%20Friction%20Riveting&sort_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=4&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&scrollto=sion%20Analytical%20heat&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&scrollto=sion%20Analytical%20heat>
- [11] Friedrich Niettechnik und Montagesysteme. Monitorování procesu nýtování [online]. [cit. 3.3.2018]. Dostupný z WWW:
<<http://www.fmw-friedrich.de/cs/technologien/nieten/nietprozessueberwachung.html>>
- [12] *Statické zkoušky. Zkouška tahem [online]*. [cit. 4.3.2018]. Dostupné z WWW:
<<http://home.zcu.cz/~dyxon/DATA/Nauka%20o%20M/Zkouska.pdf>>
- [13] *Mechanické zkoušky. Tahová zkouška [online]*. [cit. 4.3.2018]. Dostupné z WWW:
<http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/tahova_zkouska.pdf>
- [14] *Zwick [online]*. [cit. 5.3.2018]. Dostupné z WWW:
<http://www.zwick.com/en/pre-owned-testing-machines/1024885_zwick_z010_th_10kn>
- [15] *Zeiss [online]*. [cit. 10.3.2018]. Dostupné z WWW:
<<https://www.microscopeworld.com/p-3322-zeiss-smartzoom-5-digital-microscope.aspx>>
- [16] CTK instruments. *Zeiss Smartzoom 5. [online]*. [cit. 10.3.2018]. Dostupné z WWW:
<https://www.ctk-instruments.com/Zeiss_Smartzoom5_brochure.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PA	Polyamid.
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren.
POM	Polyoxymetyleny.
PVC	Polyvinylchlorid.
F_{max}	Maximální síla potřebná k odtržení nýtu.
MLS	Modular LED system.
ČSN	Česká technická norma.
SPR	Self-pierce rivetting.
LB	Low beam.
HB	High beam.
\bar{x}	Aritmetický průměr.
σ	Střední kvadratická chyba.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Nýtový spoj.....	16
Obr. 2. Normalizované nýty.	17
Obr. 3. Výbušný nýt a) před snýtováním, b) spoj snýtovaný výbuchem třaskaviny. .	17
Obr. 4. SPR Nýtování.	18
Obr. 5. Jednostřížný nýt.	20
Obr. 6. Dvojitřížný nýt.	20
Obr. 7. Přenos síly u jednostřížného nýtu zataženého a) za tepla, b) za studena.	22
Obr. 8. Přenos síly u dvojitřížného nýtu.....	22
Obr. 9. Temování (tužení) nýtového spoje.	25
Obr. 10. Spojení součástí roznýtováním.....	25
Obr. 11. Navrtané konce čepů před nýtováním (nahore) a po snýtování (dole).....	26
Obr. 12. Speciální plastový nýt s Klik-Lok systémem.	27
Obr. 13. MLS modul.....	28
Obr. 14. Chladicí modul.	29
Obr. 15. Princip nýtovacího stroje s měřením délek.....	33
Obr. 16. Princip nýtovacího stroje s měřením přesahu.....	34
Obr. 17. Znárodnění průběhu nýtování v závislosti na dráze a čase.....	35
Obr. 18. Chladič před odstraněním (vlevo) a po (vpravo) odstranění žeber.	40
Obr. 19. Chladič s nanýtovanou deskou plošných spojů.	41
Obr. 20. Trhací stroj Zwick Roell Z010.	42
Obr. 21. Detail upnutí vzorku v přípravku.....	43
Obr. 22. Ořezaný vzorek zkoumaný mikroskopem.	45
Obr. 23. Mikroskop Zeiss Smartzoom 5.....	46
Obr. 24. Průběh síly v závislosti na deformaci vzorků 1-15.....	48
Obr. 25. Průběh síly v závislosti na deformaci vzorků 16-30.....	49
Obr. 26. Průběh síly v závislosti na deformaci vzorků 31-45.....	51
Obr. 27. Průměrná síla potřebná pro přetržení nýtů u jednotlivých skupin vzorků....	51
Obr. 28. Průměrná deformace při přetržení nýtů u jednotlivých skupin vzorků.	52
Obr. 29. Vzorek s vytrženými všemi nýty.	53
Obr. 30. Vzorek č. 5 s vytrženými třemi nýty.	53
Obr. 31. Vzorek č. 5 – Pohled na držící nýt.....	54
Obr. 32. Vzorek č. 5 – Detail vytržených nýtů.	54

Obr. 33. Číslování nýtů na vzorku chladiče.....	55
Obr. 34. Nýt 4 na vzorku č. 10 – nýt bez přesahu přes PCB.	57
Obr. 35. Nýt 2 na vzorku č. 12 – nýt se správným přesahem hlavy přes PCB.	58
Obr. 36. Nýt 4 na vzorku č. 1 – Nýt se zkosenou hranou a deformací vnitřního průměru	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Nýtovací síla a tlak stroje u jednotlivých skupin vzorků.....	41
Tab. 2. Maximální síla a deformace vzorků 1-15	47
Tab. 3. Maximální síla a deformace vzorků 16-30.	49
Tab. 4. Maximální síla a deformace vzorků 31-45.	50
Tab. 5. Vyhodnocení přesahu hlavy nýtu přes PCB pro jednotlivé nýty.....	56
Tab. 6. Vyhodnocení stopy po nástroji na jednotlivých nýtech.....	59

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD-ROM