



Technická fakulta

Nýtování při výrobě letadel

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor práce: Karel Zmeškal

PRAHA 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Karel Zmeškal

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Nýtování při výrobě letadel

Název anglicky

Riveting in aircraft manufacturing

Cíle práce

- shromáždit literární poznatky o metodách spojování používaných ve strojírenské výrobě, jejich výhody, nevýhody a použitelnost,
- shromáždit literární poznatky o metodách spojování používaných při výrobě letadel.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

spojování materiálů, plech, nýtování, výroba letadel

Doporučené zdroje informací

- BERNASOVÁ, E. et al.: Svařování. Praha, SNTL 1987.
BLAŠČÍK, F. et al.: Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarania. Bratislava, ALFA 1987.
BROCKMANN, W. et al.: Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim, Wiley-VCH 2009.
Časopisy: Manufacturing technology, Strojírenská technologie, MM průmyslové spektrum, Strojárstvo – Strojírnoství, Strojírenská tchnologie, Technický týdeník, Technik, Zvávarie – Svařování.
DANĚK, O. GORBATOV, N. M.: Nýtování v letectví a v podobné výrobě. Praha, Práce 1951.
EBNESAJJAD, S.: Adhesives technology handbook. 2nd ed. Norwich, William Andrew 2008.
Firemní literatura: katalogy, prospekty.
HOLÁSEK, J.: Odporové zvaranie. Bratislava, Slov. vydav. technické literatury 1968.
KOVAŘÍK, R. ČERNÝ, F.: Technologie svařování. 2. vyd. Plzeň, ZČU 2000.
KŘÍŽ, R. – VÁVRA, P.: Strojírenská příručka. Svazek 8. Praha, SCIENTIA 1998.
KULIK, T. A.: Slovar spravočnik po svarke. Kijev, Naukova dumka 1974.
KUNCIPÁL, J. – PILOUS, V. – DUNOVSKÝ, J.: Nové směry ve svařování. Praha, SNTL 1984.
LANCASTER, J. F.: Metallurgy of welding. 6. ed. Cambridge, Abington 1999.
MINAŘÍK, V.: Obloukové svařování. 2. aktualiz. vyd. Praha, Scientia 2003.
MINAŘÍK, V.: Plamenové svařování. Praha, Scientia 1997.
PETERKA, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha, Nakladatelství technické literatury 1980.
STEDFELD, R. L.: Metals handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9. ed. Metals Park, Oh., American Society for Metals 1983.
The riveting of aluminium. London, Aluminium Development Association, 1954.
WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003.
-

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2016

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2016

Prohlášení:

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „Nýtování při výrobě letadel“ vypracoval samostatně pod odborným vedením prof. Ing. Milana Brožka, CSc. a s využitím informací z uvedených zdrojů.

V Praze, dne 31. března 2016

.....

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat panu prof. Ing. Milanu Brožkovi CSc. za odborné rady a vstřícnost při řešení problémů týkajících se bakalářské práce.

Dále chci poděkovat panu Ing. Jaroslavu Zvěřinovi za cenné podněty a podklady, které přispěly k tvorbě bakalářské práce.

V neposlední řadě chci poděkovat své rodině, bez jejíž podpory by k napsání bakalářské práce nedošlo.

Název práce: Nýtování při výrobě letadel

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá základními metodami spojování používanými ve strojírenské výrobě a zároveň se zaměřuje na metody spojování pro letecký průmysl. Práce je zaměřena na metody svařování, lepení, pájení, lisované spoje a nýtování. Jsou zde uvedeny výhody a nevýhody, podstata spojování, postupy spojování a použití jednotlivých metod. V hlavní části se práce zabývá nýtováním v leteckém průmyslu. Jejím cílem je shrnutí teoretických poznatků o nýtování a popsání podstaty této metody. Práce také podává informace o nýtování z praktického hlediska. Hlavní část se věnuje rozdělení nýtování, technologii a výrobě nýtových spojů, nýtům a korozi nýtových spojů. Práce uvádí kvalitativní požadavky nýtových spojů a rizikové faktory, které ohrožují zdraví člověka při provádění procesu. V závěru jsou zhodnoceny přínosy práce a nastíněn budoucí vývoj nýtování letadel.

Klíčová slova: spojování materiálů, nýt, nýtování, výroba letadel

Work name: Riveting in aircraft manufacturing

Abstract

Bachelor's project define the basic methods of material coupling in mechanical engineering. The project is also focused on material coupling used for aircraft manufacturing. The defined methods are welding, bonding, soldering, press fit methods and riveting. The project describes the advantages, disadvantages, types of coupling, process and application for each method. Main objective of the work summarizes the information about riveting and describe the essence of this method. The project also give the information about practical process. The project describes the riveting methods, technological and manufacture process, rivets and corrosion of riveted joints. The project describe also the quality requirements and risk factors for the health of people. In conclusion, we find the evaluation of the project, including the future progress of the riveting in aircraft manufacturing.

Keywords: material coupling, rivet, riveting, aircraft manufacturing

1	ÚVOD.....	1
2	METODY SPOJOVÁNÍ.....	1
2.1	SVAŘOVÁNÍ.....	1
2.1.1	Výhody a nevýhody svařování	2
2.1.2	Metody svařování	2
2.1.3	Svarový spoj	2
2.1.4	Oblasti použití svařování	3
2.1.5	Použití svařování v leteckém průmyslu	4
2.2	LEPENÍ.....	4
2.2.1	Výhody a nevýhody lepení	5
2.2.2	Postup lepení	5
2.2.3	Lepidla.....	6
2.2.4	Použití lepení v letecké výrobě.....	7
2.3	PÁJENÍ	7
2.3.1	Výhody a nevýhody pájení	7
2.3.2	Postup pájení	7
2.3.3	Druhy pájení	8
2.3.4	Druhy pájek	8
2.3.5	Tavidla.....	9
2.3.6	Použití pájení v leteckém průmyslu.....	9
2.4	LISOVANÉ SPOJE	10
2.4.1	Výhody a nevýhody lisování	10
2.4.2	Metody lisování	10
2.4.3	Postup lisování.....	11
2.4.4	Použití lisování ve strojírenství a letecké výrobě	12
3	NÝTOVÁNÍ.....	12
3.1	ROZDĚLENÍ NÝTOVÁNÍ	13
3.1.1	Nýtování za tepla a za studena.....	13
3.1.2	Přímé nýtování.....	13
3.1.3	Nepřímé nýtování	13
3.2	TECHNOLOGIE NÝTOVÁNÍ.....	13
3.2.1	Navržení spoje	13
3.2.2	Nýtovací proces	14
3.3	NÝTY.....	14
3.3.1	Druhy nýtů užívaných v letecké výrobě	14
3.3.2	Materiály nýtů	16
3.3.3	Rozměry dříků nýtů.....	17

3.4	METODY NÝTOVÁNÍ	18
3.4.1	Nýtování rázem	18
3.4.2	Nýtování plynulým tlakem	20
3.5	VÝROBNÍ POSTUP A ZHOTOVENÍ NÝTOVÝCH SPOJŮ	21
3.5.1	Montážní přípravky	21
3.5.2	Vrtání otvorů pro nýty	22
3.5.3	Zahlubování otvorů.....	23
3.5.4	Zanýtování.....	24
3.6	ODSTRAŇOVÁNÍ VADNÝCH NÝTŮ	24
3.7	KOROZE NÝTOVÝCH SPOJŮ	25
3.7.1	Chemická koroze	25
3.7.2	Elektrochemická koroze	26
3.7.3	Koroze pod napětím.....	26
3.7.4	Důsledky koroze letadlových součástí.....	26
3.7.5	Ochrana spojovaných součástí.....	27
3.7.6	Ochrana při nýtování	28
3.8	VÝHODY NÝTOVÁNÍ	28
3.9	NEVÝHODY NÝTOVÁNÍ	29
3.10	KVALITA NÝTOVÝCH SPOJŮ	29
3.10.1	Kontrola nýtových spojů.....	29
3.10.2	Vady nýtových spojů	30
3.11	RIZIKOVÉ FAKTORY OHROŽUJÍCÍ ZDRAVOTNÍ STAV ČLOVĚKA	30
3.11.1	Ochrana proti hluku	30
3.11.2	Ochrana proti vibracím	30
4	ZÁVĚR.....	31
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	32
	SEZNAM OBRÁZKŮ	34
	PŘÍLOHY	35

1 Úvod

Bakalářská práce poskytuje základní informace o metodách spojování používaných ve strojírenské výrobě, zejména při výrobě letadel. První část bakalářské práce poskytuje ucelený pohled na jednotlivé metody spojování, jejich výhody, nevýhody a použitelnost ve strojírenské výrobě, nejprve v obecné rovině a dále se zaměřením na letecký průmysl.

Hlavní část bakalářské práce se zabývá stěžejní metodou spojování, nýtováním ve výrobě leteckých sestav dopravních letadel. Práce podává informace o podstatě nýtovacího procesu, tj. jakým způsobem se nýtování v letecké výrobě provádí a jaké druhy nýtů se při nýtování letadel používají. Práce obsahuje nezbytné informace potřebné pro dosažení správného provedení nýtového spoje včetně ochrany proti korozi a požadavků kvality.

Závěr práce je věnován celkovému shrnutí poznatků získaných z dostupných zdrojů a nastínění budoucnosti vývoje nýtovacích metod.

Bakalářská práce si klade za cíl poskytnout informace, které by mohly být využitelné i v jiných technických oborech než v letecké výrobě, např. v opravách zemědělské techniky nebo v automobilovém průmyslu.

2 Metody spojování

Metody spojování se dělí na dva základní druhy, rozebíratelné a nerozebíratelné. Rozebíratelná spojení jsou spojení, která lze rozpojit bez použití náradí, nebo za pomoci běžně užívaného náradí (šroubovák, klíč) tak, že nedojde k poškození spojovaného materiálu. Nerozebíratelná spojení nelze rozpojit běžně užívaným náradím, je třeba použít např. vytlačovací zařízení, pilu nebo rozbrušovačku [15]. Při rozpojování nerozebíratelných spojení dojde vždy k poškození spojovaného materiálu. Mezi základní metody spojování patří nýtování, svařování, lepení a pájení. Dále pak lisování a šroubové spoje.

2.1 Svařování

Svařování je metoda spojování materiálů v nerozebíratelný celek. Podstatou svařování je vytvoření homogenního látkového spojení, tj. materiály dvou dílů se spojí dohromady a vznikne struktura rovnocenná se strukturou samotných dílů [4].

2.1.1 Výhody a nevýhody svařování

Mezi výhody svařování nepochybně patří pevnost spoje, pevnost svaru je někdy stejná jako pevnost svařovaných dílů. Svar může mít téměř libovolný tvar, není potřeba dalších zpevňujících dílů, jako např. šrouby. Další výhody jsou trvanlivost, těsnost, jednoduchost, menší výrobní náklady v porovnání s metodou lepení, menší hmotnost, úspora materiálu a dosažení krátkých výrobních časů [4, 6, 14].

Mezi nevýhody svařování patří obtížná svařitelnost některých kovů. Změny struktury způsobené vysokou teplotou mohou způsobit zmenšení pevnosti svařovaných dílů. Během svařování mohou teplotní dilatace způsobit deformaci svařované konstrukce [4].

2.1.2 Metody svařování

K vytvoření svarového spoje je nutné vynaložit určitou energii, která může být mechanická, tepelná, nebo kombinace energií v určitém poměru. Podle způsobu vynaložené energie lze svařování rozdělit na tavné a tlakové. Při tavném svařování dochází ke spojení roztavením, slitím a ztuhnutím svarových ploch. Při svařování tlakem dochází ke spojení stykových ploch tlakem nebo rázem při uplatnění vzájemných vazebných meziatomových sil vyvoláním plastické deformace. Podle normy ČSN EN ISO 4063 se metody svařování dělí do několika hlavních skupin (tab. 1) [4].

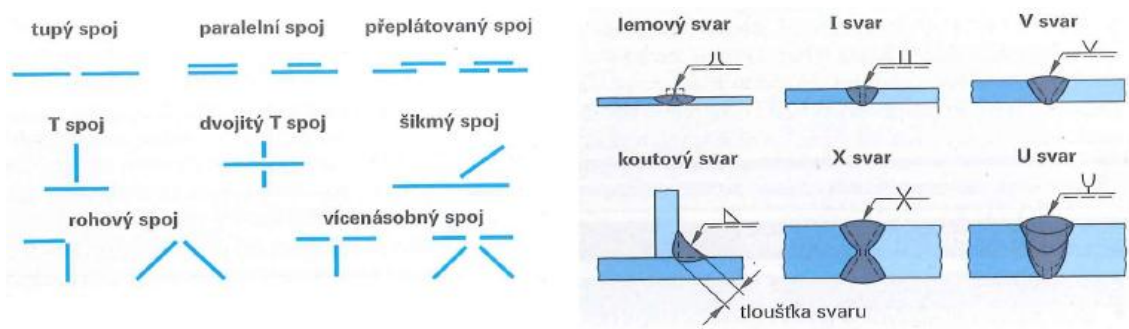
Tab. 1: *Metody svařování [4]*

Obloukové svařování	Ruční obloukové svařování	Odporové svařování	Bodové svařování
	Svařování v ochranné atmosféře		Výstupkové svařování
	Svařování v aktivní atmosféře		Švové svařování
	Svařování pod tavidlem		Odtavovací stykové svařování
Tlakové svařování	Ultrazvukové svařování	Plamenové svařování	Kyslík-acetylenové svařování
	Svařování třením		Kyslík-propanové svařování
Paprskové svařování	Elektronové svařování	Ostatní způsoby	Aluminotermické svařování
	Laserové svařování		Indukční svařování

2.1.3 Svarový spoj

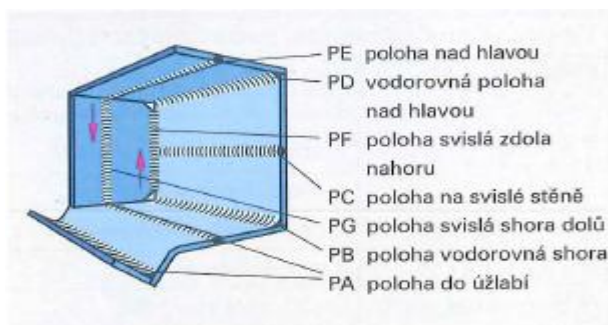
Svarový spoj je tvořen vlastním svarem a tepelně ovlivněnou oblastí. Tvar svaru je odvozen od vzájemné polohy, tloušťky a tvaru svařovaných dílů a na způsobu svařování [4].

Obr. 1: Druhy svarů podle uspořádání dílů a tvaru průřezu [4]



Svařovací polohy určují polohu a směr svařového švu a označují se mezinárodními zkratkami. Při svařování velkých konstrukcí není vždy možné manipulovat s díly takovým způsobem, aby bylo dosaženo optimální polohy svařování, proto je nutné svařovat ve všech polohách, např. nad hlavou nebo na svislých stěnách ve vodorovném směru [4].

Obr. 2: Polohy svařování [4]



2.1.4 Oblasti použití svařování

Volba vhodné technologie svařování se řídí druhem svařovaných materiálů, podle tvaru a požadované pevnosti svaru a podle požadavků na přesnost a automatizaci (tab. 2) [4].

Tab. 2: Oblasti použití a materiály svařovacích technologií [4]

Technologie	Zkratka	Číslo	Hlavní oblasti použití	Svařované materiály
Ruční oblouk. svařování	E	111	ocelové konstrukce strojů, zařízení a staveb	všechny oceli
Svařování MIG	MIG	131	tlusté a velmi tenké díly	legované oceli
Svařování MAG	MAG	135	ocelové konstrukce, velký svařovací výkon	oceli
Svařování TIG	TIG	141	tenké plechy, letecký a kosmický průmysl	všechny kovy
Plazmové svařování	WP	15	velké průřezy, úzké spáry	oceli, lehké kovy
Plamenné svařování	G	311	potrubní rozvody, instalace, opravy	nelegované oceli
Laserové svařování		751	přesné díly	oceli, lehké kovy
Odporové svařování	RP	21	plechy, karoserie	všechny kovy
Třecí svařování	FR	42	rotační součásti, trubky	kovy, plasty

2.1.5 Použití svařování v leteckém průmyslu

V leteckém průmyslu se nejčastěji používá metoda obloukového svařování TIG (Tungsten-Inert-Gas). Při obloukovém svařování dochází díky účinku tepelné energie elektrického oblouku k natavování svarových ploch a přídavného materiálu a tím se vytváří svarový spoj. U metody TIG vzniká oblouk mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem. Elektrický oblouk a oblast svaru jsou chráněny inertním plynem (Ar, He a směs Ar + He). Přídavný materiál se ve formě tyčinek ručně vkládá do oblouku. Podle průvodu proudu se metoda TIG dále rozděluje na stejnosměrné a střídavé obloukové svařování. Stejnosměrný proud se používá pro svařování legovaných ocelí, neželezných kovů a jejich slitin. Střídavý proud se používá ke svařování lehkých kovů, hlavně slitin hliníku [4, 5].

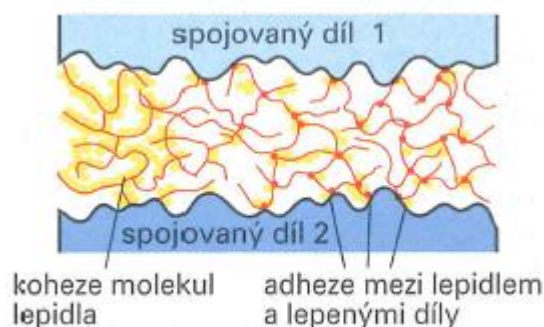
V současné době se používají moderní metody svařování FSW (Friction Stir Welding) a CMT (Cold Metal Transfer). Metoda FSW je založena na principu působení kombinace tepelné energie (tření) a mechanické deformace způsobené rotujícím nástrojem. CMT metoda je založena na řízeném přerušování elektrického oblouku a střídavém ohřevu a ochlazování přídavného materiálu [16]. Tyto inovativní metody se v porovnání s běžnými metodami svařování (MIG, TIG apod.) vyznačují nízkým teplotním ovlivněním svařovaných dílů, nízkým výskytem deformací, vysokou kvalitou svařených spojů a velkou produktivitou práce. Metody jsou určeny hlavně ke spojování tenkostěnných odlehčených konstrukcí z různých slitin lehkých kovů [16].

2.2 **Lepení**

Technologie lepení byla za několik posledních desítek let výrazně vylepšena a lepení postupně nahrazuje ostatní metody spojování zejména díky nesporným výhodám, které metoda lepení nabízí. Metoda je dnes používána hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu, kde je kladen velký důraz na kvalitu a životnost vyráběných produktů [7].

Metoda lepení je založena na spojování stejných nebo různých materiálů při dosažení trvalého spojení prostřednictvím lepidel. Soudržnost lepeného spoje závisí na vlastnostech lepidla, zejména na adhezi k povrchu lepených materiálů a na kohezi samotného lepidla. Adheze lepidla je závislá na dodržení podmínek lepícího procesu, tzn. povrch materiálu musí být čistý suchý a mírně zdrsňený. Vytvrzením lepidla po ukončení lepícího procesu se lepidlo změní na pevnou látku [4].

Obr. 3 : Soudržné síly lepeného spoje [4]



2.2.1 Výhody a nevýhody lepení

Metoda lepení má v porovnání s jinými technologiemi nesporné výhody. Patří mezi ně vysoká pevnost a odolnost proti vibracím, těsnost spoje, možnost spojování různých materiálů, spojování beze změny struktury spojovaných materiálů, odolnost proti korozi, možnost spojení velmi tenkých materiálů, malá pracnost a nízká ekonomická náročnost. Lze též dosáhnout spojů s velmi dobrou tepelnou, zvukovou a elektrickou izolací, rovněž spojů s požadovanou elektrickou vodivostí a rovnoměrností přenosu sil mezi materiály [8].

Mezi nevýhody lepených spojů patří malá únavová pevnost spoje, toxicita lepidel, hořlavost lepidel a nutnost velké styčné plochy pro lepení. Materiály je nutno chemicky či mechanicky zdrsnit a dodržet dlouhé a složité vytvrzování. Při velkých teplotních výkyvech může nastat ztráta vlastností lepeného spoje a z hlediska velkosériové výroby (dlouhá doba vytvrzování) se lepení většinou nedá použít [4].

2.2.2 Postup lepení

O dosažení spolehlivosti a kvality lepeného spoje rozhoduje zvolený materiál a jeho povrchová úprava, dále vlastnosti vybraného lepidla a v neposlední řadě dodržení pracovního postupu. Rovnoměrně nanesená vrstva lepidla na spojovacích plochách patří mezi základní klíčové kritérium tvorby lepeného spoje [5].

Pracovní postup lepení se skládá z přípravy povrchu spojovaných materiálů, nanášení lepidla, sestavení materiálů a vytvrzování.

Příprava povrchu se provádí bezprostředně před samotným procesem lepení. Spočívá v zdrsnění, očištění, odmaštění a vysušení lepených ploch. Zdrsnění se provádí otryskáním povrchu nebo broušením jemným smirkovým plátnem. K očištění a odmaštění se používají alkalická odmašťovačla, např. isopropylalkohol, technický aceton, metyletylketon (MEK) nebo perchloretylen. Odmašťování může probíhat i v párách rozpouštědla. Naleptáním

povrchu materiálu vhodnou kyselinou lze nahradit mechanické zdrsňování povrchu. Mořením materiálů v různých kyselinách lze dosáhnout vyšší pevnosti spojů než při mechanické úpravě povrchu (pro slitiny hliníku) [4, 5].

Při samotném lepení je bezpodmínečně nutné dodržet postup a parametry doporučené výrobcem lepidla. Potřebné informace jsou obsaženy v technickém listu lepidla, ve kterém je uveden popis lepidla, doporučené oblasti použití a provozní vlastnosti při vytvrzování [5]. Vytvrzování lepidel musí probíhat za řízených podmínek stanovených výrobcem lepidla. Může probíhat na vzduchu, působením tepla díky ohřátí v peci, působením vlhkosti, použitím aktivátorů, katalyzátorů a jejich kombinací [9].

2.2.3 Lepidla

Druh lepidla si konstruktér vybírá podle požadavků na lepený spoj, jeho pevnost, technologii zpracování a podle celkových nákladů na lepený spoj. Lepidla se dělí na tři základní druhy. Lepidla tavná, rozpustná a reaktivní. Tavná lepidla tuhnou čistě fyzikálně ochlazením. Rozpustná lepidla tuhnou odpařením rozpouštědla. Reaktivní lepidla vytvrzují chemickými reakcemi. Rozdělení reaktivních lepidel jsem pro větší přehlednost uvedl v následující tabulce (tab. 3) [5, 9].

Tab. 3: Rozdělení reaktivních lepidel a jejich vlastnosti [4]

Lepidlo	Počet složek	Vytvrzování		Pevnost ve smyku N/mm ²	Tepelná odolnost ve °C	Zvláštní vlastnosti	
		°C	Doba				
Vytvrzování za studena	epoxidová pryskyřice	2	20	48 h	do 32	-60 až + 80	velká pevnost a dobrá pružnost, ohřev urychluje vytvrzování
	akrylát	2	20	10 min	8 až 20	do + 100	lepidlo a tužidlo se nanáší odděleně, vytvrzení začíná spojením ploch
	polyuretan	2	20	do 80 h	7 až 15	-200 až + 30	vytvrzení se může zrychlit na 0,5 h, vytvrzení může probíhat za přístupu vzduchu
	kyan-akrylát	1	20	3 až 120 s	do 25	-40 až + 120	rychlé vytvrzení (sekundové lepidlo); ve vrstvě 0,2 mm, lepí též elastomery
	anaerobní lepidlo	1	20	6 až 42 h	do 40	-60 až + 200	vytvrzení bez přístupu vzduchu; hlavně k upevnění pouzder a fixací šroubů
Vytvrzování za tepla	epoxidová pryskyřice	2	120	15 min	do 40	-60 až + 80	velká pevnost a dobré zatékání; také k vyplňování velkých dutin
	fenolová pryskyřice	1	120	120 min	do 40	-60 až + 200	velká pevnost, velká tepelná odolnost, malé zatékání; k vytvrzení je nutný tlak
	polyimidová lepidla	1	120	-	25	-60 až + 200	vícetupňové vytvrzování bez přístupu vzduchu za zvýšeného tlaku; krátkodobě odolává 500 °C

2.2.4 Použití lepení v letecké výrobě

V letecké výrobě se používají anaerobní akrylátová lepidla vhodná pro těsnění a stabilizaci polohy rozebíratelných dílů. Slouží výhradně k lepení kovů. Vytvrzují po zamezení přístupu vzduchu do spoje za katalytického působení kovových iontů. V případě lepení nekovových dílů ke kovu je nutné použít aktivátor, který aktivuje povrch dílu a umožní tak dosažení reakce a spojení dvou různorodých povrchů. Hlavní oblastí použití anaerobních lepidel je zajišťování šroubů proti vibracím a korozi, těsnění závitových spojů a upevňování ložisek či pouzder na hřídele i do otvorů [5].

2.3 Pájení

Pájení je proces spojování kovů prostřednictvím roztaveného kovu (pájka) s nižší teplotou tavení než mají kovy spojované. Při spojování se taví pouze pájka, spojované kovy jsou pouze smáčeny, ale netaví se. Pájka vniká do struktury pájeného kovu a po vychladnutí dochází ke slití materiálů (difúze). Metoda je velice často používaná pro malé součásti a elektrické obvody [8].

2.3.1 Výhody a nevýhody pájení

Mezi výhody pájení patří nižší spotřeba energie než při svařování, vyšší pracovní rychlost, vysoká produktivita práce, vysoká hospodárnost, možnost spojování všech kovů odlišných vlastností a jejich slitin, možnost mechanizace a automatizace, velká rozměrová přesnost součástí, pěkný vzhled pájeného spoje, menší vnitřní pnutí ve spoji a menší strukturní změny v základním materiálu. Mezi nevýhody patří menší pevnost pájených spojů, menší vhodnost pro dlouhé spoje tenkých plechů a zhoršená korozivzdornost [5, 8].

2.3.2 Postup pájení

Předpokladem pro vytvoření kvalitního pájeného spoje je dobrá smáčivost a roztékavost pájky. Smáčivost je schopnost pájky při určité teplotě přilnout k povrchu spojovaného materiálu. Roztékavost je schopnost roztéci se po vodorovném povrchu spojovaného materiálu. Pájená místa musejí být čistá a pájené kovy, včetně pájky samotné, musí být dostatečně prohřáté. Tvar pájeného místa má vliv na pevnost spoje a šířka pájeného místa má vliv na vztlínavost pájky. Pokud je spára užší než 0,25 mm, převažují síly adhezní nad kohezními a pájka dobře zatéká do spáry. U příliš široké mezery je velice pravděpodobné, že pájka z mezery vyteče. Ideální velikost spáry pro pájení je 0,05 až 0,2 mm. Optimální volbou šířky spáry a druhu pájky lze docílit stejné pevnosti pájeného spoje jako mají pájené materiály [4, 9].

2.3.3 Druhy pájení

Pájení rozdělujeme podle teploty tavení na pájení na měkko s pracovní teplotou do 450 °C a pájení na tvrdo s pracovní teplotou nad 450 °C. Pájení na měkko se používá pro vytváření vodivých a těsných spojů, které nejsou příliš mechanicky zatěžované nebo pro spojení teplotně citlivých součástí. Pevnost těchto spojů se dá zvýšit vhodným tvarem spoje. Pájení na tvrdo může být pevné i na malých plochách. Zvětšením hloubky pájecí mezery lze docílit vyšší pevnosti spoje. Pájení při teplotách nad 900 °C se označuje jako vysokoteplotní pájení, probíhá ve vakuu nebo v ochranné atmosféře [4, 5].

Dále lze pájení rozdělit podle způsobu přívodu pájky. Při pájení přikládanou pájkou se nejprve ohřívají díly určené ke spojení a po přiložení se pájka taví dotykem s ohřátými díly. U vložené pájky se současně ohřívají díly s vloženými kousky pájky. Při ponorném pájení se spojované díly zafixují proti pohybu a ponoří do roztavené pájky, která díly ohřívá a vyplňuje pájecí mezeru. Pájení plamenem probíhá obdobně jako pájení přikládanou pájkou, spojované díly se nahřívají plamenem na pracovní teplotu, poté se přikládá pájka. Při pájení pájedlem se spojované díly ohřívají dotekem pájedla a do ohřátého místa se aplikuje pájka. Pájedlo se nahřeje plynovým hořákem nebo elektrickým ohřevem. Pokud lze regulovat teplotu ohřevu pájedla, hodí se tato metoda pro pájení teplotně citlivých součástí [4].

2.3.4 Druhy pájek

Jako pájky se používají hlavně slitiny, výjimečně čisté kovy. Pájky dělíme na měkké (s cínem), tvrdé, vysokoteplotní a pájky pro hliník a jeho slitiny (tab. 4). Pájky jsou dodávány v různých formách, např. jako bloky, pásy, fólie, tyče, nebo dráty [4].

Tab. 4: Příklady měkkých a tvrdých pájek [4, 25]

Druh	Skupina	Označení slitiny	Teplota tavení	Příklady použití
měkké	cín-olovo	S-Pb98Sn2	320 až 325 °C	chladicí zařízení
	cín-olovo-měď	S-Sn50Pb49Cu1	183 až 215 °C	jemná mechanika, elektrotechnika
	cín-olovo-stříbro	S-Pb93Sn5Ag2	304 až 365 °C	pro vysoké provozní teploty
Tvrde	bezolovnaté	S-Sn99Ag0,3Cu0,7	217 až 228 °C	elektronika
	měděné pájky	B-Cu100 (P)-1085	1083 °C	oceli, slinuté karbidy
	na bázi stříbra	B-Ag44CuZn-675/735	675 až 735 °C	ocel, měď, nikl a jejich slitiny
	na bázi fosforu	B-Cu92PAg 650/810	650 až 810 °C	měď a slitiny bez niklu

2.3.5 Tavidla

Při pájení hrají důležitou roli tavidla. Kovy při ohřívání na vzduchu oxidují a vytvořená vrstva oxidu brání spojení kovu s pájkou. Tavidlo zlepšuje smáčivost pájky a chrání kovy před oxidací tím, že vytvořenou vrstvu oxidu rozpouští a zabraňuje další oxidaci. Tavidlo zajišťuje očištění pájených povrchů. Rozhodující vlastností pro volbu tavidla je rozsah jeho reakčních teplot, který musí pokrýt pracovní teploty použité pájky. Tavidlo musí být účinné již pod pracovní teplotou pájky a také nad maximální pájecí teplotou [4]. Tavidlo se na pájené plochy nanáší těsně před pájením. Po pájení je nutné odstranit zbytky tavidla, aby bylo zabráněno vytvoření koroze. Tavidla mohou být kapalná, pevná nebo ve formě pasty [4].

Tab. 5: Klasifikace tavidel [4]

Klasifikace tavidel pro pájení na měkko (výběr ČSN EN 29454-1)		
Typ tavidla	Zbytky tavidla	Složení tavidla, použití
3.2.2.A (F-SW 11)	silně korozivní	Kyselce reagující roztok chloridu zinečnatého a chloridu amonného pro silně zoxidované povrchy. Zbytky musí být odstraněny.
2.2.1 (F-SW 21)	mírně korozivní	Pasta s chloridem zinečnatým, amonným, organickými oleji a tuky. Použití: pájení mědi. Zbytky musí být smyty rozpouštědlem.
1.1.1.B (F-SW 31)	nekorozivní	Přírodní pryskyřice jehličnatých stromů (kalafuna) nebo umělá pryskyřice. Používá se v elektrotechnice. Zbytky není nutné odstranit.
Klasifikace tavidel pro pájení na tvrdo (výběr ČSN EN 1045)		
Typ tavidla	Účinná teplota	Složení tavidla, použití
FH11	550 až 800 °C	Tavidla s fluoridem vápenatým nebo s boraxem (tetraboritanem sodným) pro pájky s pracovní teplotou 600 až 750 °C. Zbytky jsou silně korozivní.
FH21	750 až 1100 °C	Tavidlo s boraxem ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) pro pájení při teplotách nad 800 °C (při 1000 °C je již bezvodný a tekutý). Sklovité zbytky jsou hygroskopické a korozivní.

2.3.6 Použití pájení v leteckém průmyslu

Pájení se používá prakticky ve všech strojírenských odvětvích. V leteckém průmyslu se používá například kapilární pájení, které probíhá v ochranné atmosféře dusíku. Pracovní teploty jsou v rozmezí 1130 - 1150 °C a jako tavidlo slouží měď a její slitiny. Kapilárním pájením lze nahradit svařování [22].

Pro letecký průmysl se dále používá pájení v peci, např. pro výrobu motorových těsnění. Hlavní výhodou pájení v peci je možnost spojovat jednoduché i složité pájené sestavy pomocí jednoho či stovek spojů [23].

Pájení ve vodíkové atmosféře se používá pro výrobu složitých a precizně zpracovaných komponentů z nerezové oceli. Pájený výrobek je obklopen atmosférou vysoce čistého vodíku (rosný bod pod - 51 °C). Atmosféra vodíku při zahřívání redukuje přítomnost povrchových oxidů základního materiálu, zlepšuje smáčivost pájky a tím i čistotu a integritu pájeného spoje [24].

2.4 Lisované spoje

Lisovaný spoj je založen na principu účinku svěrné síly, která vznikne slisováním dvou dílů lícovaných s přesahem. Po zalisování vznikají ve stykové ploše velké plošné tlaky, které vyvolávají třecí odpor. Vzniklé tření zajistí udržení vzájemné polohy spojovaných součástí a přenáší velké kroučící momenty a osově síly, střídavého i rázového charakteru s velkou bezpečností. Lisují se nejčastěji válcové nebo slabě kuželové plochy, ale je možné lisovat plochy čtvercové i jiné [6].

2.4.1 Výhody a nevýhody lisování

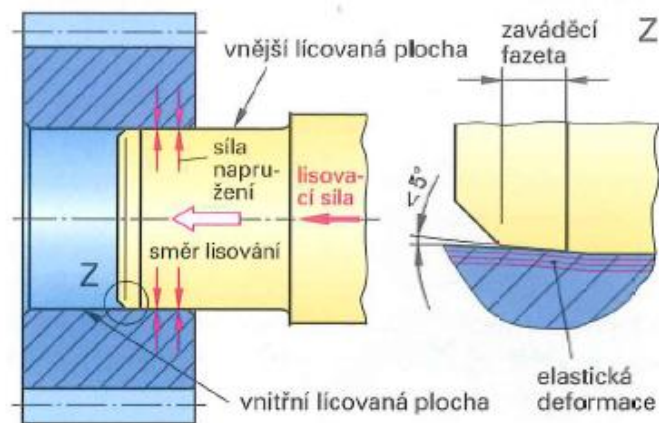
Lisované spoje jsou jednoduché, pevné a spolehlivé. Mezi další výhody patří dobrá hospodárnost, zajištění přesné sousosti, dobrý přestup tepla a elektrické energie. Lisovaný spoj se chová jako celek (celistvě), nevyžaduje další spojovací součásti (pera, klíny, kolíky). Hlavní nevýhodou lisovaného spoje je jeho obtížná rozebíratelnost [6].

2.4.2 Metody lisování

Základní rozdělení lisovaných spojů se dělí na lisování změnou teploty a lisování beze změny teploty (tlakem). Lisování změnou teploty probíhá ohříváním či ochlazováním spojovaných dílů nebo kombinací ohřevu a ochlazení [4].

Spoje nalisované podélně zastudena lícované s přesahem se instalují pod lisem. Vnitřní (náboj) i vnější (hřídel) díl musí být vyroben se zkosením a vnitřní díl musí mít náběh vytvořený kuželovým zkosením s úhlem do 5°. Díky náběhu je riziko poškození hrany i vnitřního povrchu díry minimální. Naolejováním stykových ploch lze zabránit zadření a poškození dílů [4]. Pro lepší představu poslouží následující obrázek (obr. 4).

Obr. 4: Lisovaný spoj zastudena [4]



Spoje lisované příčným smrštěním (zatepla) se instalují ohřevem vnějšího dílu na požadovanou teplotu tak, aby bylo možné vnitřní díl s ohledem na předepsaný přesah vložit či zatlačit do vnějšího dílu. Ochlazením vnějšího dílu na teplotu okolního prostředí dojde ke smrštění, díky kterému dosahuje spoj požadovaných vlastností. K ohřevu vnějšího dílu se používá indukční ohřev, olejová lázeň nebo plynový hořák. Při instalaci je důležité dodržet předepsanou teplotu ohřevu, přehřátím dílu se může změnit struktura materiálu a jeho vlastnosti (pevnost a tvrdost). Rozměrné díly je zapotřebí zahřívat rovnoměrně, aby nedocházelo ke změně tvaru dílu [4, 6].

Lisování příčným roztažením (podchlazení vnitřního dílu) se používá v případě, kdy není možné ohřát vnější díl například kvůli jeho velikosti, tvaru nebo nebezpečí změny struktury při ohřívání. K ochlazování se používá suchý led CO_2 (do $-79\text{ }^\circ\text{C}$) nebo kapalný dusík (do $-190\text{ }^\circ\text{C}$). Vyrovnáním teplot na teplotu okolního prostředí dojde k roztažení vnitřního dílu a dosažení požadovaných vlastností spoje [4].

Lisované spoje je možné instalovat zvolením kombinace ohřevu vnějšího dílu a ochlazení vnitřního dílu. Při lisování dílů změnou teploty je vždy snaha zvolit takovou kombinaci ohřívacích a ochlazovacích teplot, aby došlo ke zmenšení přesahu uložení a spoj mohl být zalisován hladce, nebo za pomoci mírného tlaku pod lisem [4].

2.4.3 Postup lisování

Před zalisováním dílů se provádí vizuální kontrola dílů, zda nejsou mechanicky poškozeny. Plochy určené ke spojení se očistí a odmastí organickým rozpouštědlem. Pokud je výrobní dokumentací vyžadováno použití antikoroziho prostředku či mazadla, nanáší se před instalací na styčné plochy dílů. V případě instalace změnou teploty se antikoroziho prostředek nanáší

na součást, která není teplotně ovlivňována. Pokud jednu ze součástí teplotně ovlivňujeme, je třeba provést instalaci co nejdříve po dosažení požadované teploty ohřevu nebo ochlazení. Po ukončení ohřívacího nebo ochlazovacího procesu dochází ihned k teplotnímu vyrovnávání mezi součástí a okolním prostředím. K teplotnímu vyrovnávání dochází také přímým přestupem tepla při kontaktu spojovaných součástí. Vnitřní součást je třeba pod lisovacím strojem vystředit vůči otvoru vnější součásti a zalisovat v co nejkratší době, aby byla zaručena bezproblémová instalace. Po nainstalování se provádí kontrola lisovaných součástí, zda bylo dosaženo požadované polohy. Spára mezi lisovanými součástmi se zpravidla utěšňuje předepsaným antikoročním prostředkem.

2.4.4 Použití lisování ve strojírenství a letecké výrobě

Nalisování se používá ke spojování velkých a těžkých součástí (např. pro spojení ocelových nákoků s litinovými koly železničních vozů), pro přesné souosé spojení (např. kluzná pouzdra ložisek, valivá ložiska, vodící pouzdra, hřídelové spojky), pro spojení dělených klikových hřídelů, spojení ozubených věnců a spojení rychle se otáčejících součástí [6].

3 Nýtování

Nýtování je nerozebíratelné spojování dvou a více materiálů. Svůj původ má zejména v klasickém kovářství. Kováři si dříve nýty vyráběli sami. Nýty plnily funkci nejenom spojovací, ale také ozdobnou. Hlavičky se tvarovaly ručně kladivem, takže práce kováře byla do jisté míry také uměleckou činností. V kovářství se nýtovalo hlavně za tepla. Díry pro nýty se nevrtyaly, materiál se probil, poté stáhnul stahováky k sobě a vkládal se ohřátý nýt [20].

Díky moderním technikám spojování již nemá klasické kovářské nýtování uplatnění a to hlavně díky současným vysokým požadavkům na pevnost a spolehlivost spoje [20]. Nýtování v letecké výrobě se od běžného strojírenského nýtování liší v několika aspektech:

- a) Velikostí nýtů (nejpoužívanější průměry dříků nýtů jsou 2 – 8 mm, v běžné strojírenské praxi mají průměry dříků nýtů 11-41 mm).
- b) Materiálem a technologickým stavem nýtů (vlastnosti materiálů zaručují bezproblémové tváření nýtů a dosažení požadovaných vlastností spoje).
- c) Způsobem přenášení síly (smyková síla se přenáší dříkem nýtu díky úplnému vyplnění díry určené pro nýt).
- d) Způsobem provádění spoje (nýtuje se v halách a práce je díky výkonným nýtovacím strojům a lehčím a menším součástem letecké konstrukce méně namáhavá) [2].

3.1 Rozdělení nýtování

Nýtování lze rozdělit do několika základních skupin.

3.1.1 Nýtování za tepla a za studena

Nýtování za tepla se používá pro nýty větších průměrů (nad 10 mm). Při požadavcích na zvýšenou pevnost, či těsnost nýtového spoje, se používají ocelové nýty, které je nutné ohřát na vysokou teplotu tak, aby byla zajištěna jejich požadovaná tvárnost a zmenšila se potřebná energie na vytvoření závěrné hlavy [5, 15].

3.1.2 Přímé nýtování

Při přímém nýtování je jako nýt použita část jednoho ze spojovaných materiálů. Je vyžadována dobrá tvárnost materiálu za studena. Tento druh nýtování nelze použít při výrobě letadel, protože je vhodný pouze pro málo namáhané spoje [14].

3.1.3 Nepřímé nýtování

V případě nepřímého nýtování slouží nýt jako samostatná součást spoje. Spojovaný materiál se netvaruje, pouze se do něj vyvrtá otvor, do kterého se pak vkládá nýt [14]. V letecké výrobě je tato metoda stěžejní jak u nýtování vnitřních struktur letadla, tak u nýtování trupů letadel. V Bakalářské práci se detailně zabývám právě tímto typem nýtování.

3.2 Technologie nýtování

Při navrhování nýtových spojů je nezbytné znát problematiku z technologického hlediska, znát podmínky před provedením nýtového spoje a vědět o procesech, které probíhají během nýtování i po zánýtování materiálů určených ke spojení.

3.2.1 Navržení spoje

Při návrhu nýtových spojů je třeba brát v úvahu následující faktory:

- 1) Nýtové spoje jsou schopny přenášet zatížení pouze ve smyku, tj. nesmí být zatěžovány silami působícími ve směru podélné osy nýtu.
- 2) Je třeba se rozhodovat podle podmínek, v jakých budou spojované materiály používány, jaké druhy materiálů budou spojovány a jaký bude požadavek na pevnost nýtových spojů.
- 3) Nýtový spoj je nutno navrhovat nejen na základě znalostí o namáhání v pružné oblasti, ale také v oblasti trvalých deformací.
- 4) Zohlednit přístup k nýtovému spoji [1].

3.2.2 Nýtovací proces

Při výrobě nýtového spoje se pěchuje nejprve dřík nýtu, který zcela vyplní otvor nýtu. Vyplnění děr je nezbytně nutné pro zachování pevnosti a přenosu smykových sil. Při nýtování za studena dokonce dochází k určitému zvětšení průměru díry (o 2 - 8 % základního rozměru). Zvětšení průměru dříku při nýtování vyvolá deformace spojovaných materiálů. Tato deformace za studena způsobí zvýšení tvrdosti. Po úplném vyplnění otvoru dříkem nýtu se začne tvarovat závěrná hlava nýtu [1, 5].

3.3 Nýty

V strojírenské výrobě se používají plné nýty, poloduté nýty, trhací nýty, nýty se závitovou částí a probíjecí nýty [5].

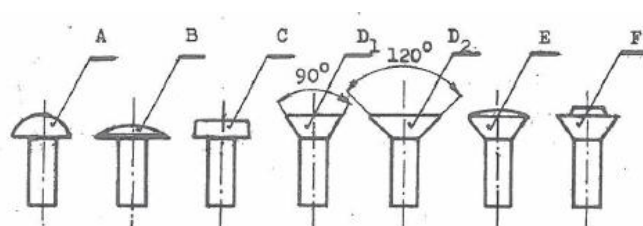
3.3.1 Druhy nýtů užívaných v letecké výrobě

V letecké výrobě se používají plné nýty malých rozměrů (nejčastěji \varnothing 1,6 až 4,8 mm), se zapuštěnou a půlkulatou opěrnou hlavou (obr. 6), speciální trhací nýty se systémem Composi-lok nebo Cherrymax.

Plné nýty

Plné nýty se rozlišují podle druhu materiálu (odst. 3.3.2), tvaru opěrné hlavy, délky a průměru dříku (odst. 3.3.3). U plných nýtů dochází k plastické deformaci závěrné hlavy. Jejich použití je možné pouze v případě dobrého přístupu ke spojovanému dílu z obou stran [1, 5].

Obr. 5: Základní tvary nýtů podle tvaru opěrné hlavy [1]



A – hlava půlkulatá; B – hlava čočková; C – hlava plochá; D – hlava zápuštěná; E – hlava čočková do zahloubených nebo prosazených ploch; F – hlava zápuštěná s kompenzátořem

Úhly zahloubení se u zápusných nýtů pohybují v rozmezí $90^\circ - 120^\circ$. Zápusnými nýty se spojují hlavně vnější části leteckých konstrukcí, tvořící potah letadla. Zápusné nýty se také používají u sestav, na jejichž styčné plochy se budou montovat další komponenty. Půlkulaté nýty se používají především pro vnitřní struktury leteckých konstrukcí, kde je pro hlavy nýtů dostatek prostoru a kde není další požadavek na montáž leteckých komponentů.

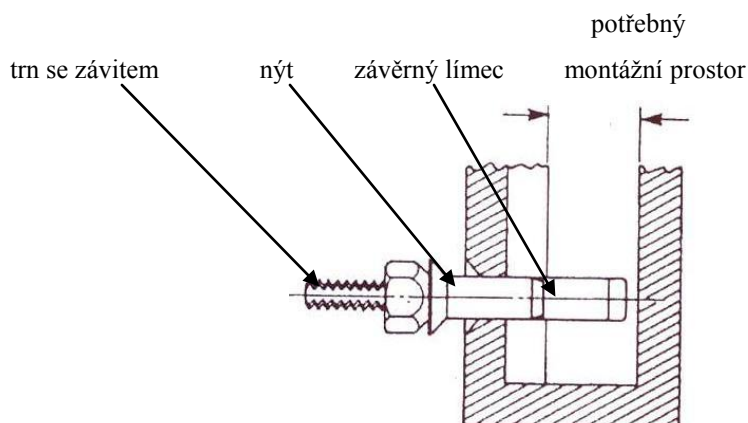
Obr. 6: Plné nýty s hlavou půlkulatou



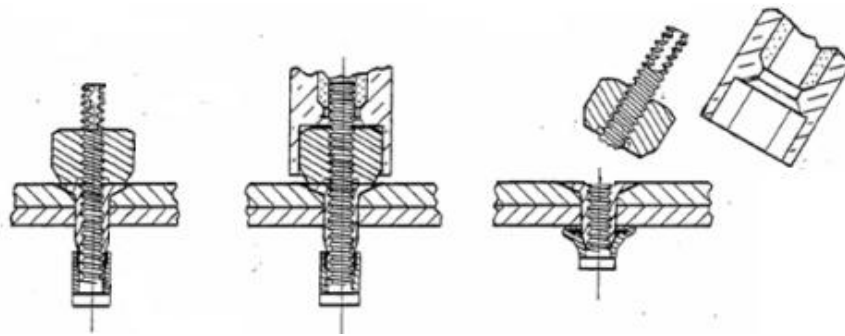
Trhací nýty Composi-lok

Nýty trhací jsou používány tam, kde není oboustranný přístup k nýtovému spoji. Jedná se o duté nýty, někdy nazývané jako „slepé“ nýty. Trn, kterým je tvářena závěrná hlava, je vtahován do dířku nýtu pomocí závitového trnu a matice, která se po tváření závěrné hlavy spolu se zbytkem trnu odlomí. Tyto nýty vyžadují pro svou instalaci potřebný montážní prostor, jehož velikost závisí na průměru nýtu (obr. 7 a 8) [17].

Obr. 7: Popis částí trhacího nýtu – systém Composi-lok [17]



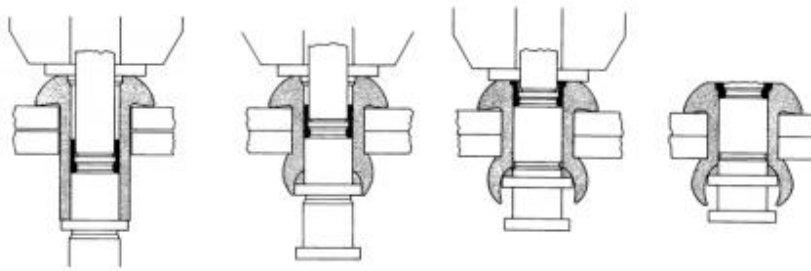
Obr. 8: Instalace nýtů – systém Compositi-Lok [17]



Trhací nýty Cherrymax

Tyto nýty jsou používány pro méně namáhané spoje. Jedná se o tzv. jednostranné („slepé“) duté nýty se speciálním trnem, který se neotáčí, ale je tažen nýtovacím zařízením a po tváření závěrné hlavy se odlomí [18].

Obr. 9: Instalace nýtů - systém Cherrymax [18]



3.3.2 Materiály nýtů

Nýty se vyrábějí za studena z přesně taženého drátu příslušného materiálu. Napěchováním se vytvoří opěrná hlava nýtu, která je z vrchu označena. Značení určuje základní vlastnosti nýtu včetně druhu materiálu [1].

Nýty určené pro letecký průmysl se vyrábějí hlavně ze slitin hliníku. Pro dosažení požadované pevnosti v tahu lze z následující tabulky (tab. 6) vyčíst ideální chemické složení, zejména procentuální obsah hliníku. Při požadavku na vyšší pevnost nýtového spoje se používají nýty ze slitin titanu s niobem a niklu s mědí. U méně důležitých spojů se používají slitiny s vysokým obsahem hliníku.

Tab. 6: Materiály nýtů [26, 27, 28, 29]

Materiál	Označení materiálu	Chemické složení	Pevnost v tahu [Mpa]
Slitina Al	7050-T3, 7050-T73	87,3-90,3 % Al; 5,7-6,7 % Zn; 1,9-2,6 % Mg a Cu	524
	2024-T4, 2024-T62	90,7-94,7 % Al; 3,8-4,9 % Cu; 1,2-1,8 % Mg	469-490
	2219-T81	91,5-93,8 % Al; 5,8-6,8 % Cu	455
	2117-T4, 2017-T4	91,5-95,5 % Al; 0,1 % Cr; 3,5-5,5 % Cu; 0,7 % Fe	427
	5056A-H32	95,7-97,7 % Al; 2,2-2,8 % Mg; 0,4 % Fe	228
	1050A-H14	99,5 % Al; 0,4 % Fe; 0,25 % Si	105-145
	1100-F	99 % Al; 0,05-0,2 % Cu	90
Slitina Ti-Nb	Ti 44.5 Cb	55 % Ti; 44,5 % Nb (Cb)	546
Slitina Ni-Cu	N-U30, Monel 400	63 % Ni; 28-34 % Cu; 0,5-1,5 % Fe; 0,4-1,0 % Mn	552-600
Slitina Fe	C1010 - C1015	99,18 % Fe; 0,3-0,6 % Mn	365

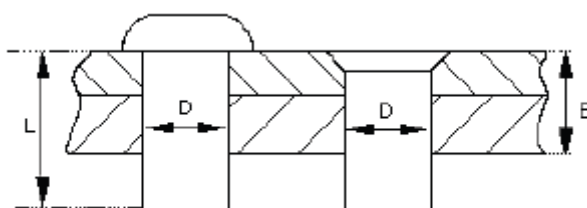
3.3.3 Rozměry dřívků nýtů

Letecké nýty se určují podle jmenovitého průměru dřívku nýtu a délky nýtu. Při návrhování délky nýtu pro jednotlivé spoje se řídíme několika faktory [1]:

- 1) Průměrem použitého nýtu.
- 2) Celkovou tloušťkou spojovaných materiálů.
- 3) Materiálem, ze kterého je nýt vyroben.

Základní vzorec pro výpočet délky leteckého nýtu: $L = E + K \times D [\text{mm}]$

Obr. 10: Určení délky dřívku nýtu



D - průměr nýtu
 E - tloušťka materiálu
 L - délka dřívku nýtu
 K - koeficient

Koeficient „K” je odvozen na základě znalosti materiálu tvářeného nýtu a materiálu nýtovaných součástí. Zvolit správnou délku dřívku nýtu je důležité z hlediska kvalitního vytvoření závěrné hlavy nýtu. Výrobní normy jasně definují požadované rozměry závěrných hlav, které jsou během nýtovacího procesu kontrolovány.

3.4 Metody nýtování

Nejvíce využívané metody nýtování v letecké výrobě se dělí podle způsobu tváření dřívku a závěrné hlavy nýtu, tj. nýtování rázem a tlakem [1].

3.4.1 Nýtování rázem

Pro nýtování rázem se používají pneumatická kladiva a nýtovací opěry („železa“). Jejich hmotnost musí odpovídat velikosti nýtu tak, aby bylo zaručeno správné vytvoření závěrné hlavy a zároveň při nýtování nedocházelo k odskakování nýtovacího kladiva vlivem malého odporu nýtovací opěry [1].

Pneumatická kladiva

Síla potřebná k vytvoření nýtu je dosažena tím, že tlak vzduchu udělí pístu kladiva při zdvihu rychlost a kinetická energie pístu se změní na konci zdvihu v deformační práci. Energie dodaná kladivem je závislá na frekvenci kladiva, tlaku vzduchu, ploše pístu, hmotnosti pístu a délce pracovního zdvihu [1].

Pneumatická nýtovací kladiva dělíme podle následujících hledisek:

Podle konstrukce:

- 1) Bezventilová.
- 2) Ventilová.

Podle frekvence:

- 1) Rychlorazná (3000 – 5000 úderů/min).
- 2) Pomalurazná (cca 800 úderů/min).

Rychlorazná kladiva (obr. 11) se používají především k nýtování potahů letadel, tj. tenkostěnných spojů. Pomalurazná kladiva jsou využívány především pro vnitřní konstrukce a pro tlustostěnné spoje [1].

Obr. 11: Pneumatické kladivo



Mezi nevýhody pneumatických kladiv z hlediska technologie patří:

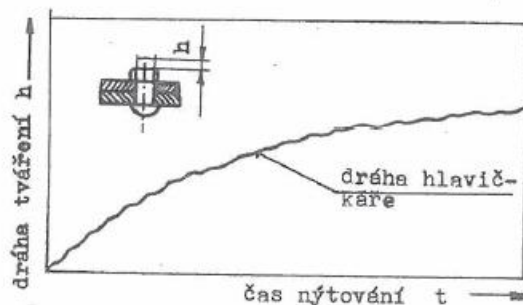
- 1) Těžká ovladatelnost kladiva z hlediska odhadu počtu rázů pro vytvoření závěrné hlavy.
- 2) Při nýtování dlouhých nýtových řad hrozí nebezpečí zvlnění dílů.
- 3) Potřeba dvou pracovníků k vykonání spoje.
- 4) Vysoká hlučnost při nýtování [1].

Při nýtování pneumatickým kladivem a nýtovací opěrou je potřeba dvou zkušených pracovníků. Nýtovat například potah s kostrou dveří letadla vyžaduje vysokou soustředěnost a koordinaci mezi oběma pracovníky. Práce je navíc velice fyzicky i psychicky náročná.

Průběh tváření

Závěrná hlava nýtu se vytváří pomocí kinetické energie kmitající hmoty (opakovanými úderý). Během pěchování dřívku se materiál nýtu zpevňuje a křehne. Z tohoto důvodu by mělo dojít k vytvoření závěrné hlavy co nejmenším počtem úderů. Průběh tváření v závislosti na času nýtování je zřejmý z obr. 12 [1].

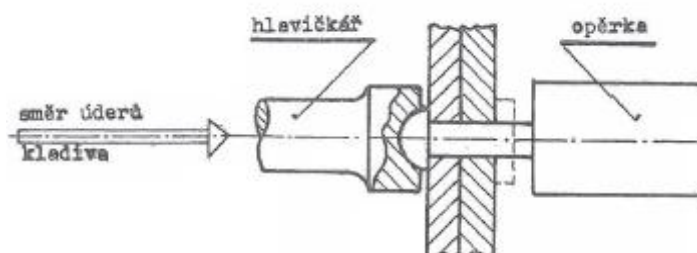
Obr. 12: Průběh tváření nýtu při nýtování rázem [1]



Nepřímá metoda

Podle směru tlaku dělíme nýtování pneumatickým kladivem na přímé a nepřímé. U nepřímé metody směřují úderý kladiva na opěrnou hlavu nýtu a závěrná hlava vzniká pomocí nýtovací opěry. Tento způsob vykazuje nižší účinnost, je třeba vyšší energie na rozkmitání soustavy. I přes tyto nedostatky jde v současnosti o přednostně užívanou metodu [1, 2].

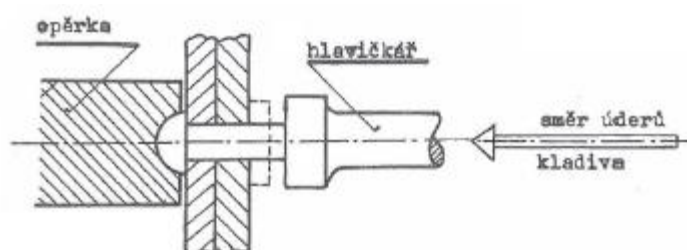
Obr. 13: Nýtování nepřímé (přednostně užívaná metoda) [1]



Přímá metoda

U přímé metody je opěrná hlava podepřena nýtovací opěrou a závěrná hlava vzniká úderem kladiva. Tento způsob vykazuje vyšší účinnost než u nepřímého nýtování. Přímá metoda se v letecké výrobě prakticky nepoužívá. Nevýhodou metody je, že pracovník, který ovládá nýtovací kladivo, nevidí prostor okolo opěrné hlavy, kde nesprávným držením nýtovací opěry snadno dojde k poškození povrchu (potahu) spojovaných materiálů [1, 2].

Obr. 14: Nýtování přímé [1]

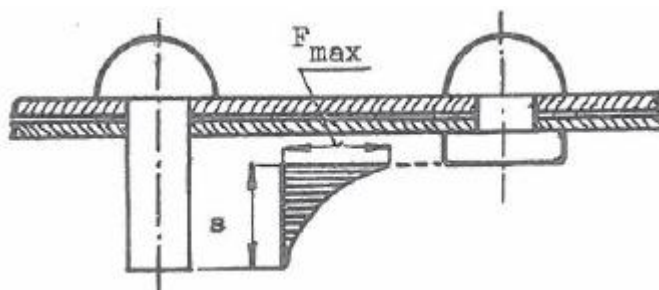


3.4.2 Nýtování plynulým tlakem

Nýtování tlakem se provádí ručním nýtovacím lisem. Během tváření je opěrná hlava podepřena hlavičkářem. Metoda se využívá hlavně pro nýtování plných nýtů s půlkulatou nebo čočkovou hlavou, pro které jsou užívány tvarové hlavičkáře, jejichž tvar odpovídá tvaru opěrné hlavy nýtu. V případě použití nesprávného hlavičkáře, který svým tvarem neodpovídá tvaru opěrné hlavy nýtu, mohou vznikat nepříjemné vady nýtových spojů [3].

K pěchování dřívku nýtu a tvorbě závěrné hlavy dochází díky působení stálého tlaku na dřív nýtu. V průběhu tváření pěchovací síla postupně narůstá (obr. 15) [1].

Obr. 15: Průběh pěchovací síly v závislosti na dráze tváření [1]



Konstrukce nýtovacího lisu bývá robustní a lis má několikanásobně vyšší hmotnost než pneumatická kladiva. V běžném provozu se pro nýtování lisováním používají nýtovací kleště, které jsou osazeny výměnnými hlavičkáři (obr. 16). Vyvozená síla je převáděna kombinovaným klínovým a pákovým převodem [1].

Nýtovací lisy jsou:

- 1) Přenosné (určené k nýtování nýtů menších průměrů, malé vyložení ramene).
- 2) Stabilní pneumatické a hydraulické (větší nýtovací výkony).

Nýtování lisovací technikou přináší jisté výhody oproti nýtování pneumatickými kladivky:

- 1) Dobrá ovladatelnost nýtovacího pochodu.
- 2) Stejnoměrné provedení spojů.
- 3) Menší spotřeba energie.
- 4) Odstranění nedostatků, které ovlivňují lidské zdraví, tj. hluk a vibrace [2].

Obr. 16: Nýtovací lis pro nýtování tlakem



3.5 Výrobní postup a zhotovení nýtových spojů

Každá výroba si klade za cíl splnit základní ekonomické a kvalitativní požadavky. Výrobní technologie a postupy musí být nastaveny tak, aby bylo možné dosáhnout co nejkratšího výrobního času s dosažením co nejvyšší kvality výrobku. Současně je snaha minimalizovat počet neshodných výrobků („zmetkovost“) na minimum.

V případě vysokého počtu nýtových spojů na letecké sestavě se provádí jednotlivé úkony během operace opakovaně jedním nástrojem. Dochází ke snížení manipulačního času, způsobeného například výměnou vrtacího či zahlubovacího nástroje. Zároveň se minimalizuje riziko vad způsobených pracovníkem výroby.

3.5.1 Montážní přípravky

Přípravky umožňují složení jednotlivých částí letadla s požadovanou přesností a jejich správné snýtování. Montážní přípravek by měl být konstruován tak, aby do něj jednotlivé části sestavy nešly vložit a ustavit jinak než pouze jedním správným způsobem (poka-yoke).

Mezi hlavní výhody užití montážních přípravků patří usnadnění montážních prací, zrychlení výroby, zjednodušení kontroly a snížení procenta neshodných výrobků [2].

Do přípravku (obr. 17) se vloží jednotlivé díly sestavy a pomocí dorazů a svěrek se zafixují do požadované polohy. Díky ustavené poloze lze díly svrtávat a připravovat pro jejich spojení. Sestava se postupně nýtuje a spoje se kontrolují, případně se provádí konečná úprava spojů. Nýtovaná sestava se pak stává součástí větší sestavy, montuje se pomocí větších a složitějších přípravků a celý celek se pak expeduje na hlavní montážní linku.

Obr. 17: Přípravek pro nýtování podsestavy dveří letadla



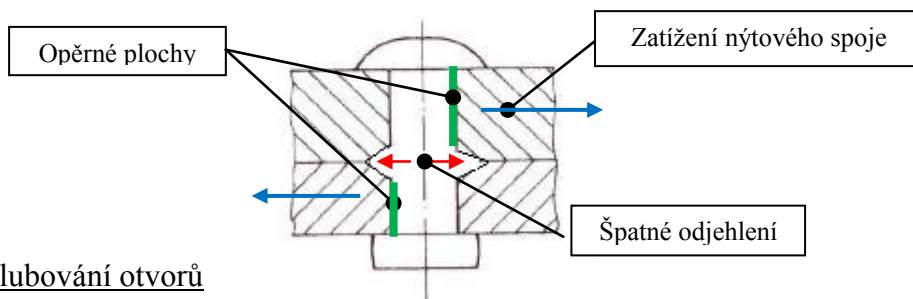
3.5.2 Vrtání otvorů pro nýty

Vrtání je v letecké výrobě nejběžnější způsob vytvoření otvoru pro nýt. Zpravidla se vrtá otvor, který je o 0,1 mm větší než jmenovitý průměr nýtu. Preferovány jsou vrtáky menší délky z důvodu minimalizace házivosti vrtáku a možnosti zlomení vrtáku v průběhu vrtání. Pro zajištění kolmosti vrtání jsou používány různé pomocné přípravky (opěrné nástavce) [12]. Po vrtání je nutné odstranit otřepy vzniklé vytažením materiálu vrtákem při vyjetí ze součásti. Pokud se odstranění otřepů neprovede, hrozí nedosednutí spojovaných materiálů k sobě nebo zvlnění povrchu nýtované sestavy.

Odjehlování se provádí brusným roumem, brusným papírem nebo speciálními odjehlovacími řeznými nástroji. V případě spojování součástí z hliníkových slitin je zakázáno odjehlovat styčné plochy součástí strojnými odjehlovacími řeznými nástroji. Pokud se odjehlovacím nástrojem příliš zatlačí na otvor, sražení může mít charakter zahloubení a to je nežádoucí při nýtování dvou materiálů k sobě. Při nýtování součástí s takto nesprávně odjehlenými otvory se dřík nýtu roztahuje do tohoto „zahloubení“. Vlivem nežádoucího napětí při provozním zatížení spoje může dojít k vzniku trhlin dříku směřujících do středu nýtu. Dřík nýtu se neopírá o stěnu otvoru celou

plochou a nýt už není tak dobře schopen odolávat smykovému napětí. Plochy, které jsou tomuto napětí vystavovány, jsou díky špatně provedenému odjehlení zmenšeny (obr. 18).

Obr. 18: Nýtový spoj při špatně provedeném odjehlení otvoru



3.5.3 Zahlubování otvorů

V případě instalace zápusťných nýtů je potřeba otvor pro založení opěrné hlavy zahloubit. Pro zahloubení platí přísné požadavky na dodržení kolmosti a rovnoběžnosti os otvoru a zahloubení ($\pm 0,5 \div 1^\circ$). Rovněž tolerance soustřednosti otvoru a zahloubení musí být dodržena ($\pm 0,02 \div 0,05$ mm). Při zahlubování děr se používají speciální stavitelné opěrky, kruhové či tříbodové. Opěrky jsou vybaveny mikrometrickým mechanismem zajišťujícím přesné nastavení hloubky zahloubení.

Nastavení zahlubování se provádí nejdříve nanečisto na zkušebních vzorcích, které jsou ze stejného materiálu jako je materiál nýtované součásti. Pracovník provede nejdříve několik zkušebních zahloubení na zkušebním vzorku a vložením nýtu do otvoru ověří hloubku zahloubení.

Pokud bude do určité doby po zahloubení otvoru provedeno nýtování, není třeba aplikovat protikorozi ochranu zahloubení. Tuto funkci splní protikorozi tmel nanesený do zahloubení.

Samotné zahloubení je považováno za narušení původní povrchové ochrany součásti. Po zahloubení otvorů, které nebudou bezprostředně poté zanýtovány, je nutné provést protikorozi povrchovou ochranu (obr. 19). U titanových dílů není nutné provádět povrchovou ochranu, neboť titanové díly nekorodují.

Obr. 19: Povrchová ochrana v zahloubení - chromátování



3.5.4 Zanýtování

U nýtovaného spoje se klade největší důraz na výslednou podobu spoje. Opěrná i závěrná hlava musí splňovat stanovené kvalitativní požadavky. Opěrné hlavy zápusných nýtů se u vnějších částí letadla cíleně instalují tak, aby bylo možné docílit co nejlepších pevnostních vlastností celé konstrukce a zároveň dosáhnout dokonale hladkého finálního povrchu trupu letadla. Při instalaci zápusných nýtových spojů (obr. 20), které musí splňovat aerodynamické požadavky, se tolerance přesahu („utopení“) opěrné hlavy nýtu pohybuje v kladných hodnotách ($0 \div 0,2$ mm). Výhoda kladné tolerance (např. na potahu) spočívá ve snadnější opravitelnosti. Nýt lze odvrtat, otvor znovu přehloubit a opět zanýtovat originální nýt bez nutnosti instalace větších opravných nýtů. Také se počítá s nanášením dalších ochranných vrstev na trup letadla, které kladný přesah vyrovnají. Hlavičky nýtů lze také v určitých případech přebušovat, ovšem pouze pokud to výrobní dokumentace dovoluje (např. u letadla Airbus A320 lze hlavičku brousit pouze o 3÷4 % původní výšky hlavy).

Obr. 20: Zápusné nýty po instalaci do potahu letadla



3.6 Odstraňování vadných nýtů

Odstraňování vadných nýtů se provádí odvrtáváním. Při odvrtávání nesmí dojít k poškození otvoru pro nýt. K odvrtávání se používá vrták menšího průměru (o cca 0,2 mm) než je průměr díry vrtané pro nýt. Pokud to manipulační prostor dovoluje, nýty se přednostně odvrtávají ze strany opěrné hlavy nýtu.

Pracovní postup odstranění vadného nýtu je následující:

- 1) Střed hlavy nýtu se označí důlčičkem, aby nedošlo k odskočení vrtáku a poškození okolního materiálu. V případě tenkých plechů je nutné se vyvarovat deformaci díky podepření nýtované součásti opěrkou z druhé strany.

- 2) Vrtákem menšího průměru se navrtá opěrná hlava nýtu. Hloubka navrtání by měla odpovídat výšce opěrné hlavy nýtu. V případě potřeby lze vrtat i hlouběji.
- 3) Hlava nýtu se po navrtání ze strany vylomí pomocí tenké tyčky.
- 4) Pomocí tyčky o menším průměru než je průměr otvoru se vyrazí dřík nýtu. U tenkých plechů hrozí během vyrážení deformace materiálu. Je nezbytné materiál podepřít.

Vadný nýtový spoj je možno opravit nýtem stejného průměru pouze v případě, že během odvrtávání nedošlo k poškození otvoru nýtového spoje, případně poškození zahloubení. Opravu lze provést zanýtováním pomocí nýtu většího průměru pouze v případě oficiálního schválení postupu oddělením konstrukce.

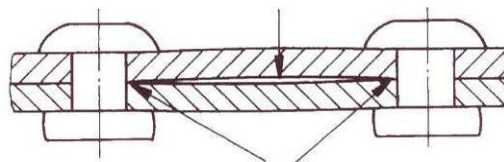
3.7 Koroze nýtových spojů

Pro zachování životnosti a kvality nýtového spoje je nutné chránit nýtový spoj proti korozi. V letecké výrobě se nejčastěji nýtují hliníkové slitiny. Koroze hliníkových slitin může mít chemický, elektrochemický a „mechanický“ charakter (pod napětím).

3.7.1 Chemická koroze

Chemická koroze hliníkových slitin je způsobena účinkem okolního prostředí, např. vody, kyslíku, oxidů uhlíku, síry nebo dusíku. Při provozu letadla dochází vlivem teplotních změn ke kondenzaci vodní páry. To způsobuje, že zejména v místech obtížně přístupných jsou příznivé podmínky pro vznik koroze. U nýtových spojů je největší pravděpodobnost vzniku koroze ve spárách mezi spojovanými součástmi vytvořenými v průběhu nýtovacího procesu (obr. 21).

Obr. 21: Spáry mezi spojovanými materiály



Příčinou chemické koroze je vnikání vody do vzniklých spár a narušování povrchu spojovaných součástí atmosférickými plyny. Letecké konstrukce proto musí být chráněny proti chemické korozi nanesením povrchové ochrany ještě před nýtovacím procesem, nejčastěji eloxováním, chromátováním a různými ochrannými nátěry. Spolehlivou metodou jak zabránit korozi je tmelení součástí v místech, kde mohou spáry vzniknout [13].

3.7.2 Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze je způsobena elektrochemickým dějem, kdy dochází k anodickému rozpouštění kovu vlivem různé elektrické polarizace materiálu. Tento typ koroze se vyskytuje zejména ve spojích mezi součástmi z hliníkové slitiny a součástmi z jiného kovového materiálu, zejména oceli a titanu. Korozní proces vzniká, jestliže je ve spoji přítomna vlhkost, což je u konstrukcí v leteckém provozu obvyklé. Obranou proti tomuto typu koroze je důsledné elektrické odizolování materiálů ve styčných plochách pomocí tmelů [13].

3.7.3 Koroze pod napětím

Koroze pod napětím je způsobována namáháním konstrukce za provozu. Jedná se o napětí, které vzniká v součástech působením sil v konstrukci letadla při jeho provozu. Koroze pod napětím, ke které jsou hliníkové slitiny náchylné, postupně způsobuje ztrátu pevnosti materiálu vlivem poruch vnitřní struktury kovů, které se šíří po hranicích zrn materiálu. S tímto typem koroze je nutno počítat při návrhu a konstrukci letadlových částí. U velmi namáhaných částí je nutno počítat s dodatečnou pevnostní rezervou nebo provést mechanické zpevnění povrchu namáhaných ploch, např. tryskáním [2].

3.7.4 Důsledky koroze letadlových součástí

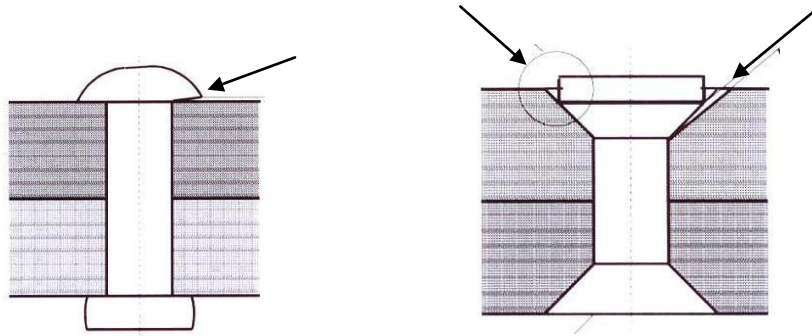
Stupeň a druh poškození materiálu vlivem koroze značně závisí na podmínkách okolního prostředí.

Nejčastější důsledky koroze letadlových konstrukcí jsou:

- 1) Proděravění materiálu při korozním napadení malé plochy (koroze bodová, důlková nebo štěrbinová). Toto je typické pro korozní napadení vnějšího povrchu letadla (potahu).
- 2) Strukturní porucha materiálu, neboli mezikrystalická koroze. Tato koroze často napadá hliníkové slitiny a v provozu je velmi obtížné ji odhalit. Může se projevit až náhlou destrukcí součásti [1].

Kritická korozní místa nýtových spojů jsou spáry mezi spojovanými materiály a spáry v okolí instalovaných nýtů (obr. 21 a 22).

Obr. 22: Spáry pod opěrnou hlavou nýtu



3.7.5 Ochrana spojovaných součástí

Povrchová ochrana leteckých součástí z hliníkových slitin se provádí tzv. plátováním, což je nanášení tenké vrstvy z čistého hliníku na povrch základního materiálu. Tloušťka plátovací vrstvy představuje pro tenké součásti asi 5 % tloušťky základního materiálu. Např. pro plech tloušťky 1,2 mm je tloušťka plátovací vrstvy 50 μm . Čistý hliník významně zpomaluje postup koroze oproti nechráněnému povrchu základního materiálu. Jedná se o tzv. bariérovou ochranu povrchu (podobně jako nátěr) [19].

V případě porušení této vrstvy (např. škrábanec, probroušení) je provedená povrchová ochrana narušena a základní materiál je podstatně méně chráněn proti vzniku koroze.

V průběhu celého procesu výroby nýtovaných konstrukcí je tato možnost narušení povrchové ochrany sledována a pečlivě kontrolována. Ve výrobních předpisech je jasně stanoveno, jakým způsobem a do jaké doby je třeba poškozený povrch součásti opět opatřit povrchovou ochranou. Lokální narušení povrchové ochrany materiálu se nejčastěji zapravuje chromátováním, např. chemickým přípravkem Alodine 1200 [19].

Obr. 23: Chromátování přípravkem Alodine 1200



3.7.6 Ochrana při nýtování

Pro ochranu spojů mezi částmi nýtované konstrukce a v místech instalace nýtových spojů se používají speciální druhy protikorozních tmelů. Tmelý jsou nanášeny na kontaktní plochy spojů a do spár tak, aby byly součásti kompletně odizolovány od okolních vlivů prostředí a nedošlo k vnikání vlhkosti a prachových částic do spojů. Aby byl tento typ protikorozní ochrany účinný, musí se aplikovat na celou nýtovanou konstrukci a musí být pečlivě kontrolováno, zda nedošlo k porušení souvislé vrstvy protikorozního tmelu. Tmel musí být aplikován na celou kontaktní plochu mezi díly a v místech okrajů kontaktních ploch (obr. 24) [13].

Obr. 24: Fazetkové tmelení a ochranný nátěr



Samotné nýty jsou již od výrobce opatřeny protikorozní ochranou a není třeba je před použitím nijak upravovat. O způsobu nanášení protikorozních tmelů do nýtových spojů rozhoduje množství nýtů. Pokud se nýtují sestavy o malém počtu nýtových spojů, tmel se nejčastěji nanáší pod opěrnou hlavu nýtu, nebo se na dřík nýtu aplikuje kroužek tmelu. U sestav s velkým množstvím nýtových spojů se tmel nanáší přímo do finálního otvoru součásti, poté se vloží nýt a zanýtuje [13].

Dodatečná ochrana nýtových spojů se provádí ve formě ochranných nátěrů. U sestav s menším počtem nýtových spojů se nanášení ochranného laku provádí štětcem. U konstrukcí s větším počtem nýtů (např. trup letadla) se provádí plošné lakování (obr. 24).

3.8 Výhody nýtování

Nýtování v letecké výrobě je v současnosti velmi využívaná metoda spojování dvou a více materiálů a to zejména díky jeho výhodám:

- 1) Možnost spojovat různé druhy materiálu, kovy i nekovy.
- 2) Možnost nýtovat různé tloušťky materiálů.
- 3) Možnost nýtovat i mimo výrobní závod (např. ručními nástroji), není třeba zvláštní strojní vybavení.
- 4) Proces je možné provádět i při různých (extrémních) atmosférických podmínkách.

- 5) Nízká energetická náročnost (v letecké výrobě představují náklady na 1 pracovní hodinu 0,5 euro, při celkových hodinových nákladech 25 euro).
- 6) Nýtování neovlivňuje strukturu materiálu spojovaných součástí [1, 2, 3].

3.9 Nevýhody nýtování

Mezi hlavní nevýhody nýtování patří:

- 1) Při vzájemném spojování různých druhů materiálů nýtováním je nutné činit opatření proti vzniku elektrochemické koroze (tzv. bariérová ochrana – tmelení).
- 2) Nýtované konstrukce nesmí být podrobovány galvanickým procesům.
- 3) Vysoká hlučnost a vystavení vibrací v průběhu výroby (platí jen pro některé metody ručního nýtování) [1, 2, 3].

3.10 Kvalita nýtových spojů

Na kvalitu nýtových spojů jsou kladeny vysoké požadavky. Proto je nezbytné provádět operativní kontrolní činnost během celého výrobního procesu a podchytit tak všechny možné vady nýtových spojů, které by se mohly během výroby vyskytnout [1].

3.10.1 Kontrola nýtových spojů

Kontrolu provádí pracovník výroby ihned po vykonané práci. Kontrolní operace jsou umístěny mezi výrobní operace tak, aby nezvyšovaly výrobní časy a byly účinné ve smyslu podchycení všech možných vad v průběhu výroby [1].

Při kontrole nýtových spojů se pracovník oddělení kvality zaměřuje na následující parametry:

- 1) Průměr vrtaného otvoru (měří se posuvným měřítkem).
- 2) Průměr zahloubení. Kontrola průměru zahloubení se provádí pomocí číselníkového úchylkoměru měřením nejvyššího bodu záпустné hlavy nýtu a porovnáním této hodnoty s okolním povrchem nýtované součásti [11].
- 3) Rozměry závěrné hlavy nýtu (měří se pomocí kalibrů).
- 4) Provedení protikorozi ochrany spojovaných součástí (vizuální kontrola). Aplikovaný protikorozi tmel musí být vytlačen do spár mezi nýtem a nýtovaným materiálem.
- 5) Spáry pod opěrnou hlavou nýtu (kontrola lístkovými měrkami předepsané tloušťky). Pokud je mezi opěrnou hlavou nýtu a nýtovaným materiálem povolena spára, je dovolena zpravidla pouze v 1/3 obvodu hlavy. V případě záпустných nýtů na trupu

letadla musí opěrná hlava nýtu zcela vyplnit zahloubený otvor a zahloubení nesmí být vidět.

6) Vizuální kontrola vad nýtu (např. mechanické poškození, praskliny).

3.10.2 Vady nýtových spojů

Při ručním nýtování může snadno dojít k poškození nýtového spoje. Výsledek tváření nýtu je závislý na pracovních podmínkách a zručnosti nýtaře. V příloze jsou popsány nejběžnější typy vad nýtových spojů (příloha 1).

3.11 Rizikové faktory ohrožující zdravotní stav člověka

Nadměrný hluk a vibrace představují pro člověka bezpečnostní a zdravotní riziko. Proto je nutné se před těmito jevy chránit.

3.11.1 Ochrana proti hluku

Při nýtování leteckých konstrukcí jsou pracovníci letecké výroby vystavováni velké hlukové zátěži. Tato hluková zátěž má nepříznivý vliv na zdravotní stav pracovníka. Při dlouhodobém působení hluku dochází k trvalému poškození sluchu. Závažné jsou však i mimosluchové účinky hluku, které při působení vysoké hladiny akustického tlaku na lebeční kosti mohou způsobovat bolesti hlavy. Zejména při ručním nýtování pneumatickými kladivy jsou pracovníci nuceni snášet hluk nad 95 dB [10].

Z tohoto důvodu je nutné na pracovištích aplikovat preventivní opatření, která mohou tyto rizikové faktory podstatně snížit. Používání sluchových chráničů je při nýtování nutností. Rovněž je snaha izolovat hlučné pracoviště od prostředí výrobní haly, např. formou speciálně odhlučněných kabin.

3.11.2 Ochrana proti vibracím

Zdravotní stav pracovníka, vystaveného intenzivním a dlouhodobým vibracím, může být nepříznivě ovlivněn. Při dlouhodobém působení vibrací může dojít k trvalému poškození zdraví. Vibrace způsobují onemocnění cév, nervů a pohybového aparátu horních končetin. Preventivním opatřením mohou být různé tlumiče vibrací instalované na pneumatická kladiva a držáky nýtovacích opěr. Použití antivibračních rukavic sice může částečně snížit negativní vliv vibrací na horní končetiny pracovníka, nicméně z praktického hlediska může při nýtování snížit cit pracovníka, který je při tváření závěrné hlavy třeba a tím i negativně ovlivnit kvalitu vykonávané práce [21].

4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo shrnout dostupné literární poznatky o metodách spojování ve strojírenské výrobě se zaměřením na letecký průmysl a ke každé metodě přidat praktické informace získané přímo z výrobní praxe tak, aby si čtenář mohl udělat představu o aktuálně používaných metodách spojování v leteckém průmyslu. Vybral jsem pět základních metod spojování a to svařování, lepení, pájení, lisované spoje a nýtování. Pro každou metodu spojování jsem zde uvedl jejich výhody a nevýhody, podstatu spojování, postupy a jejich použití.

V hlavní části bakalářské práce jsem se věnoval stěžejní metodě spojování, nýtování. Práce umožňuje získání celkového přehledu o nýtovacích metodách, které se používají při výrobě letadel. Jsou zde uvedeny základní teoretické i praktické informace, se kterými by se měl seznámit každý, kdo přijde do styku s nýtovými spoji. Jednotlivá témata jsem pro názornou představu a snažší vysvětlení podstaty nýtování doplnil fotodokumentací a nákresy.

Přes veškerý vývoj spojovacích metod, nástrojů a přípravků má provedení konstrukce letadla největší vliv na snadnost a rychlost výroby a tím i na cenu letadla. Dobrá konstrukce má nejen vyhovět aerodynamickým a statickým požadavkům, ale má být i vhodná pro výrobu. Výroba ovlivní cenu letadla až ve druhé řadě, poněvadž se musí podřídít požadavkům konstrukce. Pokud je konstrukce letadla správně navržena, výrobní proces ušetří výrobní časy i náklady.

Nýtování je jednou z nejdůležitějších metod spojování materiálů v letecké výrobě. V současné době je a v budoucnosti dále bude snaha konstruovat letadlové části tak, aby bylo možné využít pro jejich výrobu poloautomatické a automatické nýtovací linky vybavené nýtovacími roboty. Velké součásti a trupy letadel jsou již automatickým nýtováním vyráběny. Hlavní výhodou je dosažení identických nýtových spojů, neboť vstupuje-li do nýtovacího procesu lidský faktor, je každý nýtový spoj originál. Další výhodou automatického procesu je šetření výrobních časů.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] FLAŠKA M., ŠTEKNER B. *Speciální letecké technologie*. Praha: ČVUT v Praze, 1996. ISBN 8001014193, 9788001014196.
- [2] DANĚK O., GORBATOV N. *Nýtování v letectví a podobné výrobě*. Praha 1951. DT 621.884.
- [3] NĚMEC K. *Nýtování Všeobecné informace o nýtování v kovodělné výrobě*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1965. 64 s.
- [4] DILLINGER J. et al. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1.vydání. Brno: Centa, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [5] NĚMEC M., SUCHÁNEK J., ŠANOVEC J. *Základy technologie I*. 2.vydání. Praha: Česká technika, 2011. ISBN 978-80-01-04867-2.
- [6] KALÁB K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. 1.vydání. Ostrava: VŠB, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [7] DEGARMO Paul P., BLACK J., KOHSER R. *Materials and processes in manufacturing*. 7.vydání. New York: Macmillan publishing company, 1988. ISBN 0-02-946140-5.
- [8] AMSTEAD B. H., OSTWALD P. F., BEGEMAN M. L. *Manufacturing processes*. 8.vydání. USA: John Wiley & Sons, 1986. ISBN 0-471-84236-2.
- [9] ALTING L. *Manufacturing engineering processes*. 2.vydání. USA: Marcel Dekker, 1982. ISBN 0-8247-1528-4.
- [10] *Nebezpečný hluk*. 1.vydání. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2005. ISBN 80-903604-8-3.
- [11] BROŽEK M. *Strojírenská technologie II*. 1.vydání. Praha: ČZU, 2000. ISBN 80-213-0636-X
- [12] BROŽEK M. *Dílenská praxe*. 2.vydání. Praha: ČZU, 2001. ISBN 80-213-0742-0.
- [13] BARTONÍČEK R. et al. *Koroze a protikoroze ochrana kovů*. 1.vydání. Praha: Academia, 1966. 720 s.
- [14] ŘASA J., HANĚK V., KAFKA J. *Strojírenská technologie 4*. 1.vydání. Praha: Scientia, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
- [15] WIMMER T. *Základy strojírenství*. 1.vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-7395-508-3.
- [16] Bělský, Petr. *Innovative Welding Technologies for Joining Al Alloy 6082-T6. Czech aerospace proceedings*, 2008, roč. 4, č. 2, s. 2-5.
- [17] *Installation and inspection specification for Composi-lok 3 blind fasteners*. Los Angeles, California: Monogram aerospace, 2006. 19 s.
- [18] *Cherrymax process manual*. Santa Ana, California: Cherry aerospace, 2015. 28 s.

- [19] *Experimental aircraft info* [online]. EAI, 2006-2015 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.experimentalaircraft.info/articles/aluminum-corrosion-treatment.php>
- [20] Král, Roman. *Amatérský kovář* [online]. 2003-2007 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni_postupy/nytovani.htm
- [21] Jandák, Zdeněk. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2007 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/vibrace-prenasene-na-cloveka?highlightWords=vibrace>
- [22] Graweb, s.r.o. *Kapilární pájení* [online]. 2012 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.neriet.cz/sluzby-kapilarni-pajeni>
- [23] Bodycote plc. *Pájení v peci* [online]. 2012-2014 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.bodycote.com/cs-CZ/services/metal-joining/furnace-brazing.aspx>
- [24] Bodycote plc. *Pájení ve vodíkové atmosféře* [online]. 2012-2014 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.bodycote.com/cs-CZ/services/metal-joining/hydrogen-brazing.aspx>
- [25] Kovohutě Příbram, a.s. *Měkké pájky* [online]. 2016 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.kovopb.cz/divize-produkty/mekke-pajky/>
- [26] High performance alloys. *Monel 400* [online]. 2014 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://www.hpalloy.com/Alloys/descriptions/MONEL400.aspx>
- [27] MatWeb, LLC. *Titanium Grade 36 55Ti-45Nb* [online]. 1996-2016 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=d6b13859c0934a688c18dabadd0a6f76&ckck=1>
- [28] Makeitfrom.com. *1100-O Aluminum* [online]. 2009-2015 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/1100-O-Aluminum/>
- [29] Azom.com. *AISI 1010 Carbon steel* [online]. 2000-2016 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6539>

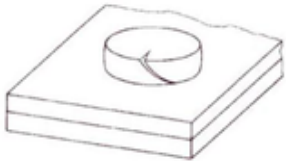
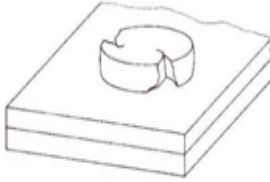
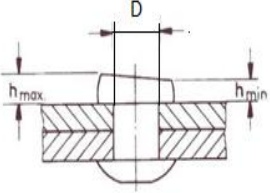

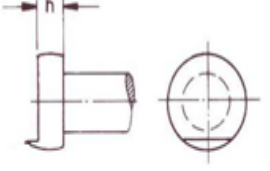
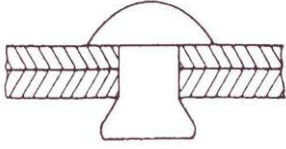
Seznam obrázků

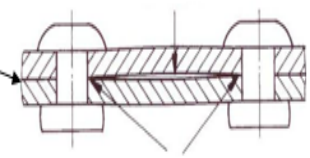
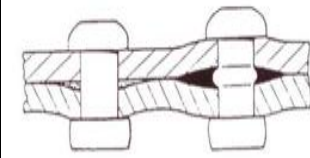
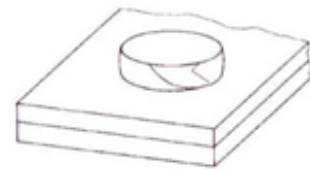
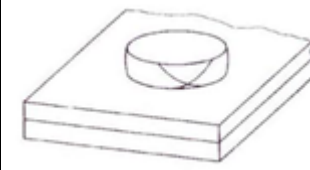
Obr. 1: Druhy svarů podle uspořádání dílů a tvaru průřezu [4]	3
Obr. 2: Polohy svařování [4]	3
Obr. 3 : Soudržené síly lepeného spoje [4]	5
Obr. 4: Lisovaný spoj zastudena [4]	11
Obr. 5: Základní tvary nýtů podle tvaru opěrné hlavy [1]	14
Obr. 6: Plné nýty s hlavou půlkulatou	15
Obr. 7: Popis částí trhacího nýtu – systém Composi-lok [17]	15
Obr. 8: Instalace nýtů – systém Composi-Lok [17]	16
Obr. 9: Instalace nýtů - systém Cherrymax [18]	16
Obr. 10: Určení délky dřívku nýtu	17
Obr. 11: Pneumatické kladivo	18
Obr. 12: Průběh tváření nýtu při nýtování rázem [1]	19
Obr. 13: Nýtování nepřímé (přednostně užívaná metoda) [1]	19
Obr. 14: Nýtování přímé [1]	20
Obr. 15: Průběh pěchovací síly v závislosti na dráze tváření [1]	20
Obr. 16: Nýtovací lis pro nýtování tlakem	21
Obr. 17: Přípravek pro nýtování podsestavy dveří letadla	22
Obr. 18: Nýtový spoj při špatně provedeném odjehlení otvoru	23
Obr. 19: Povrchová ochrana v zahloubení - chromátování	23
Obr. 20: Zápustné nýty po instalaci do potahu letadla	24
Obr. 21: Spáry mezi spojovanými materiály	25
Obr. 22: Spáry pod opěrnou hlavou nýtu	27
Obr. 23: Chromátování přípravkem Alodine 1200	27
Obr. 24: Fazetkové tmelení a ochranný nátěr	28

Přílohy

Příloha 1: Vady nýtových spojů

Vada	Obrázek defektu	Popis defektu	Oprava
Opěrná hlava s vrubem		Dovolená hloubka vrubu je povolena zpravidla do $\frac{1}{4}$ výšky hlavy „k“.	Nýt musí být vyměněn
Opěrná hlava se soustředným kroužkem		Vznik vady při použití příliš malého hlavičkáře	Nýt musí být vyměněn
Poškození povrchu nýtované součásti		Vznik vady při použití velkého hlavičkáře	Nýt musí být odvrtán, povrch součásti opraven
Poškození povrchu nýtované součásti		Hlavičkář je držen šikmo	Nýt musí být odvrtán, povrch součásti opraven
Spára pod opěrnou hlavou půlkulatého nýtu		K vadě dochází při nedostatečném domáčknutí nýtu, nebo pokud je hlavičkář šikmo	Nýt lze opakovaně stlačit, nebo vyměnit
Spára pod opěrnou hlavou zápusťného nýtu		Příliš velké zahloubení	Nýt musí být vyměněn

Vada	Obrázek defektu	Popis defektu	Oprava
Spirálovité trhlinky v závěrné hlavě		Trhlinky nesmí zasahovat do oblasti dříku, dvě nebo více trhlinek se nesmí křížit	Nýt musí být vyměněn
Podélné trhlinky (pukliny) v závěrné hlavě		Trhlinky procházející celou výškou závěrné hlavy. Mohou být způsobeny špatným tepelným zpracováním	Nýt musí být vyměněn
Šikmá závěrná hlava		Šikmé držení nýtovací opěry	Po překročení tolerance rozměrů závěrné hlavy musí být nýt vyměněn
Přesazená závěrná hlava		Závěrná hlava nesmí být přesazena tak, že je vidět otvor pro nýt	Nýt musí být vyměněn
Chybně tvářená závěrná hlava		Výška "h" musí být v mezích tolerance, vzniklý výstupek musí být mechanicky odstraněn	Při dodržení tolerance "h" lze nýt přebrousit. Při nedodržení tolerance musí být nýt vyměněn
Zvonovitá závěrná hlava		Vznik při použití příliš lehkého nýtovacího náradí. Dojde k nedostatečnému vyplnění otvoru dříkem nýtu	Nýt musí být vyměněn

Vada	Obrázek defektu	Popis defektu	Oprava
Spára mezi součástmi		Vznik při nedodržení správného výrobního postupu	Součásti se musí srovnat do správného profilu
Deformace spojovaných součástí		Nedodržení správného výrobního postupu, nesprávné ustavení součástí, nesprávné agrafování	Součásti se musí srovnat do správného profilu nebo vyměnit
Popraskaná závěrná hlava ve stejném směru		Jde o tzv. Černovovy - Ludersovy čáry, vytváří se po obvodu v úhlu 45° ve směru působící síly při stlačení	Tato vada je povolena, prasklina nezasahuje do středu nýtu
Popraskaná závěrná hlava křížem		Jde o tzv. Černovovy - Ludersovy čáry, vytváří se po obvodu v úhlu 45° ve směru působící síly při stlačení	Tato vada není povolena, nýt musí být vyměněn. Hrozí rozšíření trhliny do středu nýtu

Zdroj: Normy Airbus