

Porovnání lepených spojů se šroubovými

Miroslava Holcmanová

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Miroslava HOLCMANOVÁ

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Porovnání lepených spojů se šroubovými

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma**
- 2. Provedte přípravu šroubových a lepených spojů**
- 3. Provedte zkoušku pevnosti spojů**
- 4. Vyhodnoťte naměřené výsledky**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

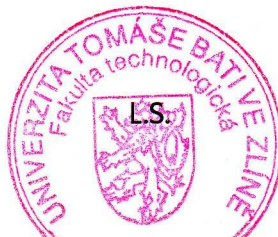
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato Bakalářská práce s názvem „ Porovnání lepených spojů se šroubovými“ se zabývá srovnáním naměřených hodnot z hlediska pevnosti. V teoretické části je bakalářská práce zaměřena na popis a vlastnosti lepených spojů, šroubových spojů a mechanického zkoušení lepených spojů. V praktické části bakalářské práce jsou popsány technické parametry zkušebního stroje, vlastnosti a použití vybraných polymerních materiálů a typy použitých lepidel. Experimenty byly provedeny na laboratorním trhacím stoju ZWICK 145665. Pevnost a tuhost spoje pro daný polymerní materiál a typ lepidla je vyhodnocena pomocí experimentálně zjištěné meze pevnosti ve smyku a modulu pružnosti G.

Klíčová slova: lepený spoj, lepidlo, adheze, šroubový spoj, pevnost ve smyku, modul pružnosti ve smyku G.

ABSTRACT

Abstrakt ve světovém jazyce

This Bachelor thesis entitled "Comparison of bonded joints with screw" deals with a comparison of measured values in terms of strength. In the theoretical part of the bachelor's thesis focused on the description and characteristics of bonded joints, bolted joints, and mechanical testing of bonded joints. The practical part of bachelor work describes the technical parameters of the test machines, properties uses of selected polymeric materials and types used lepidel. Experymenty were carried out on a laboratory tensile and worth ZWICK 145,665th Strength and rigidity of joints for the polymeric material and type lepidla is evaluated using xperimentálně established limits in shear strength and modulus of elasticity G.

Keywords: : bounded-joint, glue, adhesion, screwed-joint, strength, shear, shear modulus G,

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D., za odborné vedení, rady a ochotu, s kterou se mi věnoval při vypracování mé BP. Také bych chtěla poděkovat panu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D., taktéž za rady, připomínky, ochotu a pomoc při experimentálním měření. Poděkování také patří Ing. Šálkovi za pomoc s výrobou zkušebních tělísek.

Motto

„ Životní moudrostí je, když se v každém období života dopouštíme jen takových omylů, které jsou v souladu s věkem. “

Picasso Pablo

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 LEPENÉ SPOJE	11
1.1 HODNOCENÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV PŘED LEPENÍM.....	15
1.2 PODÍL ÚPRAVY POVRCHU PŘED LEPENÍM NA PEVNOSTI SPOJE	15
1.3 VÝZNAM DRSNOSTI POVRCHU PRO PEVNOST LEPENÉHO SPOJE.....	15
1.4 ČIŠTĚNÍ A ODMAŠŤOVÁNÍ	16
1.5 MECHANICKÉ ÚPRAVY POVRCHU	17
1.6 STRUKTURA LEPENÉHO SPOJE A JEDNOTLIVÉ FÁZE JEHO VZNIKU	17
1.7 ROZEBÍRÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ	17
1.8 HLAVNÍ ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ LEPENÝCH KONSTRUKCÍ Z KOVŮ	18
1.9 ZÁSADY POSTUPU VOLBY LEPIDLA	18
1.9.1 Význam jednotlivých pevností lepených spojů jako charakteristik pro výběr lepidla	19
1.9.2 Technologické vlastnosti, rozhodující o volbě lepidla.....	20
1.10 SYNTETICKÁ LEPIDLA	20
1.10.1 Některé druhy lepidel a jejich použití	21
1.10.2 Použití	22
1.11 ROZBOR ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ VE SPOJI	23
1.12 RŮZNÉ VLIVY, PŮSOBÍCÍ NA PEVNOST LEPENÉHO SPOJE.....	25
1.12.1 Vliv základních konstrukčních a technologických faktorů na únavovou pevnost spoje	25
1.12.2 Vliv vysokých a nízkých teplot na pevnost lepených spojů.....	26
1.12.3 Vliv prostředí na pevnost lepených spojů	26
1.13 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÉHO SPOJE	27
2 ŠROUBOVÉ SPOJE	28
2.1 ZÁKLADNÍ DRUHY ŠROUBOVÝCH SPOJŮ	28
2.2 PODLE ÚČELU POUŽITÍ ROZEZNÁVÁME ŠROUBY.....	29
2.2.1 Spojovací šrouby	29
2.3 ZÁVITY A DRUHY ZÁVITŮ	30
2.3.1 Závit spojovacích šroubů.....	31
2.3.2 Závit pro spojování trubek	31
2.3.3 Závit pro zvláštní účely	32
2.4 MATERIÁL ŠROUBŮ	32
2.5 SILOVÉ POMĚRY NA ŠROUBU	33
2.5.1 Samosvornost šroubu	34
2.5.2 Výpočet šroubu namáhaných osovou silou	34

2.5.3	Výpočet šroubu namáhaných silou působící kolmo k ose šroubu.....	35
3	MECHANICKÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ.....	37
3.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	37
3.2	ZKOUŠKA TAHEM	39
3.2.1	Smluvní diagram napětí - deformace	39
3.2.2	Určení smluvní meze pevnosti	41
3.2.3	Určení meze kluzu.....	41
3.2.4	Určování deformačních charakteristik	42
3.3	SPECIÁLNÍ ZKOUŠKA SMYKEM LEPENÝCH SPOJŮ.....	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
4	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PRO ZKOUŠKU SMYKEM.....	46
4.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK A SPOJENÍ LEPENÍM	46
4.2	CHARAKTERISTIKA ZKOUŠENÝCH MATERIÁLŮ.....	49
4.2.1	Polypropylen (PP)	49
4.2.2	Polyvinilchlorid (PVC)	49
4.2.3	Polyamid (PA).....	51
4.2.4	Teflon (PTFE)	52
4.2.5	Textit J.....	53
4.3	POUŽITÁ LEPIDLA	53
	MA310	53
	MA422	55
5	POPIS ZAŘÍZENÍ.....	58
5.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY	59
5.1.1	Šroubový spoj.....	59
5.1.2	Lepený spoj	61
5.2	POROVNÁNÍ ÚNOSNOSTI PRO ZVOLENÉ TYPY SPOJŮ A LEPIDEL A ZVOLENÝ MATERIÁL.....	65
5.3	POROVNÁNÍ MODULU PRUŽNOSTI VE SMYKU PRO ZVOLENÉ TYPY SPOJŮ A LEPIDEL A ZVOLENÝ MATERIÁL.....	68
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM TABULEK.....	78
	SEZNAM PŘÍLOH.....	79

ÚVOD

Technika spojování konstrukčních materiálů lepením a šroubovým spojením dnes zasahuje prakticky do všech průmyslových odvětví. Jedná se o dvě zcela odlišné metody spojování konstrukčních materiálů. Volba druhu spoje závisí na jeho funkci, způsobu zatížení a na splnění požadavku na pevnost, těsnost, snadnou montáž a demontáž, spolehlivost jak při statickém, tak při dynamické zatížení. Je-li možno uskutečnit požadovaný spoj různými způsoby, které splňují provozní a funkční podmínky, pak se volí spoj konstrukčně jednodušší a tím i ekonomicky výhodnější. Pokud porovnáme tyto dva způsoby spojení, docházíme k zajímavým výsledkům.

Lepené spoje vytváří nerozebíratelné spojení dvou a více součástí pomocí přídavného nekovového materiálu – lepidla, které součásti spojuje pomocí adhezních sil, používá se tam, kde nevyhovují klasické způsoby spojení nebo jsou nemožné např. : spojování kovů a plastů, kovů a skla, kovů a keramiky atd. Lepení však klasické technologie nemůže nahradit. Velmi progresivní a ekonomické je použití lepených spojů v opravárenství a v sériové montáži např. výroba obuvi. Lepení má jako způsob vytváření nerozebíratelných spojů mnoho předností a výhod. Lepené spoje jsou na rozdíl od klasických spojů provedených nýty a šrouby nepropustné pro kapaliny, popř. i pro plyny. V technologických operacích je kladen důraz zejména na úpravu povrchu před lepením což je obvykle kritické místo celé technologie lepení. Kombinace klasických způsobů spojování a lepení nejsou přitom vyloučeny. Lepením se nenarušuje hladkost povrchu a tedy ani estetický vzhled výrobku. Nezhoršují se též mechanické vlastnosti konstrukčního materiálu vrtáním otvorů pro spojovací prvky. Při dynamickém namáhání konstrukce rozvádí lepený spoj vzniklé pnutí nohem rovnoměrněji než kterýkoliv jiný mechanický spoj. Jednu z hlavních výhod spojování lepením je možnost spojovat různé konstrukční materiály, především pak plasty a vyztužené plasty, jejichž význam jako konstrukčních materiálů rychle roste. Klasické spoje plastů s kovy i s jinými konstrukčními materiály jsou často jen těžko proveditelné a pevnostně nevyhovují.

Vhodnost použití lepeného spoje se ovšem musí pro každý jednotlivý případ vždy předem ověřit a hodnoty dosažených pevností porovnat s hodnotami vlastností původního materiálu.

Jako druhý z výše uvedených způsobů spojení, je spojení šroubem. Jedná se také o mechanické spojení dvou a více stejných i rozdílných materiálů. Šroubové spoje patří mezi nej-

starší a nepoužívanější rozebíratelné spoje. Používají se všude tam kde potřebujeme pevně spojit dvě nebo několik součástí a kdykoliv je podle potřeby opět rozpojit, aniž se přitom poškodí spojované nebo spojovací části. Šroubové spoje se vyskytují prakticky u všech strojů a strojních zařízení. Šroubový spoj je tvořen šroubem, maticí a podložkou, která však není nezbytně nutná. Někdy je matice nahrazena závitem, vyřezaným přímo v jedné se spojovaných částí. Mezi hlavou šroubu a maticí jsou pevně sevřeny spojované části. Závit je nejdůležitějším funkčním prvkem každého šroubu i matice. Závit má tvar šroubovice.

I. TEORETICKÁ ČÁST

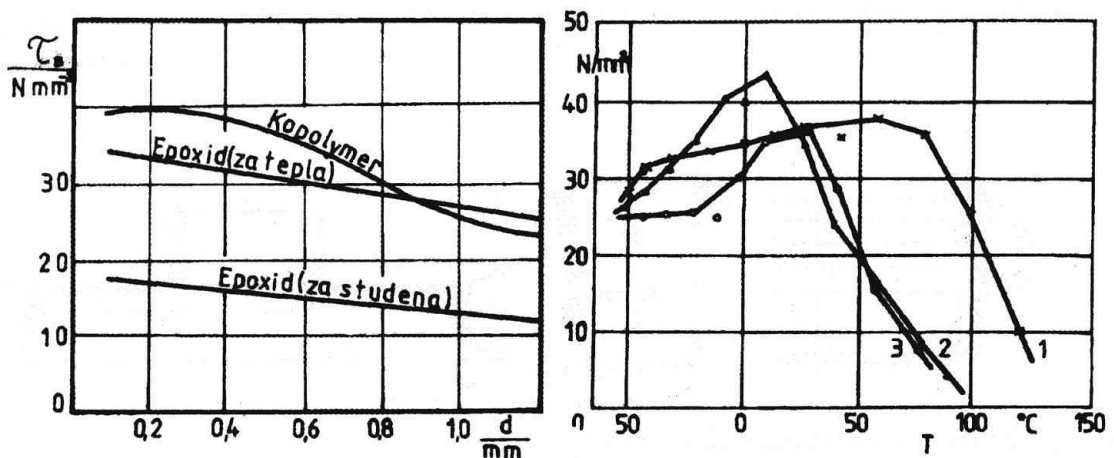
1 LEPENÉ SPOJE

Pokrokovou technologií při spojování součástí, která se stále více prosazuje ve spojích kovových i nekovových součástí, je lepení.

Lepené spoje na rozdíl od spojení šrouby jsou nepropustné pro kapaliny případně i pro plyny. Nepotřebují ke svému spojení otvory jako šroubové spoje a také tím nevznikají v blízkosti spoje pnutí a deformace jako při svařování, které mají vliv na průběh napětí podél spoje. Lepený spoj vykazuje rovnoměrně rozložené napětí. Lepením se může docílit vyšší produktivity práce a nízkých cen spoje.

Nevýhodou lepeného spoje je v některých případech nižší únosnost daná únosností lepidla. Obvykle se klade požadavek na stejnou únosnost se základním materiálem. Další nevýhodou může být pokles únosnosti v závislosti na teplotě a čase a vlivu prostředí, viz obr. 1. Proto je nutný pečlivý výběr druhu lepidla s ohledem na zatížení a provozní podmínky.

Únosnost lepeného spoje je vyvolána adhezními silami, tj. přilnavostí lepidla k podkladu a jeho vlastní soudržnosti (kohezní síly). Na základě výzkumů má na únosnosti lepeného spoje největší podíl adheze. Největší vliv má na únosnost adheze specifická a to především primární chemické vazby. Adheze fyzikální vyvolaná mezimolekulárními přitažlivými silami včetně sil disperzních a elektrostatických má slabší vliv.

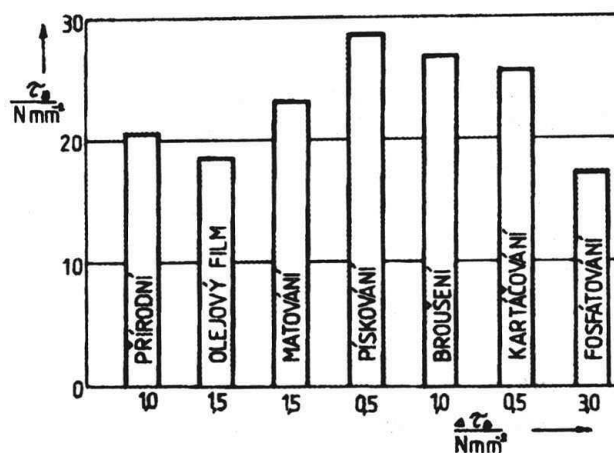


Obr. 1. Pevnost lepeného spoje v závislosti od technologických podmínek.

d - tloušťka lepeného spoje

Specifická adheze je způsobena mezimolekulárním napětím na hraniční ploše mezi lepidlem a kovem. Pro zajištění dokonalého přilnutí lepidla na kov je nutný přímý styk po-

vrchu kovu s lepidlem a to vyžaduje od lepidla i od povrchu dobrou smáčivost. Proto je nutné dobré odmaštění povrchu, příp. i jeho další úprava viz obr. 2.



Obr. 2. Vliv povrchových úprav na pevnost lepeného spoje.

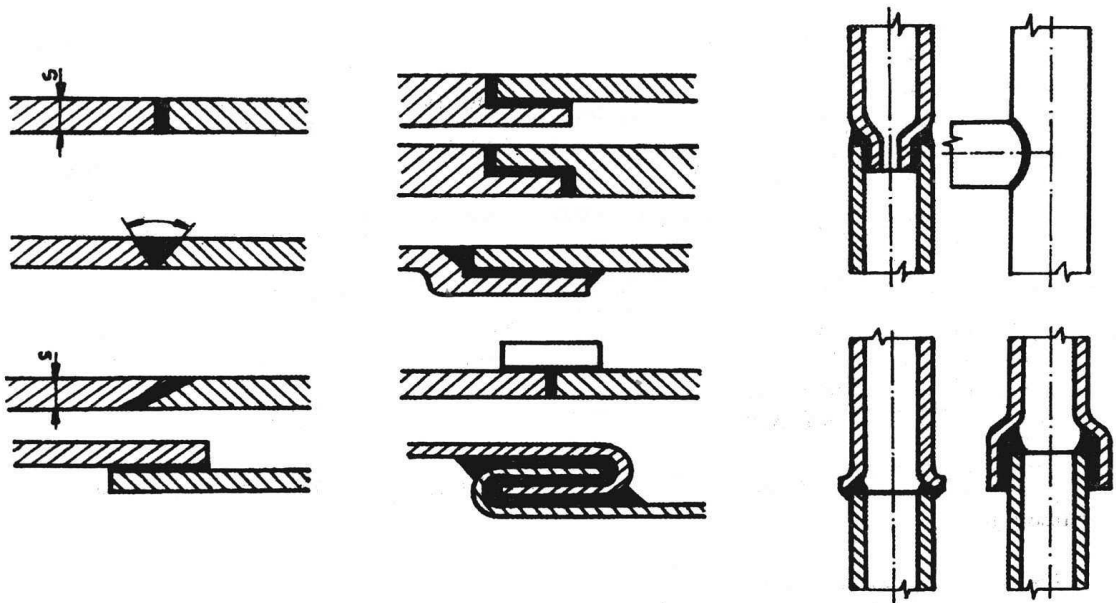
Kohezí se rozumí vnitřní pevnost lepidla. Je to v podstatě souhrn všech přitažlivých sil, které brání oddělení jednotlivých molekul lepidla od sebe. Soudržnost lepidla se mění v závislosti na tloušťce jeho vrstvy a to tak, že pevnost se zvyšuje s ubývající tloušťkou. Dobré lepidlo má vykazovat stejné soudržné síly (koheze) se silami přilnavosti (adheze) k povrchu lepeného spoje.

Mechanickou adhezí se rozumí uchycení lepidla v pérech lepeného povrchu. Volba druhu lepidla závisí na druhu lepené hmoty a na technologických podmínkách. Pro dobrý spoj s vysokou únosností je nutné volit takové lepidlo, které má vzhledem ke spojovaným materiálům dobrou specifickou adhezi a dobrou smáčivost obou povrchů. Druh lepidla a technologický postup se volí podle toho zda se jedná o materiály kovové nebo nekovové. U kovových materiálů tak, zda se jedná o materiály kovové nebo nekovové. U kovových materiálů tak, zda se jedná o železné, lehké nebo těžké kovy. U plastů a jiných látek organického nebo anorganického původu je třeba zjistit rozpustnost v organických rozpouštědlech a tepelnou stálost. Jak u kovů tak i ostatních materiálů je třeba znát jejich teplotní roztažnost. Při spojování materiálů s rozdílnou teplotní roztažností se konstrukce uspořádá tak, aby v tepelném spoji vzniklo tlakové namáhání.

Lepidla, zvolená podle specifické adheze, musí vyhovovat i předpokládanému druhu zatížení. Pro tepelně a chemicky namáhané spoje jsou vhodná lepidla tvrditelná, příp. vulkanizovatelná. Pro houževnaté spoje jsou vhodná termoplastická lepidla. Tyto spoje vykazují dobrou odolnost vůči vodě. Jsou – li požadavky protichůdné, volí se vhodný kompromis.

Volba lepidla je ovlivněna také technologickými podmínkami a provozními možnostmi jejich realizace.

Pro lepení kovů se užívá nejčastěji lepidel na bázi fenolových nebo epoxidových pryskyřic. Jsou to buď jednosložková nebo častěji dvousložková lepidla. Při tvrdnutí lepidla dochází k nevratné změně polykondenzací. Lepidla na kovy mohou být buď „studená“ nebo „teplá“. Studená lepidla tvrdnou za teploty okolí, teplá mají vytvrzovací teploty do 200°C. Vytvrzování lepidel probíhá až 24 hodin.



Obr. 3. Konstrukce lepených a pájených spojů.

Únosnost lepeného spoje je značně závislá na druhu namáhání. Nejmenší pevnost má spoj namáhaný tahem. Největší únosnost má lepený spoj namáhaný smykem. Proto se lepený spoj konstruuje tak, aby jeho rozhodující namáhání bylo smykové, příp. tlakové.

Výpočet lepených spojů, přenášejících zatížení (silové spoje) spočívá ve stanovení středního smykového napětí τ_s a jeho porovnání s dovoleným napětím τ_{Ds} , které určíme ze smykové pevnosti příslušného lepidla τ_p a požadované bezpečnosti spoje z rovnice :

$$\begin{aligned} \tau_{Ds} &= 0,3 \cdot \tau_s \\ b \cdot l \cdot \tau_p &= b \cdot s \cdot R_m \end{aligned} \quad (1)$$

Z toho délka přeplátování ve spoji

$$l = s \cdot \frac{R_m}{\tau_p} \quad (2)$$

R_m – statická pevnost spojovaného materiálu v tahu v MPa,

τ_p - 20 – 40 MPa a při spojích s EPOXY 1.001-CHS, viz též obr. 1.

Protože únosnost lepicí vrstvy bývá nižší než únosnost spojovaných materiálů, zvětšuje se spojovací plocha nebo styková délka.

Pro únosnost lepidla je důležitá také provozní teplota spoje. Při nižších teplotách únosnost spoje klesá, protože lepidla křehnou. Každý druh lepidla má optimální teplotu, při které má nejlepší únosnost, jak to ukazuje i obr. 1. [4]

Pro vznik soudržného spoje je tedy potřeba, aby lepený materiál i lepidlo prošly těmito fázemi:

- lepidlo musí být nanášeno nebo přeneseno na obě lepené plochy a musí je v tekutém stavu smáčet,
- musí být vytvořeny podmínky k tomu, aby se ve spáře vytvořil přiměřený, oboustranně zakotvený film lepidla,
- je třeba zajistit, aby tento film za určitých podmínek ve spáře ztuhl.
- Spoj pak sestává z pěti pevně na sebe vázaných vrstev, v nichž každá má co do vztahu k parametrům soudržnosti spoje rovnocenný význam.

Jsou to:

1. vrstva – povrch lepeného materiálu na jedné straně spoje,
2. vrstva – mezivrstva, v níž lepidla prolíná do mikropórů povrchu na jedné straně spoje,
3. vrstva – film lepidla,
4. vrstva – mezivrstva, v níž lepidlo prolíná do mikropórů povrchu na druhé straně spoje,
5. vrstva – povrch lepeného materiálu na druhé straně spoje.

Kvantitativní vada každé z těchto vrstev může být pochopitelně příčinou nedostatečné soudržnosti spoje jako celku.

1.1 Hodnocení povrchových úprav před lepením

Povrchová úprava adherendu před lepením je jednou z rozhodujících operací při lepení. Je-li povrch adherendu znečištěn například mastnotou, nebo je-li na povrchu vrstva, která není pevně spojena s jádrem adherendu (například okuje), musí se povrch obrousit, opískovat nebo chemicky mořit. Jinak nelze dosáhnout kvalitního spoje ani nejlepšími lepidly.

Povrchová úprava před lepením musí dovolit využití všech předností nových lepidel. Jejím cílem je, aby adhezní pevnost byla vyšší než pevnost kohezní.

Nároky na vývoj stále lepších úprav povrchu před lepením vyvolává i skutečnost, že lepení umožňuje spojovat i takové adherendy, které se před zavedením techniky lepení vůbec spojovat nedaly. [2]

1.2 Podíl úpravy povrchu před lepením na pevnosti spoje

Nevhodná povrchová úprava před lepením může znehodnotit lepený spoj. Není pravda, že výborné lepidlo, které se hodí pro lepení uvažovaného adherendu, zaručí samo o sobě kvalitní lepený spoj. Rozdíl při lepení téhož kovu může být při lepení stejným lepidlem podle druhu použité povrchové úpravy před lepením až 90 % pevnosti spoje ve smyku. Je jasné, že při porovnání pevnosti spojů neupravených ploch s pevností spojů ploch správně upravených budou rozdíly ještě větší. [2]

1.3 Význam drsnosti povrchu pro pevnost lepeného spoje

Povrchová úprava před lepením úzce souvisí s drsností povrchu. Důvodem, proč musí být při spojování technických materiálů používána lepidla, je skutečnost, že plochy určené k lepení nikdy nedosahují dokonalé hladkosti. I u leštěných ploch mají nerovnosti rozměry 10^{-8} až 10^{-7} m. Lepidlo musí nerovnosti vyplnit a přiblížit se na molekulární vzdálenost k povrchu adherendu.

Z výše uvedených slov by se mohlo zdát, že pro lepení nemá smysl povrch zdršňovat. To však nesouhlasí s praktickými zkušenostmi. U lepené plochy rozeznáváme tři druhy lepených povrchů: a) geometrický povrch, určený vnějšími rozměry lepené plochy,

- b) mikropovrch, zahrnující plochu všech nerovností,
- c) účinný povrch, tj. část mikropovrchu, která je smočena lepidlem.

Obecně známým zdůvodněním vhodnosti zdrsnění lepené plochy bylo její zvětšení a z toho odvozená vyšší pevnost spoje. [2]

1.4 Čištění a odmašťování

Povrchová úprava adherendu před lepením se obvykle skádá z předběžného čištění a odmašťování a z vlastní úpravy povrchu adherendu. Tyto dva stupně je třeba chápat jako určité zjednodušení. Stav povrchu určeného pro lepení může být velmi odlišný. A tak jsou někdy lepeny plochy bez jakékoliv úpravy, někdy postačí jednoduché odmaštění, jindy se plochy jen pískují, brousí a podobně.

Pro úpravu dílů k lepení je však přece jen typické čištění a odmašťování, buď jako konečná úprava povrchu před lepením, nebo proto, aby se zamezilo znečištění následující mořicí lázně. Nejsou-li díly před ponořením do lázně dobře odmaštěny, zůstane obvykle po moření mastnota plavat na povrchu a při vyjímání z mořicí lázně se při průchodu hladinou plochy znovu znečistí. I při odmašťování lepených dílů se musí občas z povrchu mořicích lázní odstranit nečistoty. To lze zajistit buď použitím lázní s přepadem, nebo stahováním nečistot z povrchu například filtračním papírem. Při odmašťování nejde jen o odmaštění lepených ploch, ale o odmaštění celého lepeného dílu. Během dalších operací – zvláště během vytvrzování za zvýšené teploty – by se mohla mastnota dostat do lepeného spoje a snížit jeho pevnost.

Ve strojírenské výrobě přicházejí díly k lepení už předběžně odmaštěny. Předchozí dílenské zpracování si takové odmaštění vynucuje. To znamená, že díly jsou zbaveny podstatné části konzervačních tuků, ale stále jsou ještě značně zamaštěny. K čištění a odmašťování se používá v podstatě tři způsoby a to

- Alkalické odmašťování,
- Tamponování rozpouštědly,
- Odmašťování v parách rozpouštědla. [2]

1.5 Mechanické úpravy povrchu

Stejně jako odmašťování mají i mechanické úpravy adherendů několik obecných znaků.

Někdy se sice používají, ale jsou hůře reprodukovatelné a obtížněji kontrolovatelné než chemické moření. Jen výjimečně poskytují mechanické úpravy u některých slitin lepší pevnosti spojů než metody chemického moření.

Mezi mechanické úpravy povrchu se počítá otryskávání, smirkování, broušení, pilování, zvláštní skupinu tvoří povrchy po obrábění. Bývají doporučovány zvláště pro nekovy, z důvodu vyvolání zatlačení cizích částic do povrchu kovu, což může později znamenat korozi. Tyto výhrady lze považovat za mezní případy než za pravidla. [2]

1.6 Struktura lepeného spoje a jednotlivé fáze jeho vzniku

Každý konstrukčně pevný lepený spoj lze považovat za soubor pěti navzájem vázaných vrstev, kde míra adheze každé jednotlivé vrstvy k vrstvám sousedním i koheze vrstev samých může značně ovlivnit celkovou kvalitu spoje. Jde o tyto vrstvy:

- a) lepený materiál na jedné straně spoje,
- b) mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají, na druhé straně spoje,
- c) vlastní film lepidla,
- d) mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají, na druhé straně spoje,
- e) lepený materiál na druhé straně spoje. [1]

1.7 Rozebírání lepených spojů

K rozebírání vytvrzeného konstrukčního lepeného spoje se dají použít zhruba tři způsoby:

- a) Zahřát ho na teplotu, při které je pevnost spoje už minimální, a pak spoj mechanicky oddělit.

- b) Pokud jde o spoj lepený epoxidy, ponořit ho přes noc nebo i déle do chloroformu. Lepidlo nabobtná a ztratí pevnost.

1.8 Hlavní zásady navrhování lepených konstrukcí z kovů

Lepenou konstrukci je třeba rozdělit na části co nejméně složité a k lepení vhodné. Je lépe se vyhnout dvojímu lepení. Pokud je nevyhnutelně nutné lepit díl, jehož určitá část je spojována jinou metodou, musí být zaručeno, že se mořicí roztok pro úpravu povrchu před lepením nedostane mezi plochy spojené jinou metodou než lepením.

Lepení se nehodí pro díly, které jsou při montáži vystaveny odlupujícím silám. Nebezpečné jsou například spoje s malým přeplátováním, umístěné mezi těžkými díly.

K lepení se nehodí díly s velkým a složitým zakřivením. Spoje a výztuhy musí být tak uspořádány, aby se dal zavést při vytvrzování tlak a ten aby zajistil přiblížení lepených ploch na vzdálenost většinou maximálně 0,4 mm, při optimu 0,2 mm. Lepení rozpěrných členů (například žeber) je z hlediska dodržení těchto tolerancí obtížné a nebývá vždy vyhovující.

Je třeba omezit napětí na hraně spoje. Musí se volit takové lepidlo, jehož tuhost je menší než tuhost lepených dílů. Není-li tento požadavek splněn, musí být lepené díly dodatečně vyztuženy a tvarově přizpůsobeny tak, aby bylo napětí rozloženo co nejrovnoměrněji po celé lepené ploše. Lepené spoje je třeba namáhat ve směru jejich největší pevnosti. Přímá tahová a smyková namáhání snáší lepený spoj dobře. Špatně odolává silám způsobujícím odlupování a štěpení spoje.

Tupé spoje jsou vynikající v těch případech, kdy se nepočítá s působením stranových sil. Jednoduše přeplátované spoje jsou nejběžnější, lze počítat s tím, že tento spoj bude neúčinnější, budou – li mít adherendy mnohem vyšší modul pružnosti než lepidlo a budou – li dostatečně tlusté, aby odolávaly ohybu. [2]

1.9 Zásady postupu volby lepidla

Před podrobným popsáním vlastností jednotlivých lepidel a navrhováním lepených dílů je třeba objasnit:

- a) Které pevnosti lepených spojů jsou nejdůležitější při výběru lepidel z hlediska pevnosti,

- b) Které technologické vlastnosti jsou rozhodující z hlediska použití,
- c) Shrnout charakteristické vlastnosti nejdůležitějších lepidel na základě zmíněných kritérií.

Usnadní to orientaci konstruktéra a zároveň přispěje již v úvodu ke znalosti faktorů, jejichž hodnoty musí být především uvažovány. [2]

1.9.1 Význam jednotlivých pevností lepených spojů jako charakteristik pro výběr lepidla

Pevnost v odlupování

Význam této zkoušky je dvojitý. Jednak jako zkoušky pro zjištění dodržení správné technologie lepení, jednak jako zkoušky sloužící pro výběr lepidla pro danou aplikaci. Nízké hodnoty pevnosti se mohou nepříznivě projevit například při místních zatíženích, ke kterým zpravidla dochází při montáži.

Pevnost ve smyku a pevnost při dlouhodobém zatížení za zvýšené teploty

Druhou důležitou vlastností lepených spojů, který rozhoduje o užitelnosti lepidla v určité konstrukci, je jejich tepelná odolnost při zatížení, charakterizovaný pevností ve smyku při požadované teplotě a statickou pevností ve smyku při této teplotě při dlouhodobém zatížení 200 nebo více hodin. Pro lepené díly vystavené slunečnímu záření jsou rozhodující hodnoty při teplotě 80° C.

Únavová pevnost lepených spojů

Třetím druhem zkoušek, který charakterizuje vhodnost lepidla pro strojírenské aplikace, je únavová pevnost. Nižší hodnoty při zkouškách dlouhodobým statickým zatížením za zvýšené teploty jsou zpravidla spojeny i s nižšími pevnostmi při únavových zkouškách po dobu dosažení $2 \cdot 10^7$ cyklů.

Rázová pevnost lepených spojů za snížené teploty

Dosud nepříliš vžitou charakteristikou pro hodnocení vhodnosti lepidel jsou zkoušky rázové pevnosti, kde se nedostatky lepidel nejzřetelněji projevují za teplot -75 až 80° C.

Vliv povětrnosti na pevnost lepených spojů

Rozhodující jsou hodnoty získané přímým vystavením vzorků vlivu povětrnosti. Pokud nejsou k dispozici, lze hodnotit lepidla buď podle zkoušek urychleného stárnutí, nebo podle zkoušek vystavení vlivu destilované vody.

Souhrn hodnocení lepidel z hlediska pevnosti

Nejdůležitější elementární zkoušky, podle nichž by se měla lepidla vybírat z hlediska pevnosti jejich spojů jsou:

- 1) Pevnost ve smyku a modul pružnosti ve smyku při dlouhodobém zatížení- obě hodnoty při zvýšené teplotě
- 2) Únavová pevnost
- 3) Rázová pevnost při teplotě – 75 °C
- 4) Pevnost ve smyku po vystavení vlivu atmosféry, urychleného stárnutí nebo vlivu destilované vody

Ostatní zkoušky mají rovněž svůj význam. Vyhoví-li však lepidlo v uvedených hlavních zkouškách, je pravděpodobné, že jeho pevnosti budou přijatelné i v dalších zkouškách, shrnutých do materiálových listů lepidel. [2]

1.9.2 Technologické vlastnosti, rozhodující o volbě lepidla

Pomineme-li různé přechodové jevy, zůstává při výběru lepidel nejdůležitějším technologickým hlediskem rozdělení na studená a horká lepidla.

Pro velmi namáhané díly se mohou použít převážně jen horká lepidla. [2]

1.10 Syntetická lepidla

Lepidla se posuzují z různých hledisek: chemického složení tekutosti, druhu vazby, fyzikálního stavu, lepidlosti, počtu složek, teploty a reakce při vytvrzování apod. Kvalitní lepidlo by mělo být odolné proti vodě, proti stárnutí atmosférickým vlivem, musí být spolehlivé, umožňovat jednoduchou technologii lepení a mělo by mít vyváženou pevnostní charakteristiku.

Nejvýhodnější jsou jednosložková lepidla, která bývají ve formě tekutého roztoku, prášku, pasty, tyčinky či lepicí fólie. Nejrozšířenější skupinu však tvoří dvou nebo vícesložková lepidla.

Podle způsobu vytváření lepeného spoje jsou lepidla

- disperzní nebo roztoková – spoj je uskutečněn vsáknutím nebo odpařením rozpouštědla,
- citlivá na tlak – spoj se provede tlakem na lepicí pásku ve spojovaném místě,
- tavná – vytvoří spoj po ztuhnutí lepidla,
- s vytvrzující chemickou reakcí – ve strojírenství často používaná. Probíhá-li vytvrzovací reakce do 20 °C, jedná se o tzv. studená lepidla, probíhá-li v rozmezí teplot 21 až 144 °C, jsou to teplá lepidla, je-li teplota vyšší než 144 °C, jedná se o horká lepidla.

Vytvrzování může probíhat pod tlakem větším než 0,3 MPa – tlaková lepidla, nebo do tlaku 0,3 MPa – beztlaková lepidla.

Základní složkou struktury lepidla je druh pryskyřice. Podle typu pryskyřice rozdělujeme lepidla na kaučuková, polyvinylchloridová, polyvinylalkoholová, polyvinylacetátová. Mohou to být též deriváty kyselin: akrylové a metakrylové, polyamidové, polybenzimidazolové, polyamidové, formaldehydové, epoxidové, polyesterové, izokyanátové a z organokřemičitých sloučenin.

Pro konkrétní spoj se volí lepidlo v závislosti na spojovaných materiálech, na jejich tvaru a poloze lepeného místa. Volba také závisí na podmínkách, při nichž je lepení prováděno. Před použitím je nutno se důkladně obeznámit s vlastnostmi lepidla (pro jaké druhy materiálů je určeno, vytvrzovacími podmínkami, pevností a provozními teplotami).

1.10.1 Některé druhy lepidel a jejich použití

- *epoxidová lepidla* spojí kovy, kovy s řevem či kůží, sklo, keramiku, beton s kovy, reaktoplasty (obchodní označení: CHS- Cpoxy 110, CHS- Epoxy 1200, Araldit, AY-101, AY-103, Epilog, Ablebond aj.);
- *fenolformaldehydová lepidla* spojí dřevo, sklo (obchodní označení: Umaco, B, F 20, F 24, Resol F 5250, Umaform, Aerophen, AF 10, AF 30 aj.);

- *modifikovaná fenolformaldehydová lepidla* spojí kovy, kovy s dřevem, brzdové obložení (obchodní označení: FK-11, FB 6110, Faux, Klej BF-2, Klej BF-4, Plastophel E aj.);
- *syntetický kaučuk* spojí pryže, pryže s kovy, použití pro spoje s rozdílnou délkovou roztažností spojovaných materiálů (obchodní označení: Alkaprén A 100, Chemoprén, Alkafén, Vukolep, Tirogum aj.);
- *polyesterová lepidla* spojí sklolamináty, dřevo, keramiku, kovy (obchodní označení: CHS Polyester 100, CHS Sadurit T-1, Stypol 40-6470, aj.);
- *akrylová a metakrylová lepidla* spojí kovy, reaktoplasty, keramiku, pryže (obchodní označení: Solakryl B, Umacol M3, Fimpodyn 20, Fimofix, Loctite, Agomet aj.).

Při každé aplikaci studeného lepidla se musí rozhodnout, zda bude očekávaná pevnost dostačující.

Při volbě horkého lepidla se musí dále uvážit, zda konstruktér musí (z pevnostních důvodů) a může (podle zařízení, které má k dispozici) použít lepidla, která vytvrzují za vyšších tlaků.

Musí nás také zajímat i způsob nanášení lepidla. Například fóliová lepidla se nehodí k lepení ploch se značným dvojitým zakřivením, žárové nanášení není příliš vhodné pro spojování malých částí, nanášení vysoce viskózních kapalin na velké plochy (pokud nejsou k dispozici vhodná směšovací a dávkovací zařízení) je většinou obtížné.

1.10.2 Použití

Pevnost spoje ovlivňují vlastnosti lepidla, tj. dobrá přilnavost k materiálům, jeho pružnost, tepelná roztažnost a smršťování. Větší tloušťka vrstvy lepidla způsobuje menší pevnost ve smyku a tahu. Pro epoxidy je vhodná tloušťka 0,1 až 0,7 mm, u modifikovaných epoxidů 0,1 až 0,2 mm a u fenolformaldehydových lepidel 0,05 až 0,25 mm. K dosažení dobré smáčivosti povrchů je nutno spojované povrchy upravit např. jemným soustružením, frézováním. Vhodná drsnost povrchu Ra je 0,8 až 6,3 μm . Před spojováním a nanesením lepidla je potřeba povrchy odmastit organickými odmašťovacími, příp. kyselinami.

Při použití vícesložkových lepidel musí být dodržena směrnice pro směšovací poměr a pořadí mísení jednotlivých komponent. V případě předávkování tvrdidla se zhorší pevnost spojení.

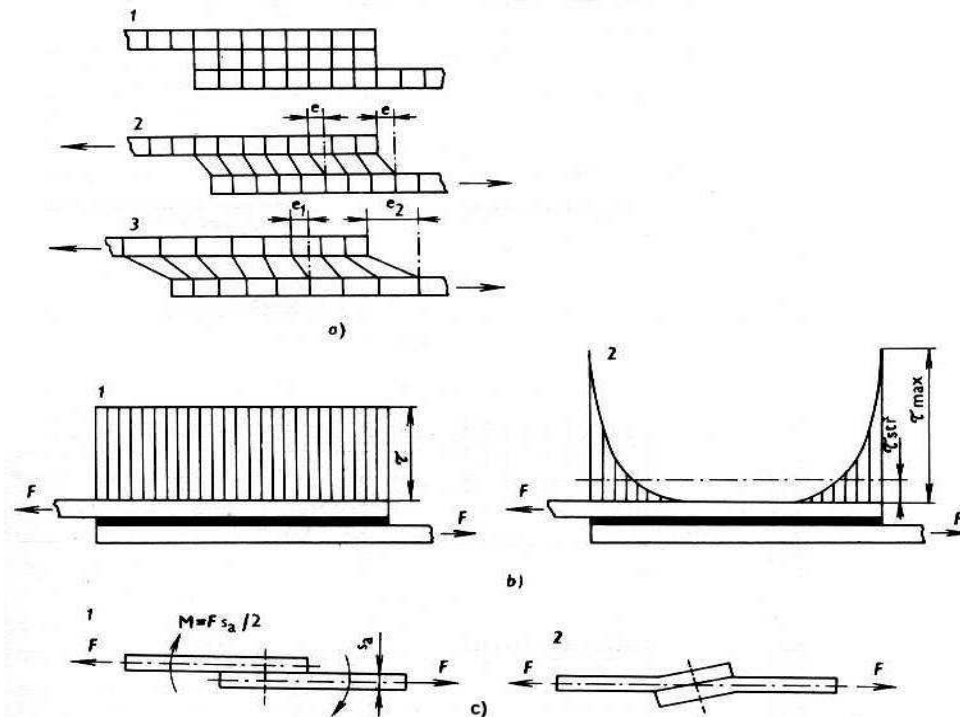
Spoj pro lepení je výhodné řešit konstrukčně tak, aby se mohla styková plocha rozšiřovat, tj. dávat přednost šikmému spoji před tupým, nebo zvětšit plochu v místě uvažovaného slepení. Snaha je, aby spoje byl namáhány smykem, protože mají největší pevnost. Není-li možné zvětšit plochu, volí se přeplátované spojení. Pevnost přeplátovaného spoje dané šířky vrůstá s délkou překrytí l jen do určité hodnoty. Vlivem nerovnoměrného rozložení napětí v lepidle může největší napětí na okrajích způsobit odlupování. Vzrůst napětí způsobuje ohybové namáhání. Je-li spoj konstrukčně proveden jako trubkový, nebo jako drážkový, potom zde odlupování nevzniká. Tloušťka vrstvy lepidla v těchto spojih je přibližně 0,1 mm, proto musí být na průměru, kde se nachází spoj, vůle 0,2 mm.

Pevnosti lepidel jsou udávány výrobcem a navzájem se liší, proto je vždy dobré ověřit si mechanické vlastnosti zkouškou na skutečně provedeném spoji.

1.11 Rozbor rozložení napětí ve spoji

Rozložení napětí bude vysvětleno pro nejběžnější případ, pro jednoduše přeplátovaný lepený spoj. Příčiny nerovnoměrného rozdělení jsou podstatě dvě.

První má svůj původ ve vytvrzování lepidla. Rovnoměrné roztahování či smršťování dokonale homogenního tělesa, například změnou teploty, nemůže vyvolat vnitřní pnutí. Naproti tomu dilatují-li dvě tělesa navzájem více či méně pevně spojená, vzniknou zbytková napětí. Při vytvrzování se lepidlo smršťuje. Určitá část smrštění proběhne ještě před ztuhnutím lepidla a neovlivní nepříznivě rozdělení napětí. Podstatná část smrštění nastane po ztuhnutí lepidla je příčinou zbytkových napětí v nezatíženém lepeném spoji. Rozdělení napětí je podobné jako na obr. 4.



Obr. 4. a) Průběh deformace jednoduše přeplátovaného spoje po zatížení

1- Nezatížený spoj; 2 – zatížený spoj tuhých adherendů; 3- zatížený spoj elastických adherendů

b) Rozdělení napětí ve vrstvě lepidla u tuhých a elastických adherendů

1 – tuhý adherend; 2 – elastický adherend

c) Deformace spojů v důsledku ohybového momentu

1- Tuhých adherendů; 2 – elastických adherendů

Druhý příspěvek k nehomogenně napětí vzniká při zatížení spoje. V důsledku nerovnoměrné deformace neideálně tuhého plechu dochází k rozdílné deformaci lepidla, která je největší na koncích přeplátování. Má za následek přibližně hyperbolický průběh napětí po celé délce přeplátování s charakteristickými špičkami u jeho konců, které mohou být i několikanásobkem středního smykového napětí ve vrstvě lepidla $\tau_{stř} = F / bl_u$, kde F je maximální síla, b je šířka lepené plochy a l_u délka přeplátování. Zcela jiné poměry jsou u zkosených spojů. Protože špičky napětí vzniklé smrštěním lepidla jsou zanedbatelné ve srovnání se špičkami napětí vzniklými při zatížení spoje, roste u zkosených spojů únosnost až na hranici pevnosti materiálu takřka lineárně.

Vlivem nesymetricky působících sil je lepený spoj navíc namáhán ohybovým momentem, který vyvolává na koncích přeplátování ve vrstvě lepidla normálová napětí, která pevnost snižují a mají u delších přeplátování za následek ohýbání konců plechů. [2]

1.12 Různé vlivy, působící na pevnost lepeného spoje

Pevnost spoje je vlastně soubor dílcích pevností nebo složek pevnosti, jako jsou pevnosti stanovené krátkodobými zkouškami, dále pevnosti spoje při dlouhodobém statickém a dynamickém zatěžování, pevnosti při zvýšených či snížených teplotách, pevnosti při vlivu různých prostředí.

U většiny konstrukčních materiálů je nejznámější charakteristikou mez pevnosti v tahu. U lepených spojů tomu tak není. Pevnost lepidla je ve srovnání s pevností kovů malá. Aby mohlo být využito pevnosti kovového adherendu, musí být lepená plocha velká a převážná část zatížení musí působit v rovině lepené plochy tak, aby byl spoj zatěžován ponejvíce smykovým napětím. Z mnoha možných uspořádání smykově zatěžovaných lepených spojů, se nejvíce používá jednoduché přeplátování.

Rozdělení napětí v lepeném spoji je podstatně ovlivněno geometrií spoje, vlastnostmi a zejména pak deformačními vlastnostmi adherendu a lepidla. Už z toho vyplývá, že pevnost ve smyku ani zdaleka nemá tak obecnou platnost, jako například pevnost v tahu u kovů, která je do značné míry na geometrii zatěžovaných vzorků nezávislá a může sloužit k výpočtu dovoleného zatížení různých dílů. [2]

1.12.1 Vliv základních konstrukčních a technologických faktorů na únavovou pevnost spoje

Porovnáme-li geometricky stejné spoje hliníkové slitiny a oceli lepené týmž lepidlem, pak i když oba druhy spojů mají stejnou statickou pevnost ve smyku, přenesou spoje oceli při únavové zkoušce při stejném počtu cyklů vyšší zatížení než spoje hliníkových slitin.

To lze vysvětlit tím, že u spojů oceli je vrstva lepidla méně deformována, protože ocel má vyšší modul pružnosti než hliníkové slitiny. Deformace plechu vyvolává deformaci vrstvy lepidla, která je po délce přeplátování rozdělena nerovnoměrně. Při statických zkouškách spojů oceli jsou deformace lepidla, a tím i smyková napětí ve vrstvě lepidla menší a jsou rozdělena rovnoměrněji, než je tomu u hliníkových slitin. Po každém zatížení zůstává ve

vrstvě lepidla zbytková deformace a tyto jednotlivé deformace se při únavových zkouškách postupně sčítají. U ocelí jsou tedy celkové deformace menší než u hliníkových slitin a to má za následek, že kritické deformace je dosaženo později a spoje oceli mají větší životnost než staticky rovnocenné spoje hliníkových slitin.

Lepení se dá zvýšit i únavová pevnost nýtovaných spojů, a to nalepením pásů podél hran nýtování. [2]

1.12.2 Vliv vysokých a nízkých teplot na pevnost lepených spojů

Přestože není obecné zhodnocení vlivu teploty na pevnost lepených spojů možné, je účelné uvést aspoň přibližně platná pravidla, a to pro běžná konstrukční lepidla, která nejsou určena speciálně pro práci za vysokých teplot.

- a) Pevnost ve smyku od teploty 20 °C do teploty 40 až 50 °C u některých lepidel nejprve stoupá, teprve pak začíná klesat. Kritický pokles pevnosti všech lepidel bývá obvykle v rozmezí teplot 60 až 100 °C.
- b) Pevnost v odlupování obvykle zpočátku se stoupající teplotou roste. Naopak pod teplotou 20 °C se může snižovat.
- c) Rázová pevnost epoxidových a fenolformaldehydových lepidel dosahuje obvykle maxima v rozmezí 20 až 40 °C, u lepidel metakrylátových pak obvykle při teplotě 80 °C. U všech lepidel dochází k význačnému poklesu rázové pevnosti v rozmezí +20 až -10 °C.
- d) U nižších hladin zatížení se rychlost creepu lepených spojů za zvýšených teplot po určité době snižuje. Pevnost při dlouhodobém zatížení lepených spojů ve smyku je snižována působením vlhkosti.
- e) Závislost pevnosti ve smyku na délce přeplátování má za zvýšených teplot jiný průběh než za teploty laboratorní. Zatímco u malých délek přeplátování pevnost ve smyku s teplotou klesá, u větších délek přeplátování tomu tak být nemusí. [2]

1.12.3 Vliv prostředí na pevnost lepených spojů

Někdy můžeme najít ve starší literatuře značné výhrady, zejména k odolnosti lepených spojů proti vodě. Dnes se dá říci, že tyto obavy nebyly zcela opodstatněné. I když dále uvedené údaje nelze považovat za konečné řešení, vystihují současný stav znalostí.

Při ponoření lepených spojů do vody můžeme pokládat její vliv za difúzní proces. V lepidlu se ustaví po určité době rovnováha (maximální nasycení).

Pokud dojde vlivem prostředí (např. vlivem vlhkosti) ke snížení pevnosti spoje, je tato změna nevratná, nelze ji odstranit vysoušením spoje. [2]

1.13 Výhody a nevýhody lepeného spoje

Při spojování kovů a nekovů ve strojírenské výrobě (např. při výrobě letadel, automobilů, strojů, nádrží) bývají používána často syntetická lepidla. Lepení zřetelně snižuje náklady na výrobu, neboť spojované součásti nemusí být vyrobeny tak přesně, a zhotovení spoje je i časově výhodné.

Lepené spojení se s výhodou používá při opravách poškozených kovových součástí, kde spojení kovů s nekovy (např. s dřevem, sklem, fibrem), vzhledem k těsnosti spoje i k výrobě nádrží. Lepením se nezeslabuje místo spojení z hlediska tvarové pevnosti, nevytváří se vruby a nejsou podstatně ovlivňovány mechanické vlastnosti spojovaných součástí. V některých případech může mít lepený spoj i vyšší pevnost než spoj provedený jinou technologií (např. nýtováním). Lepení zvyšuje odolnost proti korozi (je těsný). Podle požadavku může nebo nemusí být lepený spoj tepelně či elektricky vodivý.

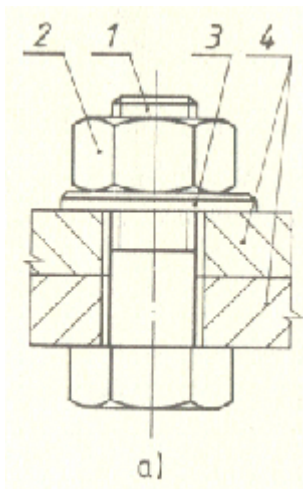
Nevýhodou lepených spojů je obtížná kontrola jejich vlastností, sklon ke stárnutí nebo tečení, malá odolnost proti odlupování a proti zvýšené teplotě.

2 ŠROUBOVÉ SPOJE

Šroubové spoje patří mezi nejstarší a nejpoužívanější rozebíratelné spoje. Používají se všude tam kde potřebujeme pevně spojit dvě nebo několik součástí a kdykoliv je podle potřeby opět rozpojit, aniž se přitom poškodí spojované nebo spojovací části. Šroubové spoje se vyskytují prakticky u všech stojů a strojních zařízení. Typický příklad šroubového spoje je na obr.5 . Šroubový spoj je tvořen šroubem, maticí a podložkou, která však není nezbytně nutná. Někdy je matice nahrazena závitem, vyřezaným přímo v jedné ze spojovaných částí. Mezi hlavou šroubu a maticí jsou pevně sevřeny spojované části.

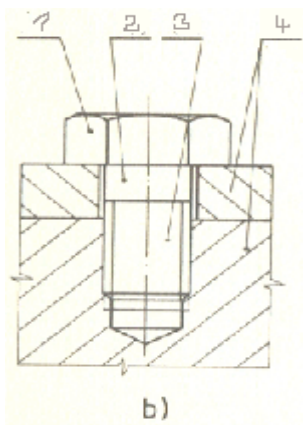
Podstatou funkce šroubových spojů je silový styk mezi spojovanými částmi, který se vytvoří v důsledku utažení šroubu nebo matice. Šroubové spoje tedy patří mezi spoje se silovým stykem. Utažený šroubový spoj může přenášet vnější silové zatížení působící ve směru osy šroubu i kolmo k této ose.

2.1 Základní druhy šroubových spojů



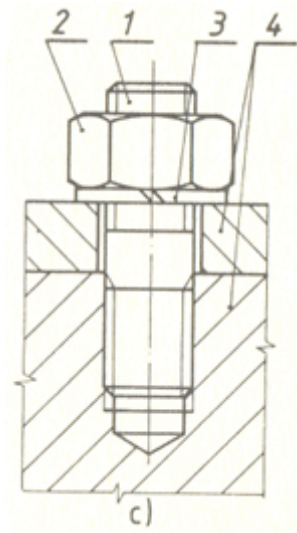
a) Spoj průchozým šroubem s hlavou a maticí

1. šroub se šestihranou hlavou
2. matice
3. podložka
4. spojované součásti



b) Spoj zašroubovaným šroubem s hlavou

1. hlava šroubu
2. dřík
3. závitová část dříku
4. spojované součásti



c) Spoj závrtným šroubem a maticí

1. závrtný šroub
2. matice
3. pružná podložka
4. spojované součásti

Obr. 5. Typické příklady šroubových spojů

2.2 Podle účelu použití rozeznáváme šrouby

- 1) spojovací nebo upevňovací, které slouží k rozebíratelnému spojení nebo připevnění jednodušších strojních součástí. Tyto šrouby jsou normalizovány a jsou nejčastěji používané.
- 2) pohybové nebo hnací, které slouží k přeměně otáčivého pohybu na posuvný (k přeměně kroutícího momentu v osovou sílu). Aby se mohla jejich funkce zajistit, tyto šrouby mají větší úhel stoupání, větší počet chodu a jiný meridiánový profil.
- 3) pro zvláštní účely a závitové spoje, sloužící k nastavení poloh, jako dorazy, rozpínací šrouby; závitové spoje se vytváří vyřezáním závitů přímo na spojovaných částech.

Hlavní částí nepoužívanějších spojovacích šroubů jsou hlava, dřík a závitová část. Závit je vytvořen na svorníku šroubu závitovým profilem (trojúhelník, čtverec, půlkružnice, lichoběžník atd.) vinutým ve šroubovici. Daný profil závitů leží v rovině, která prochází osou šroubu a pohybuje se kolem jeho osy tak, že opisuje šroubovici. Názorně řečeno, navinutím pravouhlého trojúhelníku o výšce rovné stoupání a druhé odvěsně rovné obvodu svorníku na válec.

2.2.1 Spojovací šrouby

Jsou nejčastěji používaným spojovacím prvkem v technologických konstrukcích a slouží pro rozebíratelné spojení strojních součástí. Konstruktivní provedení spojovacích šroubů je rozmanité a závislé na účelu použití, velikosti a tvaru spoje, materiálu šroubů a spojova-

ných částí, na možnostech pojištění šroubů atd. V technologických konstrukcích se nejčastěji používají tyto šrouby:

Šrouby s hlavou (a s maticí) – jsou nejrozšířenějším druhem spojovacích šroubů. Běžně používané šrouby mají hlavu šestihrannou, ale i čtyřhrannou nebo tvaru T, válcovou, kuželovou, půlkulovou čočkovou.

Další konstrukce, která se v praxi velmi často používá je závrtný šroub. Závrtný šroub s hlavou se používá v případech, kdy není možné ve spojované součásti (např. vnitřní přetlak) provrtat díru přes celou tloušťku stěny, a nebo je-li stěna příliš tlustá, takže není možné provést spoj šroubem s hlavou a maticí.

Pro různé druhy materiálů jsou rozhodující závrtné délky b , aby se šroub při zatížení osovou silou nevytrhl ze závitu spojovaného materiálu. Délku závrtného konce volíme $b \geq d$ – pro ocel, $b \geq 1,25d$ – pro šedou litinu, $b \geq 2d$ – pro měkké materiály (měď, Al – slitiny). Velikost průměru má značný vliv na únosnost spoje při dynamickém namáhání. Do měkkých nebo velmi křehkých materiálů, z nichž by se vyřezaný závit snadno vytrhl, vkládáme závitové vložky, a to buď souosé se šroubem (zavrtané nebo zalisované) nebo kolmo k ose šroubu, které se ke spojení závitu se zavrtaným šroubem zasunují bočním otvorem. Závrtný šroub s maticí se také používá při spojování součástí z křehkých materiálů a obzvláště tehdy, jestliže se předpokládá spoj častěji demontovat (víka převodových skříní, žárové hlavy bloků spalovacích motorů). Jeho výhoda, spočívá v tom, že se při demontáži spoje neuvolňují šrouby ze závitového otvoru, ale pouze matice. Šroub má závity na obou koncích svorníku. [4]

2.3 Závity a druhy závitů

Závit je nejdůležitějším funkčním prvkem každého šroubu i matice. V podstatě se jedná o nakloněnou rovinu, navinutou na vnější válcovou plochu šroubu nebo vnitřní válcovou plochu otvoru matice. Závit má tvar šroubovice.

Podle použití jsou závity: spojovacích šroubů, ke spojování trubek, pohybových šroubů a závity pro zvláštní účely.

Závity se zhotovují těmito způsoby:

-ručním řezáním pomocí závitových čelistí a závitníků (při kusové výrobě),

- soustružením na soustruzích nebo speciálních závitořezech obráběcích strojů (v sériové výrobě),
- frézováním na speciálních závitořezných frézkách (závity přesné a závity velkých rozměrů),
- válcováním na speciálních automatech (v hromadné výrobě),
- odléváním ve speciálních licích formách (závity na odlitcích z litiny, skla a plastů),
- vytlačováním na speciálních lisovacích strojích (závity na součástkách z plechu). [5]

2.3.1 Závity spojovacích šroubů

Pro spojovací šrouby se nejčastěji používají trojúhelníkové profily (rovnoramenný nebo rovnostranný trojúhelník) se skoseným vrcholem.

Nejpoužívanější jsou tyto závity:

- *Metrický závit* má vrcholový úhel trojúhelníku $\alpha = 60^\circ$, rozměry se udávají v mm; je určen velkým průměrem závitu šroubu a matice (jsou stejné). Označení je podle velkého průměru, např. M12, M24. Podle různého stoupání se rozlišují závity *hrubé řady A* a *jemné řady B až E*.

Jemné metrické závity mají šrouby používané např. v leteckém a automobilovém průmyslu, jemné mechanice, elektrotechnice, na hřídelích (z pevnostních důvodů). Při jejich označení nestačí udávat velký průměr závitu, udává se i stoupání, např. M12 x 1,5 (řada B).

- *Whitworthův závit* má vrcholový úhel trojúhelníku $\alpha = 55^\circ$, rozměry se udávají v palcích (1" = 25,4 mm); označuje se např. W1/2. U těchto závitů je stoupání udáváno počtem závitů na 1palec. Vyskytuje se na šroubech dovezených strojů, u nás se běžně na spojovací šrouby nepoužívá. [3]

2.3.2 Závity pro spojování trubek

Ke spojování trubek je možno použít *trubkový závit*, který má vrcholový úhel trojúhelníka $\alpha = 55^\circ$ a profil shodný s Whitworthovým závitem. Liší se od něho jemnějším stoupáním. Závit je vytvořen na povrchu trubky, který může být *válcový* nebo *kuželový*. Trubkový závit válcový (pro spoje netěsnící na závitech) se označuje např. G 3/8, kuželový (pro spoje

těsnicí na závitech) se označuje na vnější straně např. R 1", na vnitřní straně např. Rc 1". Označení představuje druh závitu a jmenovitou světlost trubky.

Kuželový závit je vyříznut na kuželovém konci trubky, kuželovitost bývá 1 : 16, stoupání se měří rovnoběžně s osou závitu. Osy vrcholových úhlů jsou kolmé k ose závitu. Velký průměr se u kuželového závitu měří v určité – normou stanovené – vzdálenosti od čela trubky. Kuželový závit lze použít ve spojení s válcovým závitem nátrubku, čímž se dosáhne lepší těsnosti spoje. [3]

2.3.3 Závity pro zvláštní účely

V našich normách jsou též jiná provedení závitů:

- *závit pro vruty* (šrouby do dřeva) má z důvodu rozdílné pevnosti dřeva a oceli větší stoupání než je jeho výška;
 - *pancéřový závit* slouží ke spojování trubek v elektrotechnice, vrcholový úhel profilu $\alpha = 80^\circ$;
 - *závit pro izolátory* z porcelánu pro elektrotechnické účely má pouze jedno stoupání, rozteč $P = 1/6"$;
 - *Edisonův závit* se používá pro patice a objímky žárovek – v podstatě je proveden jako oblý závit se společným profilem pro šroub i matici;
 - *Závit pro pojistky* je oblý závit s vrcholovým úhlem $\alpha = 60^\circ$ a $\text{ØD} = 16$ a 21 mm, používá se též v elektrotechnice;
 - *Závit pro ochranná skla* svítidel má $\text{ØD} = 74,5$ až 188 mm, vrcholový úhel profilu závitu šroubu $\alpha = 50^\circ$ a matice $\alpha = 35^\circ$. Má kromě vrcholové vůle též boční vůli.
- [3]

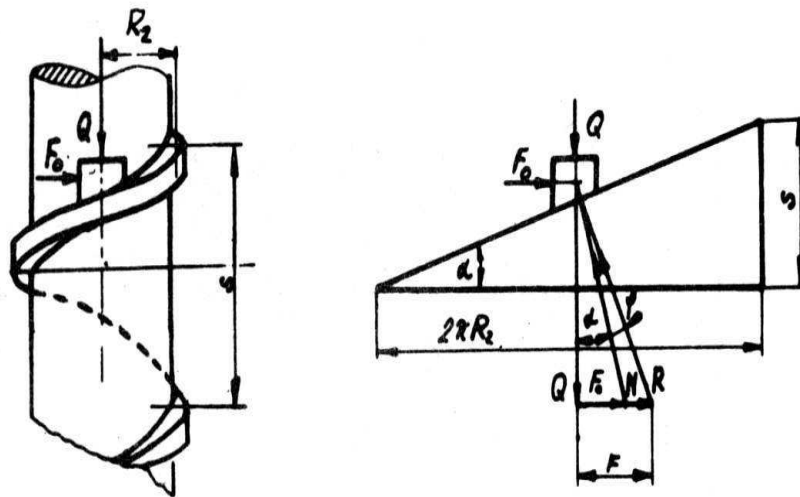
2.4 Materiál šroubů

Spojovací šrouby a matice jsou nejčastěji z ocelí různých pevností a druhů – záleží na účelu, druhu namáhání a provedení šroubu. Jejich mechanické vlastnosti jsou stanoveny normou. Pro spojovací šrouby jsou vhodnější oceli s vyšší mezí pružnosti. Možno volit konstrukční uhlíkové oceli 11 341 až 11501 nebo ušlechtilé uhlíkové oceli 12 040 a 12 050. Pro zvláště namáhané šrouby, které jsou vystaveny vysokým provozním teplotám, se volí

ušlechtilé slitinové oceli s pevností 800 až 1 200 MPa; jsou to oceli 13 240, 15 230, 16 521 apod. Drobné málo namáhané šrouby, se vyrábějí často z ocelí 11 107 až 11 120. Šrouby a matice, které jsou vystaveny chemickým účinkům, jsou z korozivzdorných materiálů – buď korozivzdorné oceli třídy 17, nebo mosazi 42 3213, 423223. Pro letecký průmysl bývají nejčastěji ze slitin hliníku. Pro zvláště agresivní prostředí a málo zatížené spoje je možno vyrobit šrouby a matice i z plastů. [3]

2.5 Silové poměry na šroubu

Rozvinutím závitu do roviny dostaneme pravoúhlý trojúhelník, na kterém provedeme základní výpočet, viz obr. 6.



Obr. 6. Síly působící na šroubu

Za jedno otočení se zdvihne břemeno Q o výšku stoupání závitu s . Závít a dřík šroubu zatěžuje břemeno Q , které se při pohybu šroubu (matice) pohybuje po nakloněné rovině a to se při utahování šroubu zdvihá, při uvolňování šroubu klesá. Za podmínek rovnováhy břemen a působící síly F_o platí rovnice:

Vlivem tření se odkloní reakce R o úhel φ a skutečná hnací síla, potřebná pro pohyb šroubu proti smyslu síly Q je:

$$F_o \cdot 2\pi R_2 = Q \cdot s$$

$$F_o = \frac{Q \cdot s}{2\pi R_2} = Q \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Úhly α, φ jsou malé a proto můžeme uvažovat (f je součinitel tření v závitech):

$$F = Q \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (4)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \alpha + f \quad (5)$$

Účinnost šroubu je dána poměrem ideální síly F_0 ke skutečné síle F a stoupá se zvětšujícím se úhlem stoupání α :

$$\eta = \frac{F_0}{F} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha + f} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha + \varphi} \quad (6)$$

2.5.1 Samosvornost šroubu

Při různé velikosti úhlů α a φ jsou šrouby:

- *Samosvorné*, je-li $\alpha > \varphi$; hnací síla má zápornou hodnotu, šroub se nemůže působením síly Q samovolně pohybovat dolů.
- *bez působení síly*, je-li $\alpha = \varphi$; na šroub nepůsobí hnací síla.
- *Nesamosvorné*, je-li $\alpha < \varphi$; šroub se může vlivem působící síly Q samovolně pohybovat dolů a hnací síla má kladnou hodnotu.

2.5.2 Výpočet šroubu namáhaných osovou silou

Působí-li stálá a neproměnná síla na šroub v jeho ose, počítáme jeho zatížení ze statické pevnosti. Působí-li proměnlivá síla, vycházíme z únavové pevnosti.

1. Šroub nebo matice se utahuje v nezatíženém stavu a při působení osově síly F je šroub namáhan prostým tahem.

$$F \geq S \cdot \sigma_{Dr}$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (7)$$

2. Šroub nebo matice se utahují silou určité velikosti a působí-li na šroub osová síla F a utahujeme je, je namáhán na tah a na krut.

- Namáhání v tahu:

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2} \quad (8)$$

- Kroutící moment:

$$M_k = F \cdot \frac{D_2}{2} (\operatorname{tg} \alpha + f') \quad (9)$$

- Tečné napětí:

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F \cdot \frac{D_2}{2} (\operatorname{tg} \alpha + f')}{0,2d_3^3} \quad (10)$$

3. Šroubový spoj s předpětím, představuje většinu spojů se spojovacími šrouby, zatížených stálou proměnlivou anebo střídavou silou. Při montáži se šrouby utáhnou tak, aby v nich vzniklo určité předpětí F_o , které působí v dotykové ploše spojených částí plošný měrný tlak p .

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1} = \frac{\sigma}{E} = \frac{F_o}{S_1 \cdot E} \quad (11)$$

$$\Delta l_1 = \frac{F_o \cdot l_1}{S_1 \cdot E} = C_1 \cdot F_o$$

2.5.3 Výpočet šroubu namáhaných silou působící kolmo k ose šroubu

Při utahování šroubů vycházíme z předpokladu, že osová síla ve šroubu zajistí přenos zatěžujících sil třením čel spojovaných součástí. Pokud tato podmínka není splněna musíme provést tvarové úpravy.

Při klidném zatížení zachytí šroubový spoj silu F kolmou k ose šroubu tření, která vzniká ve stykové ploše sevřených částí utažením šroubu. Šroub je potom namáhán na tah a počítá se jako spojovací šroub s předpětím pro osovou silu:

$$F_1 = \frac{n \cdot F}{f} \quad (12)$$

Součinitel bezpečnosti n se volí $n > 2$ a součinitel tření f se volí podle drsnosti povrchu většinou $f = 0,1 - 0,25$.

3 MECHANICKÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ

Při volbě materiálu pro výrobu různých součástí a zařízení se ohlížíme na jeho vlastnosti, které by danému použití materiálu mely vyhovovat. Vedle technologických, fyzikálních a chemických vlastností jsou to především vlastnosti mechanické, které jsou celkem čtyři:

- pružnost,
- elasticita,
- pevnost,
- houževnatost.

Mechanickým zkoušením materiálu získáváme materiálové charakteristiky. Tyto materiálové charakteristiky jsou číselné hodnoty, které kvantifikují určitou vlastnost materiálu a určují se experimentálně.

Využívají je:

- výrobci konstrukčních a strojírenských materiálu (metalurgové, výrobci plastu, pryží, stavebních hmot apod.),
- konstruktéři,
- technologové výrobních postupu.

Všechny tyto tři profesní skupiny inženýrů ke své práci nejčastěji potřebují tři typy mechanických zkoušek – zkoušku tahem, zkoušku rázem v ohybu a zkoušku tvrdosti.

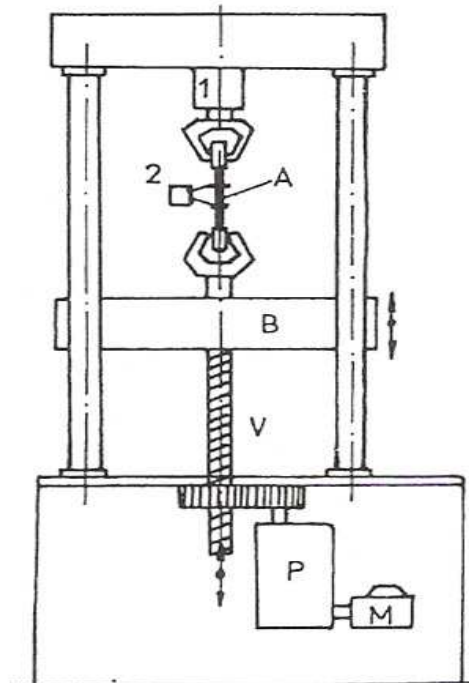
Pro mechanické zkoušky existují normy (u nás s označením ČSN), které vydává Český normalizační institut. [6]

3.1 Zkušební zařízení

Univerzální zkušební stroj, na kterém se provádějí nejdůležitější zkoušky materiálu, patří k základnímu vybavení laboratoře mechanických zkoušek. Sériově se začal vyrábět na konci předminulého století, ale princip jeho funkce zůstal zachován do dnešní doby.

Stroj tvoří pevný rám, v jehož horní části je umístěn dynamometr 1 – zařízení pro měření síly (obr. 7). Zkušební těleso A je jedním koncem uchyceno k dynamometru a druhým koncem k pohyblivému příčnicku B. Příčnick je uváděn do pohybu motorem M, přes vřeteno V a

převodovou skříň P. Při pohybu příčnicku dochází k postupnému zatěžování a deformaci zkušební tělesa. Deformace tělesa je registrována průtahoměrem 2. Vhodnou úpravou uchycení zkušební tělesa a průtahoměru se na tomto stroji provádí i ostatní mechanické zkoušky.



Obr. 7. Univerzální zkušební stroj

1 – dynamometr, 2 – průtahoměr, A – zkušební těleso, B – příčnick, V – vřeteno,

P – převodovka, M – motor

Pohon zkušebních strojů může být mechanický nebo hydraulický (stroje pro zatížení větší než 200 kN). Mechanické stroje byly původně vybaveny dynamometry, které měřily sílu na principu mechanické váhy. U hydraulických strojů se síla snímala z hydrostatického tlaku oleje v pracovním válci. Deformace se měřila při desetinásobném zvětšení pohybu příčnicku.

Měření malých deformací (citlivost 1 μm až 0,1 μm) a stejně tak i přesné měření síly umožnil až rozvoj elektroniky v padesátých letech, kdy začaly vznikat tzv. elektronické zkušební stroje. [6]

3.2 Zkouška tahem

Zkouškou tahem získáváme závislost napětí na deformaci a provádí se experimentálně na hladkých zkušebních tělesech. Zkušební těleso (jednoduchého tvaru nejčastěji kruhového či obdélníkového průřezu) uchytíme do čelistí zkušebního stroje a na těleso nasadíme průtahoměr.

Během zkoušky se na zapisovači registruje (příp. do paměti počítače ukládá) závislost působící síly F (zatížení – snímané dynamometrem) na prodloužení zkušební tyče (snímané průtahoměrem, případně určené z pohybu příčnicku zkušebního stroje).

3.2.1 Smluvní diagram napětí - deformace

Závislosti síla – prodloužení, získané na zkušebních tělesech různých velikostí zhotovených z jednoho materiálu, je možné přepočítat na jedinou závislost smluvní napětí R – poměrná deformace podle vztahu:

- smluvní napětí:

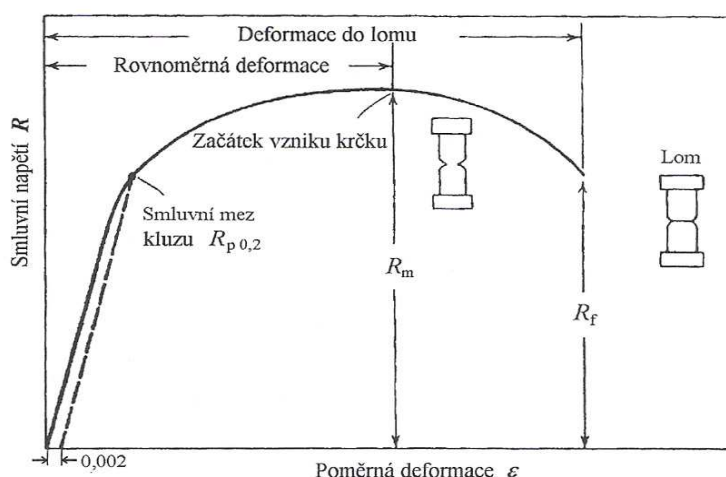
$$\sigma = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (13)$$

- poměrná deformace

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \text{ [-]} \quad (14)$$

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (15)$$

kde S_0 [mm²] je původní průřez zkušebního tělesa, L_0 [mm] je původní měrná délka zkušebního tělesa (výraz $L - L_0$ vyjadřuje přírůstek délky na L_0 a proto se často označuje ΔL).



Obr. 8. Smluvní diagram napětí - deformace

Počáteční úsek diagramu je přímkový a odpovídá elastické deformaci. V případě, že prodloužení bylo snímáno snímačem umístěným na zkušební tělese, pak tato přímka je popsána Hookeovým zákonem:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [MPa] \quad (16)$$

kde E [MPa] je modul pružnosti v tahu materiálu zkušební tyče.

Pro spolehlivý výpočet modulu pružnosti je nutné, aby zvětšení snímače bylo (500 – 1000) násobné. Je-li prodloužení zkušební tělesa odvozeno pouze z posuvu příčnicku zkušebního stroje, potom sklon počátečního úseku tahového diagramu zahrnuje vedle elastické deformace zkušební tělesa i elastické deformace zkušebního stroje (rám stroje, dynamometr, čelisti). Elastická deformace zkušebního stroje je zpravidla řádově větší ve srovnání s elastickou deformací zkušební tyče. Proto z takového záznamu nelze modul E vyhodnotit.

V další části diagramu dochází k odklonu od přímkové závislosti v důsledku vzniku plastické deformace. Přírůstek napětí v závislosti na deformaci (deformační zpevnění) postupně klesá až na nulovou hodnotu. Až do tohoto okamžiku se měrná část zkušební tyče deformuje rovnoměrně (dochází k rovnoměrnému zužování průřezu). Další deformace je provázena poklesem a vznikem krčku na měřené části zkušební tělesa. V praxi se na základě průběhu závislosti smluvní napětí – poměrná deformace vyhodnocují dvě napěťové materiálové charakteristiky: smluvní mez pevnosti a mez kluzu. [6]

3.2.2 Určení smluvní meze pevnosti

Mez pevnosti (σ_M) je nejvyšší napětí dosažené ve smluvním diagramu napětí – deformace, což je poměr hodnot maximální síly dosažené při zkoušce a původního průřezu zkušebního tělesa:

$$\sigma_M = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [MPa]} \quad [17]$$

U tvárných materiálů je mez pevnosti dána hodnotou smluvního napětí, při němž se začíná vytvářet na zkušebním tělese krček. K lomu tělesa dojde při smluvním napětí (σ_B) (lomové napětí) až po vzniku krčku. V případě, že k porušení zkušebního tělesa dojde po malé nebo nulové plastické deformaci, pak hodnota (σ_M) odpovídá napětí v okamžiku lomu (σ_B), což je lomové napětí.

Smluvní mez pevnosti se nejčastěji uvádí jako základní mechanická charakteristika určená zkouškou tahem. Ve skutečnosti tato veličina nevystihuje přesně pevnost materiálu. Pro tvárné materiály smluvní mez pevnosti vyjadřuje zatížení, které materiál přenesl za velmi přísných podmínek jednoosé napjatosti. Tato veličina prakticky nevystihuje skutečnou únosnost součástí, které jsou vystaveny působení víceosé napjatosti.

Pro výpočty součástí mnoho let tvořila základ smluvní mez pevnosti vhodně redukovaná faktorem bezpečnosti. Dnes se při výpočtu konstrukcí z tvárných materiálů využívá druhé napěťové charakteristiky – meze kluzu. Z hlediska zkušeností inženýrů z dřívějších let však smluvní mez pevnosti zůstává i v současné době v materiálových listech. Pro určení σ_M lze použít i jednodušší zkušební stroje, které nejsou vybaveny snímači prodloužení zkušebního tělesa. Existuje řada empirických korelačních vztahů mezi smluvní pevností a dalšími charakteristikami (tvrdoostí, mezí únavy apod.). [6]

3.2.3 Určení meze kluzu

Mez kluzu je napětí, při němž začíná vznikat plastická deformace. Podle (obr. 8) bychom měli považovat za mez kluzu napětí, při kterém dochází k odklonu diagramu od přímky. Takto zjištěná hodnota meze kluzu by však byla závislá na citlivosti snímače prodloužení. Proto se zavádí smluvní mez kluzu (σ_y) [MPa], což je napětí, které vyvolává plastickou deformaci o velikosti $\varepsilon = 0,002$ (0,2 %). I v tomto případě je nutné při měření tahového

diagramu použít snímače prodloužení. Ve srovnání s měřením modulu pružnosti E však zvětšení snímače může být o řád menší (50 – 100 násobné). Ze záznamu napětí – deformace hodnotu meze kluzu (σ_y) určíme následujícím postupem. Na ose poměrných deformací vyznačíme hodnotu deformace 0,2 %. Tímto bodem vedeme rovnoběžku s přímkovou částí tahového diagramu. Bod, kde protíná rovnoběžka závislost napětí – deformace, je napětí smluvní meze kluzu (σ_y).

3.2.4 Určování deformačních charakteristik

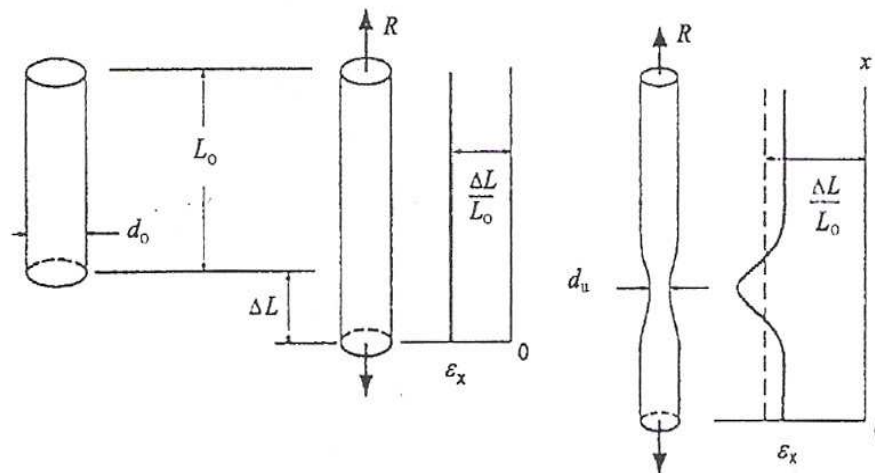
Vedle uvedených dvou napěťových charakteristik meze pevnosti a meze kluzu, které určíme ze záznamu síla – prodloužení zkušební tělesa jsou v materiálových listech ještě další dvě charakteristiky A a Z , které určujeme pouze na základě rozměru zkušební tyče před a po zkoušce. Jedná se o deformační charakteristiky tažnost A a zúžení Z . Před zkouškou na rovnoměrné části zkušební tyče vyznačíme ryskami vzdálenost L_0 . Po přetržení obě částí tyče přiložíme lomovými plochami těsně k sobě a změříme vzdálenost rysek L_u a průřez tyče S_u v místě lomu. Deformační charakteristiky vypočteme ze vztahů:

$$A = 100 \cdot \frac{L_u - L_0}{L_0} [\%] \quad (18)$$

$$Z = 100 \cdot \frac{S_u - S_0}{S_0} [\%] \quad (19)$$

pro kruhovou tyč:

$$Z = 100 \cdot \frac{d_0^2 - d_{u_u}^2}{d_0^2} [\%] \quad (20)$$



Obr. 9. Schéma určování tažnosti

Měření hodnot A i Z provádíme na přetržených, tj. nezatížených zkušebních tělesech, a proto tyto materiálové charakteristiky souvisí pouze s plastickou deformací zkoušeného materiálu.[6] Z důvodu časové závislosti deformačního chování se tažnost a zúžení u plastů nevyhodnocuje.[10] Praktické provedení zkoušky u plastů je stejné jako u materiálů kovových. U kovů se pro napětí používá symbolu R, kdežto u plastů se napětí označuje σ . Průběh tahových diagramů je na rozdíl od kovů silně závislý na teplotě a čase.[10] Při krátkodobém namáhání se zanedbávají relaxační děje plastů. [9]

3.3 Speciální zkouška smykem lepených spojů

Tato zkouška byla navržena na UTB FT UVI. Zkušební tělesa jsou vyráběna obráběním-soustružením z tyčových polotovarů zvolených polymerních materiálů.

Tvar a rozměry zkušebního tělesa ukazuje obr. 10.

Lepidlo se nanese na válcovou část o $\varnothing 5\text{mm}$ a délky 20mm. Poté dojde k vytvoření lepeného spoje zasunutím protikusů (část 1 do části 2) zkušebního tělíska. Při zkoušce je toto zkušební tělíska upnuto do čelistí zkušebního stroje a spleené části jsou od sebe příčnickem stroje odtaženy. Lepený spoj je tedy namáhán smykovým napětím a toto napětí, potažmo mez pevnosti spoje ve smyku určíme dle vztahů:

$$\tau = \frac{F}{S_V}; \quad \tau_M = \frac{F_{\max}}{S_V} \text{ [MPa]} \quad (21)$$

$$\text{kde: } S_V = \pi \cdot d \cdot L$$

kde S_v je plocha válce , na kterém je naneseo lepidlo.

Poměrné prodloužení ε zkušebního tělesa je měřeno extenzometrem Macro univerzálního zkušebního stroje ZWICK 1456 na počáteční měřené délce L_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} [-] , \quad (22)$$

kde ΔL je zvětšení délky zkušebního tělesa mezi značkami vyznačujícími počáteční měřnou délku $L_0=20\text{mm}$.

Modul pružnosti ve smyku G je pak určen ze vztahu:

$$G = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} [\text{MPa}] \quad (23)$$

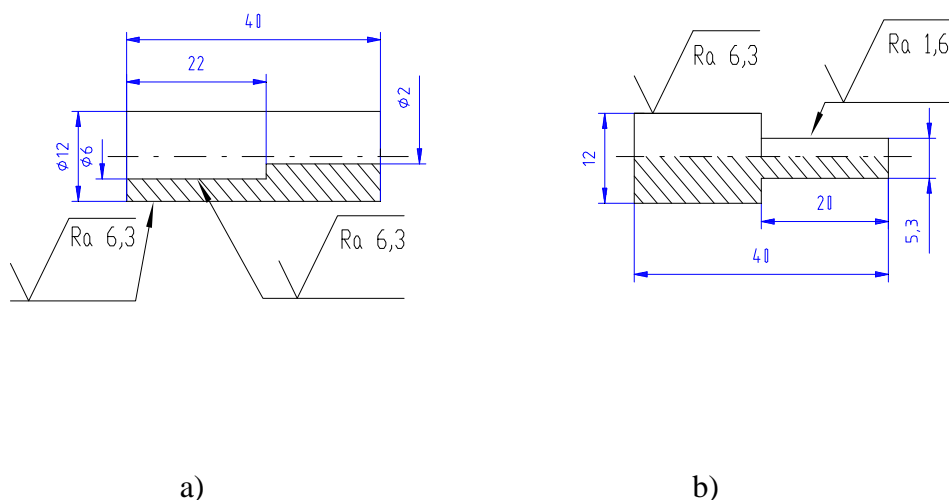
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PRO ZKOUŠKU SMYKEM

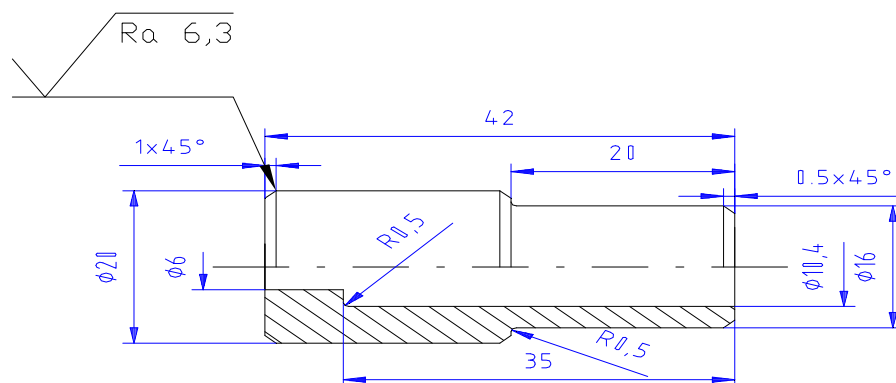
Pro zkoušku lepených spojů smykem byly vyrobeny zkušební tělíska z těchto zvolených polymerních materiálů: Polypropylen - PP, Polyvinylchlorid - PVC, Polyamid - PA, Teflon - PTFE a Textit J. Materiály vzorků patří do skupiny termoplastů, pouze textit je reaktoplast. U zkušebních tělísek, které byly určeny ke spojení šroubem byly vyvrtány otvory o $\varnothing 3,2$ mm a následně sešroubovány s kovovým držákem šroubu. Zkušební tělíska pro spojení lepidlem se skládala ze 2 vzájemných protikusů- díry a hřídele.

4.1 Příprava zkušebních tělísek a spojení lepením

Z, v předchozí kapitole, uvedených polymerních materiálů byly zakoupeny polotovary kruhového průřezu z firmy VM Plast s.r.o. Připravily se dva druhy zkušebních tělísek, a to pro spojení šroubem a pro spojení lepidlem. Zkušební tělíska pro lepené spoje byla obráběna na dílenském universálním hrotovém soustruhu TOS ŽEBRÁK S32, viz obr. 12. Rozměry a tvar obou částí zk. tělíska je patrný z výrobního výkresu, viz. obr. 10. Lepidlo se nanášelo na válcovou plochu hřídele $\varnothing 5,3$ mm. Zasunutím obou částí zk. tělíska do sebe došlo ke spojení. Vytvrzování lepidla probíhalo při teplotě $T=23$ C po dobu uvedenou v návodu příslušného lepidla. Pro zkušební těleso spojené šroubem byl použit šroub do plechu s půlkulatou hlavou a křížovou drážkou: ŠROUB ST 4,8x25ISO 7 049-C-Z. Rozměry a tvar držáku šroubu z oceli 11600 jsou patrné z výrobního výkresu, viz obr. 11.



Obr. 10. Zkušební tělíska : a) 1. část, b) 2. část



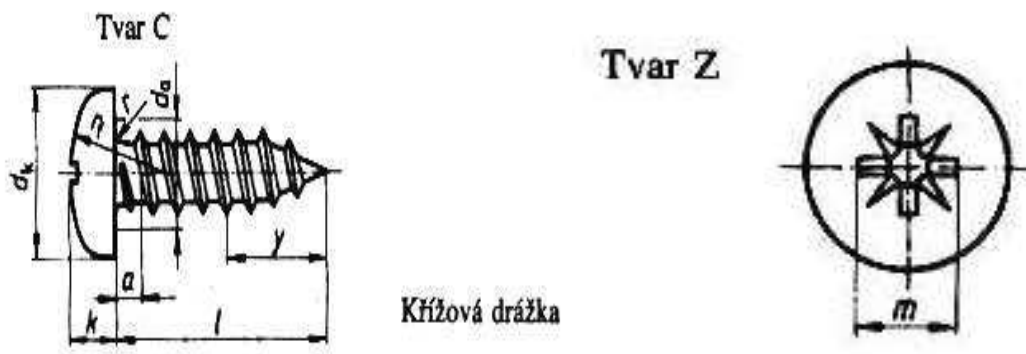
Obr. 11. Tvar držáku šroubu



Obr. 12. universální hrotový soustruhu TOS ŽEBRÁK S32

Technické parametry: otáčky 20 – 3200 ot/min, počet rychlostí 3 x 18, točný průměr - 190 mm, vzdálenost mezi hroty – 750 mm.

Počet rychlostí 3 x 18



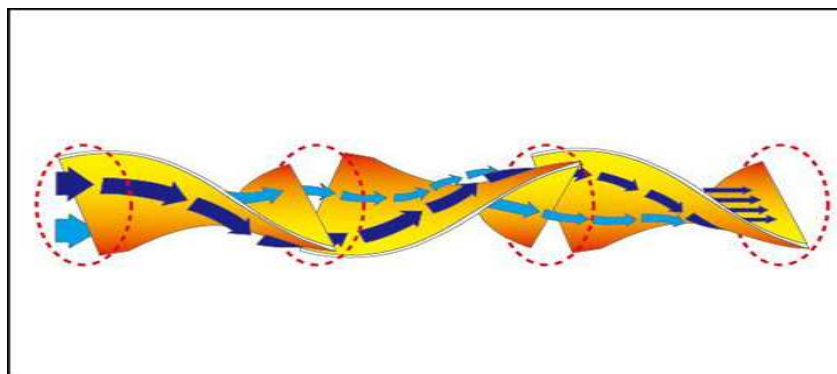
Obr. 13. Šroub ST4, 8x25 ISO 7049 – C - Z

Spojení šroubem a lepidlem se provádělo ve školních dílnách.

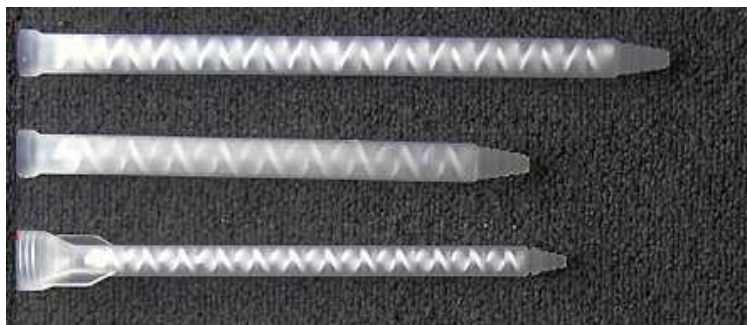


Obr. 14. Vyláčovací pistole

Aplikace dvousložkových lepidel byla prováděna vyláčovacími pistolemi, viz obr. 14. Pro dosažení dokonale homogenní směsi byl použit statický mixer, který byl připevněn na výústění pistole. Na obr.15 je znázorněno schéma principu statického mixeru, na následujícím pak samotný statický mixer.



Obr. 15. Schéma principu funkce statického mixeru



Obr. 16. Statický mixer

4.2 Charakteristika zkoušených materiálů

4.2.1 Polypropylen (PP)

Vyrábí se radikálovou nebo kationtovou polymerací propylenu, čímž se získá nížemolekulární ataktický produkt měkkého parafinického až blátivého charakteru. Pomocí přítomnosti katalyzátorů Zieglerova typu vzniká z monomeru vysokomolekulární, vysoce krystalický izotaktický polypropylen.

Teplota tání čistého izotaktického polypropylenu je 176 °C. Pokud budeme polypropylen srovnávat například s lineárním polyethylenem zjistíme, že PP má vyšší teploty měknutí, nižší hustotu, menší odolnost vůči mrazu, oxidaci, a povětrnosti, ale na druhé straně větší pevnost, tvrdost, a odolnost vůči oděru.

Polypropylen se zpracovává zejména vstřikováním a vyfukováním na menší a duté předměty, vytlačováním na trubky, desky, profily, výtlačným vyfukováním na fólie. Díky jeho lepším mechanickým vlastnostem se více využívá na součásti strojů a přístrojů (např. v automobilovém a spotřebním průmyslu).

4.2.2 Polyvinilchlorid (PVC)

Je jedním z nejdůležitějších termoplastů. Má pro nás řadu výhodných vlastností a má malé výrobní náklady. Žádný jiný plast nemá tak široké možnosti využití – používá se k opláštění kabelů, pro výrobu potrubí, ubrusů, okenních rámců atd. Jeho celkový podíl na produkci plastů činí od 15 do 22 %.

Tvrký PVC- je tvarovatelný při teplotě vyšší než-li 150°C, vyrábí se z něj fólie o tloušťce od 0,08-0,6 mm, trubky ty je možno používat krátkodobě při teplotách okolo 85°C, pro

dlouhodobé používání se doporučují teploty do 60°C, nevýhodou, nijak neupraveného tvrdého PVC, je používání při teplotě -20°C a méně, při takto nízké teplotě PVC krystalizuje a stává se křehkým. Z tvrdého PVC se vyrábějí i vlákna, ze kterých se vyrábí filtry, síta a žíně. V České republice se tvrdý PVC distribuuje pod názvem Novodur.

Měkký PVC- V České republice se měkký PVC distribuuje pod názvem Novoplast. PVC se změkčuje přidáním změkčovadel, emulgátorů, maziv, barviv atd. Používá se na výrobu fólií, desek, různých drobných předmětů. 1/3 u nás vyrobeného měkkého PVC se zpracovává na pastu. Při výrobě výrobků z pasty se používají dva způsoby a to za studena nebo za tepla. Za studena: nezahřátá forma se ponoří na delší dobu do pasty, takto vzniká vrstva tlustá přibližně 0,3- 0,6 mm, takto získaný výrobek má vysokou viskozitu. Za tepla: forma se zahřeje na teplotu 90°C-120°C. Výrobky se po poměrně krátké době vytáhnou.

Takto vznikají například ochranné rukavice, holinky aj.; nanášením pasty na textilní tkaninu, a následnou želatinací, vyrábí PVC koženky. Odléváním pasty se vyrábí hračky a míče; v automobilovém průmyslu se PVC- plastisoly používají pro nátěry spodků automobilů (0,1-1mm), vzniká tak ochranná vrstva proti korozi a oděru. Dále se používá jako ochrana ventilátorů vystavených korozním dýmům, pak k ochraně kádí a držáků používaných v galvanoplastice.

Lehčený PVC- lehčeným se myslí PVC uměle napěněné napěňovadly jako je například hydrogenuhličitanvápenatý NaHCO₃ nebo příměsí jiných polymerů, v závislosti na tlaku je možno připravit polymer s otevřenými nebo zavřenými póry. Lehčené plasty se dělí na lehčené tvrdé a lehčené měkké. Lehčené tvrdé PVC lze opracovávat jako dřevo, používají se v nábytkářství a ve stavebnictví. Lehčené měkké PVC se používá na těsnění, polštářování a obkládání.

Houževnatý PVC- pro mnohé oblasti použití, zvláště při nízkých teplotách, není houževnatost PVC dostačující, který je okolo teploty 20°C křehký. Jeho houževnatost lze zvýšit buď kopolymerací nebo přísadou polymerů s dostatečně nízkou teplotou skelného přechodu. Rozhodující pro zvýšení houževnatosti je to, že obě složky mají jen omezenou hranici snášlivosti. Při úplné snášlivosti se směs stává měkkou, naopak je-li směs zcela nesnášlivá výsledná směs je křehká.

4.2.3 Polyamid (PA)

Jsou to vlákna z lineárních makromolekul, v jejichž řetězcích se opakují funkční amidové skupiny (viz karbonylová skupina).

Z mnoha druhů se při výrobě vlákna v širším měřítku uplatnily jen dva. Výchozí materiál pro oba druhy je ropa, ze které vznikají chemickým procesem základní suroviny:

- u polyamidu typu 6 (např. český silon) kaprolaktam a
- u typu 66 (např. nylon), tzv. AH sůl.

Tavenina z těchto sloučenin prochází tryskami, vznikající vlákno se dlouží a případně (při výrobě polyamidové stříže) obloučkuje. Nejznámější formy výrobků jsou: hedvábí (jako monofil nebo poltil), stříž, vlasce, žíně.

Jediný větší rozdíl ve vlastnostech obou základních typů je, že PA 66 měkne a roztavuje se při vyšších teplotách než PA 6. Polyamidy jsou velmi pružné a mají vysokou pevnost v tahu a v oděru. Poměrně nepatrné přijímání vlhkosti způsobuje, že výrobky z polyamidu se nesrážejí, za mokra ztrácejí poměrně málo pevnosti a rychle schnou. Polyamid přijímá téměř všechny druhy textilních barviv. Nevýhodou je malá odolnost proti vlivům světla a povětrnosti (žloutnutí) a snadné nabíjení statickou elektřinou.

Nejrozšířenější je použití k výrobě dámských punčoch, podlahovin a sportovního odívání. Široké uplatnění mají polyamidová vlákna v technickém sektoru (dopravní pásy, lana, sítě filtry, chirurgické nitě). Ve směsích s jinými materiály se polyamid často používá ke zvýšení pevnosti zatěžovaných míst (špičky a paty bavlněných ponožek).

Každé vyprání zvyšuje trvanlivost tkanin nebo pletenin z polyamidu. Časté praní se doporučuje zejména u polyamidu 6 (silon, perlon, grilon). Mnohé výrobky jsou napuštěny prostředky proti žloutnutí. Do prací lázně se musí přidávat přesná dávka speciální chemikálie, na které tento prostředek nereaguje. Tkanina nebo pletenina jinak po opakovaném praní zešedne.

Teplota žehličky nesmí u výrobků z čistého polyamidu přesáhnout 120°C. Eventuální příznaky přecitlivělosti lidské kůže při nošení výrobků z polyamidu nejsou způsobeny vlastnostmi vlákna, nýbrž barviv, zbytky pracích prostředků a podobně. [7]

4.2.4 Teflon (PTFE)

Teflon- tetrafluorethen. Teflon byl objeven v polovině dvacátého století ve Spojených státech amerických. Tehdejší prezident Kennedy to připisoval za úspěch NASA během vývoje programu letů na měsíc tzv. Apollo, aby lidé viděli užitečnost kosmického programu i v každodenním životě. Ale později se ukázalo, že tato technologie byla známa o trochu dříve. Teflon má mnoho velmi praktických vlastností. Vydrží poměrně vysoké teploty, je odolný proti lehce kyselému i zásaditému prostředí, je kluzký, vodě odolný tj. většina běžných kapalin se na něm nepřichycuje. Je to velmi praktický materiál jak v průmyslu, tak i doma v běžném životě nebo i v medicíně.

Zde uvedu několik konkrétních příkladů jeho využití. Například teflonová pánev, o které každý výrobce tvrdí, že se na ni nikdy nic nepřilepí ani nepřipálí. Samozřejmě že to tak prakticky funguje, jediný háček je v tom, že je velmi snadné tento typ povrchu poškrábat. Je lepší používat dřevěné nebo plastové nástroje. Jakmile se pánev poškrábe je nebezpečná a ani není tak použitelná jako dřív. Ztratí svoji odolnost a začnou se odlupovat kusy teflonu, který je zároveň rakovinotvorný.

Dalším možným užitím teflonu jsou trubky a roury pro vedení vody a jiných kapalin. Tady je opět předností teflonu jeho odpudivost, takže se na něm neusazují nečistoty. Vyrábí se z něj také miniaturní solenoidové ventily užívané v medicíně a tyto výrobky se uplatňují mimo jiné v analytické chemii, biomedikální sféře, monitorování znečištění různých látek, v automatizaci a v dalších obdobných aplikacích.

Výborně se teflon hodí i v technice a mechanice například jako povrch na bovdeny jeho kluzký povrch usnadňuje chod lanka. Nebo je taky dobrý jako kluzný povrch do specializovaných ložisek.

A jako poslední využití jsou teflonová vlákna na výrobu různého nepromokavého oblečení. Tzv. teflon HT - Skvělá belgická tkanina, velmi hustě tkaná, která je velmi jemná a příjemná na dotyk. Svoje vlastnosti uplatní tedy hlavně na vnitřní straně spacáku. A nebo teflon R 100% nylon používaný jako vrchní materiál. Jemné vlákno, jehož hustá struktura tkaní a speciální úprava HF Rfxl (HF- hydrofobní vodoodpudivá úprava, Rfxl- tepelně zpracovaný povrch) chrání proti větru a dešti, přičemž je zaručena provzdušnost- prodyšnost pouze jedním směrem, a to zevnitř ven. Je lehký, odolný proti oděru, pevný, prodyšný a zároveň vodoodpudivý.

4.2.5 Textit J

Textitové desky, tyče nebo trubky jsou vyrobeny z bavlněné tkaniny jako výztuže a z fenolické živice jako pojiva. Materiál je charakterizovaný výbornými mechanickými a elektroizolačními vlastnostmi, dobrou opracovatelností, nízkou specifickou hmotností vůči porovnatelným materiálům a odolností vůči vodě, olejům a benzínům. Dobrá odolnost proti slabým kyselinám i při vyšší teplotě umožňuje jeho použití jako konstrukčního materiálu při stavbě strojů a zařízení.

Textit J se používá na výrobu kluzných ložisek, větších ozubených kol, kladek, kluzných částí strojů a zařízení, tlumících částí, pák, táhel, ochranných kotoučů, podložek, obložení kluzných částí lisů, hoblovacích strojů, rámových pil. V elektrotechnickém průmyslu se používá pro výrobu součástek se zaručenou elektrickou pevností a izolačním odporem na izolační desky, kostry, tělesa přístrojů, skříňových částí rozvoden a rozvaděčů, elektrických strojů a transformátorů. [8]

4.3 Použitá lepidla

Lepidla byla volena převážně z průmyslové oblasti, vyjma sekundového lepidla.



ITW PLEXUS (Illinois Tool Works)

Americká společnost zabývající se spojovacími, upevňovacími, utěšňovacími technologiemi a také technologiemi povlakování. Vyrábí dvousložková methakrylátová lepidla pro konstrukční lepení kovů, termoplastů a kompozitních materiálů. Spoje mají dlouhodobou pevnostní trvanlivost a povrch adherendu není nutné před samotnou aplikací upravovat. Tato adhesiva mají velmi široké uplatnění, například v automobilovém průmyslu nebo námořním průmyslu.

MA310

Plexus™ MA310 je dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovu a kompozitů.¹ V poměru 1 : 1 má dobu zpracování 15- 18 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti během 30- 35 minut při pokojové teplotě.

MA310 se zvláště dobře hodí pro lepení termoplastických materiálů. Toto lepidlo kombinuje vysokou pevnost a tuhost se schopností přilnout k obtížně lepitelným materiálům. Plexus MA310 je dodáván v náplních připravených k práci nebo v konvích po 20 l či 200 l sudech a může být míchán jako nestékavý gel při použití standardního míchacího zařízení.

Výhody

- Žádná příprava povrchu
- Vysoká pevnost
- Vysoký modul
- 100% reaktivita
- Výborná tolerance při chybném směsném poměru

Chemická odolnost

Vynikající odolnost proti

- uhlovodíkům
- kyselinám a zásadám (3-10 pH)
- solným roztokům

Citlivý na:

- polární rozpouštědla

Fyzikální vlastnosti (nezreagované)- pokoj. teplota

	Lepidlo	Aktivátor
Viskozita, cP	40,000 - 60,000	40,000 - 60,000
Barva	bělavá	žlutá
Hustota, g/cm ³	1.03	0.97
Směsný poměr objemový	1	1
Směsný poměr váhový	1	1

Mechanické vlastnosti (zreagované)- pokoj. teplota**Tah (ASTM D638)**

Pevnost, MPa	27.5 - 31
Modul, MPa	1034 - 1206.5
Deformace k selhání (%)	5 - 15

Přeplátovaný smyk (ASTM D1002)

Kohezní pevnost, MPa	20.5 - 24
----------------------	-----------

MA422

Plexus™ MA422 je dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovu a kompozitů¹. V poměru 10 : 1 má dobu zpracování 17- 24 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti za 35- 40 minut. Plexus MA422 nachází široké uplatnění při lepení kompozitů v oblasti dopravních prostředků a loďařství, protože nevyžaduje vlastně žádnou přípravu povrchu. Navíc poskytuje unikátní kombinaci vysoké pevnosti, skvělé únavové odolnosti, mimořádné odolnosti proti nárazům a maximální tuhost. Plexus MA422 je modrý a je dodáván v náplních připravených k práci nebo konvích po 20 litrech či 200 l sudech a může být nanášen jako nestékavý gel při použití standardního míchacího zařízení.

Výhody

- Žádná příprava povrchu
- Vysoká pevnost
- Nestéká

Charakteristiky

- Vytvrzuje při pokojové teplotě
- Doba zpracování 17 - 24 minut
- Doba fixace 35 - 40 minut
- 10°C bod vzplanutí

- Teplotní odolnost -55°C až 120°C
- Vyplňuje mezery do 10 mm
- Hustota po smíchání 0.96 g/cm³

Chemická odolnost

Vynikající odolnost proti

- uhlovodíkům
- kyselinám a zásadám (3-10 pH)
- Solným roztokům

Citlivé na:

- polární rozpouštědla
- silné kyseliny a zásady

Fyzikální vlastnosti (nevytvrzené)- pokoj. teplota

	Lepidlo	Aktivátor
Viskozita, cP	100,000 - 125,000	40,000 - 60,000
Barva	bělavá	modrá
Hustota, g/cm ³	0.96	1.06
Směšný poměr objemový	10	1
Směšný poměr váhový	9.0	1

Mechanické vlastnosti (vytvrzené)- pokoj. teplota

Tah (ASTM D638)

Pevnost, MPa	13.7 - 17.2
Modul, MPa	482.7 - 620.6
Deformace k selhání (%)	75 - 100

Překlátovaný smyk (ASTM D1002)

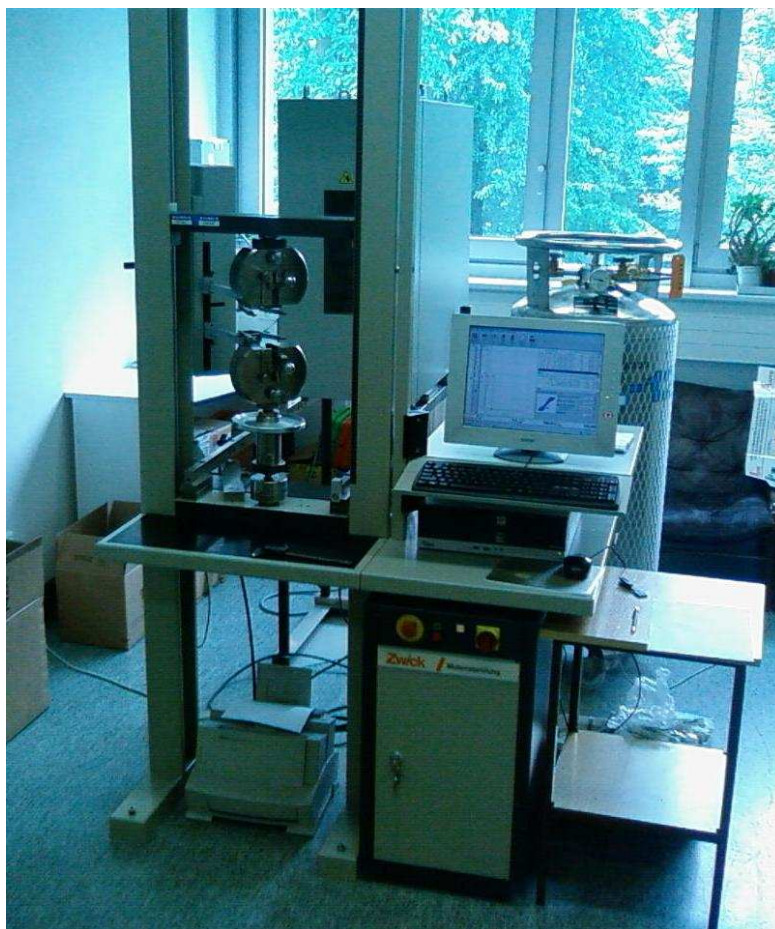
Kohezní pevnost, MPa	10.3 - 12.4
----------------------	-------------

MA832

Lepidlo třídy SS1500 pro zpracovatelský čas 15 minut. Předností je široké uplatnění u různých druhů materiálů .Vykazuje vysokou houževnatost a smykovou pevnost 17-21MPa . Odolávají rázovému zatížení, zatížení v odlupování. Vhodné k lepení ABS, PVC, kovů, hliníku, akrylonitrilů atd. Pevnost v tahu17-21MPa, relativní prodloužení 80%, modul pružnosti v tahu $E= 475-613\text{MPa}$. Teplotní odolnost spoje -40 až 82°C.

5 POPIS ZAŘÍZENÍ

Pro uskutečnění zkoušky bylo použito univerzálního trhacího stroje Zwick 145665, viz. obr. 14. Tento přístroj je určen pro statické i dynamické zkoušky tahem, tlakem a ohybem. Maximální rychlost posuvu příčnicku je 800 mm/min, k dispozici jsou snímače síly 2,5kN a 20 kN. Pro měření síly byla použita snímací hlava 20kN. Během zkoušky byl také pro měření protažení použit makro-extenzometr. Součástí zařízení je program TestExpert v 7.1 určený pro vyhodnocování naměřených dat při prováděné zkoušce.



Obr. 17. Univerzální zkušební stroj Zwick 145665

Zkoušky byly provedeny v laboratořích ústavu Výrobního inženýrství. Testováno bylo vždy 5 zkušebních těles pro každý typ materiálu (PP, PVC, PA, Teflon, Textit J.) spojený šroubem i lepidlem. Zkoušky probíhaly při laboratorní teplotě 23 °C.

Zkušební tělíška s lepeným spojem byly postupně upnuty do tahových čelistí stroje a ve směru podélné osy namáhány smykem, dokud nedošlo k úplné destrukci spoje. Rychlost

posunu příčnicku stroje, pro změření modulu pružnosti byla 1 mm/min. Vlastní rychlost zkoušky byla 20 mm/min.

5.1 Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty mezní síly F_m jsou zaznamenány do tabulek a seřazeny podle typu spoje a druhu zkoušeného materiálu. U průměrných hodnot měření je uváděna i střední kvadratická chyba pro vyhodnocení přesnosti měření. Únosnost testovaných lepených a šroubových spojů jsem graficky vyhodnotila. Během vyhodnocování naměřených dat byly použity tyto vztahy:

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (27)$$

Směrodatná odchylka:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \bar{x}^2} \quad (28)$$

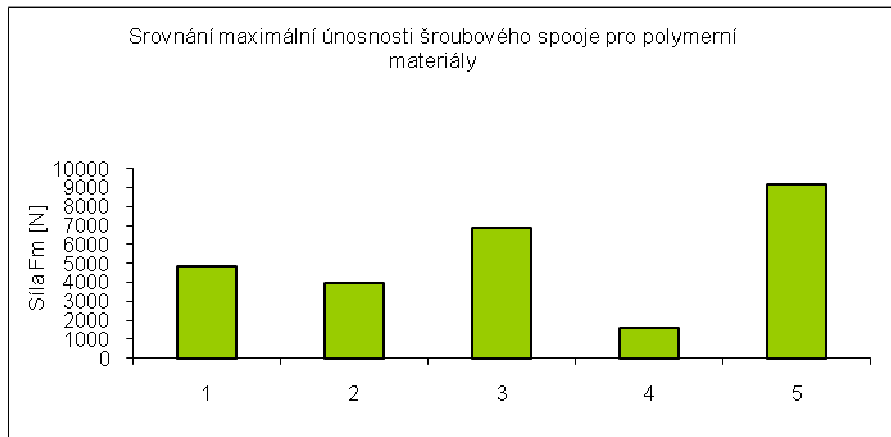
Střední kvadratická chyba:

$$\delta = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (29)$$

5.1.1 Šroubový spoj

Tab. 1. Hodnoty únosnosti u šroubového spoje.

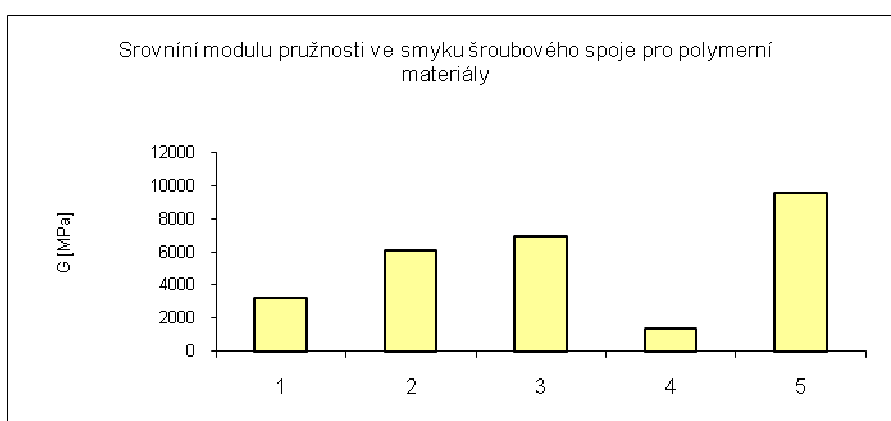
Naměřené hodnoty únosnosti u šroubového spoje					
Č.m.	Polypropylen Fm [N]	Polyvinilchlorid Fm [N]	Polyamid Fm [N]	Teflon Fm [N]	Textit J Fm [N]
1	3579,86	3694,89	6658,49	1621,46	8732,33
2	5226,78	4510,94	6818,75	1645,7	9211,52
3	5240,09	4406,92	6881,68	1660,67	9545,15
4	4978,29	3760,8	6997,65	1670,97	9237,38
5	5152,93	3747,14	6966,37	1677,01	9101,73
$\bar{x} \pm \delta$	4835,59 ± 709,68	4024,138 ± 399,37	6864,588 ± 135,03	1655,162 ± 22,27	9165,622 ± 292,88



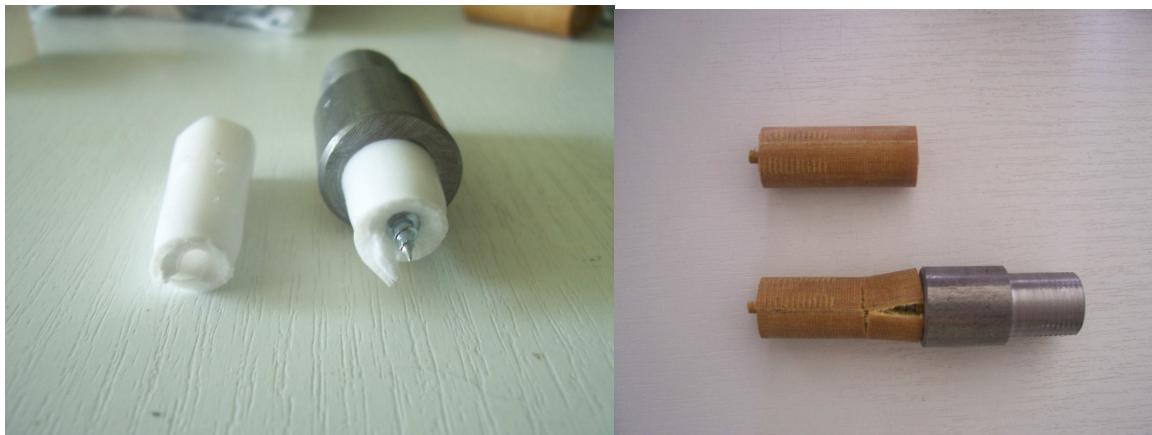
Obr. 18. Srovnání únosnosti u šroubového spoje pro polymerní materiály.

Tab. 2. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u šroubového spoje

Naměřené hodnoty modulu pružnosti ve smyku u šroubového spoje					
Č.m.	Polypropylen G [MPa]	Polyvinilchlorid G [MPa]	Polyamid G [MPa]	Teflon G [MPa]	Textit J G [MPa]
1	1748,08	6070,88	7602,08	1897,37	8637,06
2	4077,61	4960,88	4989,36	1221,42	10905,17
3	2466,12	6112,38	9039,70	1176,32	10331,72
4	3121,55	6469,94	6424,13	1389,77	9453,82
5	2743,03	6810,92	6566,57	1181,30	8548,99
$\bar{x} \pm \delta$	3242,55 ± 685,57	6085,00 ± 696,37	6924,37 ± 1504,69	1373,24 ± 305,64	9575,35 ± 1035,51



Obr. 19. Srovnání modulu pružnosti ve smyku u šroubového spoje pro polymerní materiály.



a)

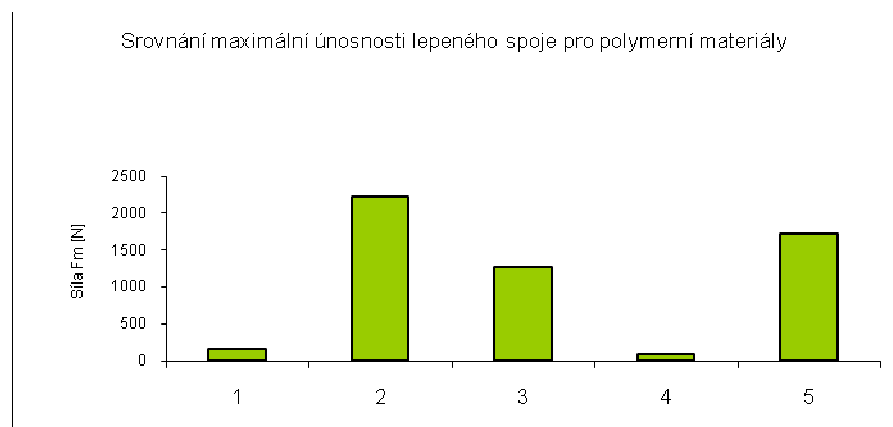
b)

Obr. 20. Zkušební tělíska po zkoušce u šroubového spoje, a)PP, b)Textit J.

5.1.2 Lepený spoj

Tab. 3. Hodnoty únosnosti u lepeného spoje.

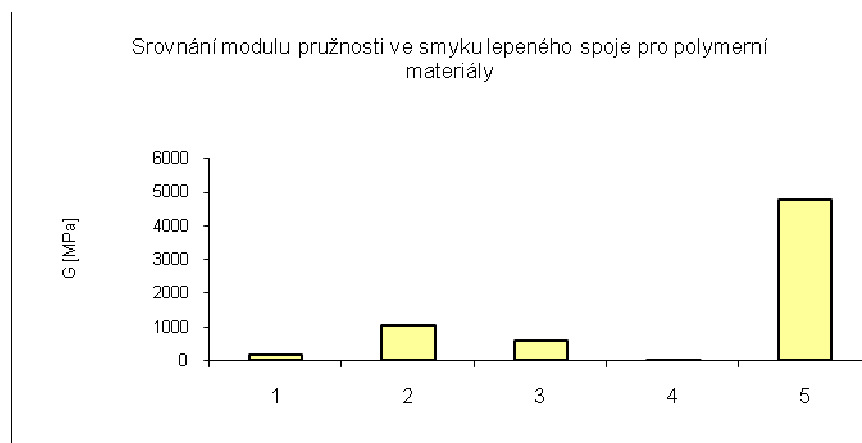
Naměřené hodnoty únosnosti u lepeného spoje lepidlem MA832					
Č.m.	Polypropylen Fm [N]	Polyvinilchlorid Fm [N]	Polyamid Fm [N]	Teflon Fm [N]	Textit J Fm [N]
1	225,1	2773,02	1418,26	103,32	1718,99
2	100,61	1402,58	1728,94	88,98	1400,04
3	169,77	2328,28	1034,03	108,95	1648,57
4	200,98	2360,15	688,56	79,34	1277,92
5	115,12	2250,41	1446,42	-	2530,88
$\bar{x} \pm \delta$	162,316 ± 53,68	2222,888 ± 501,56	1263,242 ± 405,36	1216,149 ± 13,48	1715,28 ± 489,98



Obr. 21. Srovnání maximální únosnosti u lepeného spoje pro polymerní materiály.

Tab. 4. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje

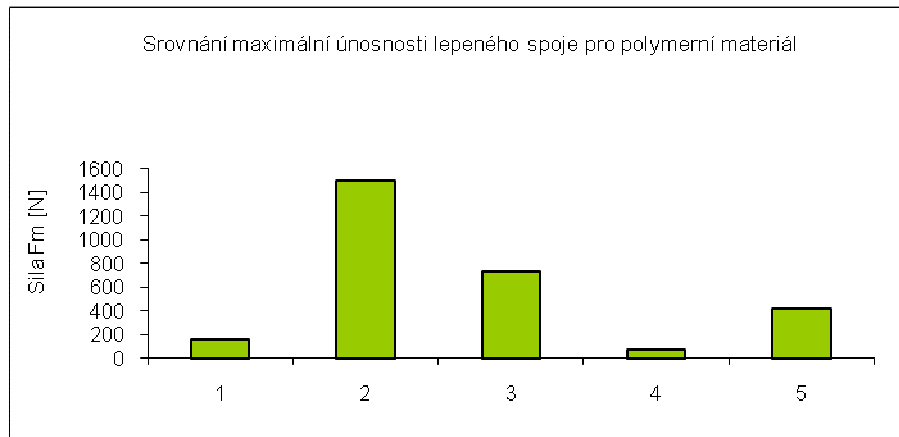
Naměřené hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje lepidlem MA832					
Č.m.	Polypropylen G [MPa]	Polyvinilchlorid G [MPa]	Polyamid G [MPa]	Teflon G [MPa]	Textit J G [MPa]
1	251,39	992,50	482,16	103,32	-
2	-	1045,52	698,82	88,98	2190,55
3	211,36	1076,46	467,93	100,80	6113,89
4	138,45	917,90	733,43	86,46	6215,27
5	94,34	1213,08	680,44	-	4630,61
$\bar{x} \pm \delta$	173,88 ± 70,70	1049,09 ± 109,62	612,56 ± 127,06	88,54 ± 8,77	4787,58 ± 1876,75



Obr. 22. Srovnání modulu pružnosti ve smyku lepeného spoje pro polymerní materiály.

Tab. 5. Hodnoty únosnosti u lepeného spoje.

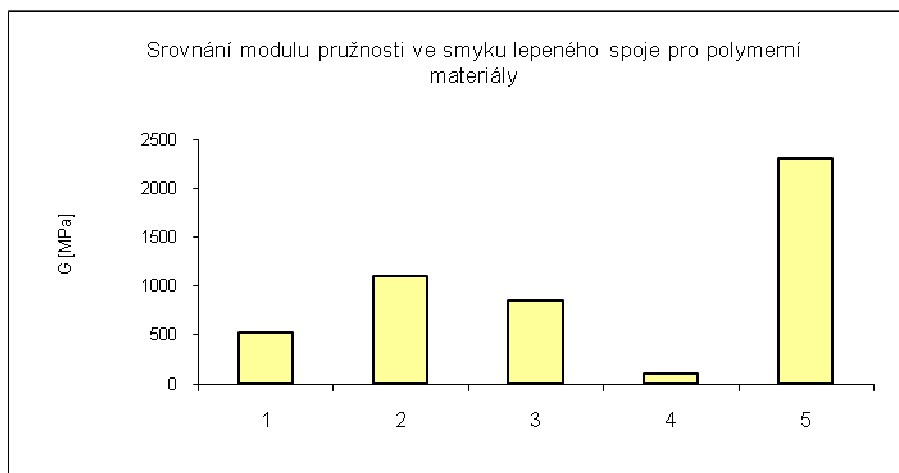
Naměřené hodnoty únosnosti u lepeného spoje lepidlem MA832					
Č.m.	Polypropylen Fm [N]	Polyvinilchlorid Fm [N]	Polyamid Fm [N]	Teflon Fm [N]	Textit J Fm [N]
1	81,88	1229,56	705,99	64,15	213,19
2	185,00	1476,64	984,08	56,29	382,44
3	201,26	1579	573,03	44,25	727,57
4	154,60	1552,45	734,08	105,45	504,53
5	171,14	1660,37	664	107,64	265,3
$\bar{x} \pm \delta$	158,78 ± 46,30	1499,604 ± 164,62	732,236 ± 153,40	75,556 ± 29,17	418,606 ± 206,06



Obr. 23. Srovnání maximální únosnosti lepeného spoje pro polymerní materiály.

Tab. 6. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje

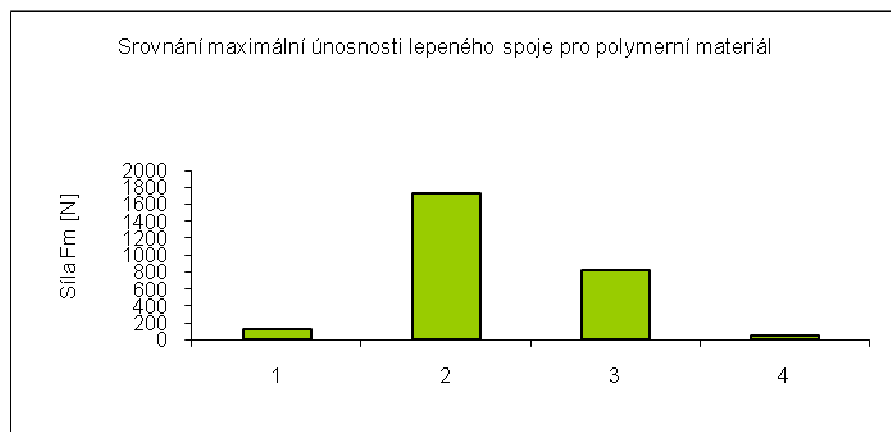
Naměřené hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje lepidlem MA832					
Č.m.	Polypropylen G [MPa]	Polyvinilchlorid G [MPa]	Polyamid G [MPa]	Teflon G [MPa]	Textit J G [MPa]
1	701,01	1092,60	-	111,27	1456,83
2	538,65	1007,98	718,11	77,43	2228,20
3	411,98	1143,35	827,29	72,05	2770,09
4	667,82	1174,21	951,33	125,34	1802,63
5	486,09	1070,52	889,69	114,26	2433,02
$\bar{x} \pm \delta$	526,13 ± 107,81	1097,73 ± 64,71	846,60 ± 99,51	100,07 ± 23,79	2308,49 ± 404,53



Obr. 24. Srovnání modulu pružnosti lepeného spoje pro polymerní materiály.

Tab. 7. Hodnoty únosnosti u lepeného spoje

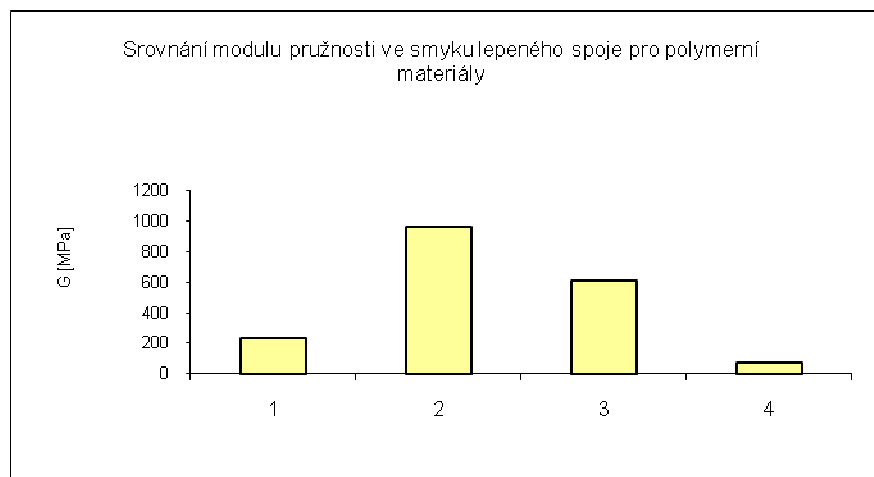
Naměřené hodnoty únosnosti lepeného spoje lepidlem MA422				
Č.m.	Polypropylen Fm [N]	Polyvinilchlorid Fm [N]	Polyamid Fm [N]	Teflon Fm [N]
1	121,67	1532,13	505,08	28,56
2	167,81	1912,14	737,19	46,45
3	118,96	1923,02	794,59	97,6
4	117,58	1769,77	700,39	40,44
5	114,05	1532,13	1345,51	31,31
$\bar{x} \pm \delta$	128,014 ± 22,42	1733,838 ± 193,81	816,552 ± 315,07	48,872 ± 28,16



Obr. 25. Srovnání maximální únosnosti u lepeného spoje pro polymerní materiály

Tab. 8. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje

Naměřené hodnoty modulu pružnosti ve smyku lepeného spoje lepidlem MA422				
Č.m.	Polypropylen G [MPa]	Polyvinilchlorid G [MPa]	Polyamid G [MPa]	Teflon G [MPa]
1	-	902,01	642,16	64,14
2	255,55	1014,70	754,53	72,28
3	2885,80	1037,81	-	88,20
4	224,45	1769,77	611,87	75,32
5	217,88	-	444,69	67,79
$\bar{x} \pm \delta$	232,63 ± 22,42	966,51 ± 20,12	613,31 ± 128,08	73,55 ± 9,23



Obr. 26. Srovnání modulu pružnosti ve smyku lepeného spoje pro polymerní materiály.

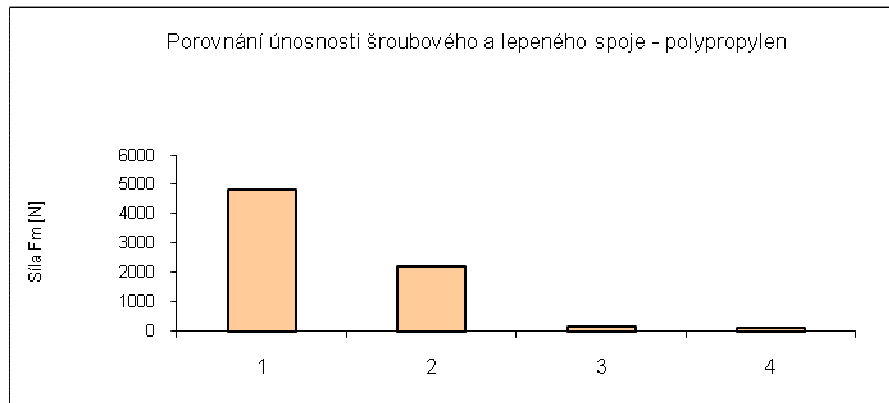


Obr. 27. Zkušební tělíska po zkoušce u lepeného spoje-PP

5.2 Porovnání únosnosti pro zvolené typy spojů a lepidel a zvolený materiál

Tab. 9. Porovnání únosnosti spojů u polypropylenu

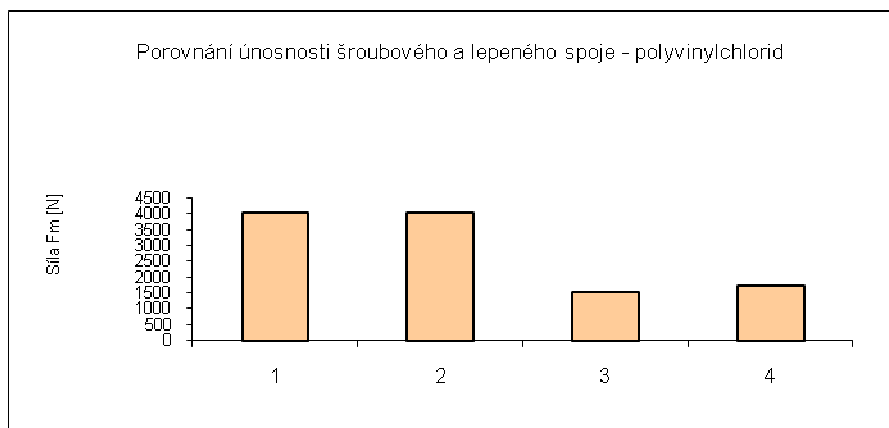
Polypropylen Fm/ N			
Šroubový spoj	Lepný spoj		
	MA310	MA832	MA422
4835,59 ± 709,68	162,316 ± 53,68	158,78 ± 46,30	128,014 ± 22,42



Obr. 28. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– polypropylen

Tab. 10. Porovnání únosnosti spojů u polyvinylchloridu

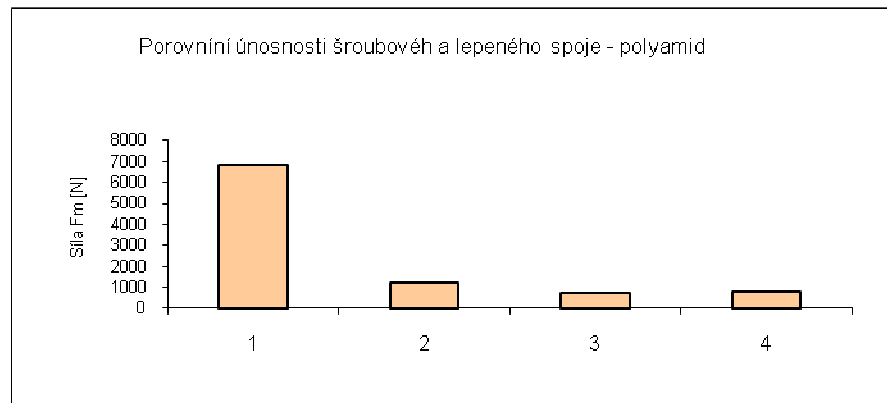
Polyvinylchlorid Fm/ N			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
4024,138 ± 399,37	2222,888 ± 501,56	1499,604 ± 164,62	1733,838 ± 193,81



Obr. 29. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– polyvinylchlorid

Tab. 11. Porovnání únosnosti spojů u polyamidu

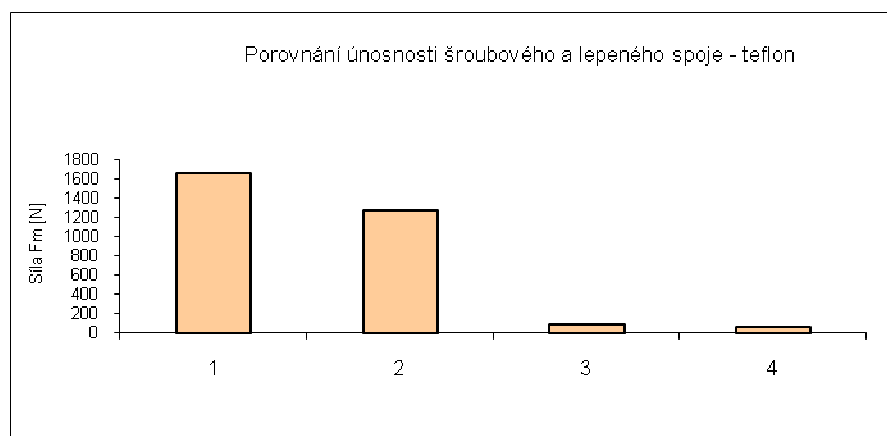
Polyamid Fm/ N			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
6864,588 ± 135,03	1216,149 ± 13,48	732,236 ± 153,40	816,552 ± 315,07



Obr. 30. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– polyamid

Tab. 12. Porovnání únosnosti spojů u teflonu

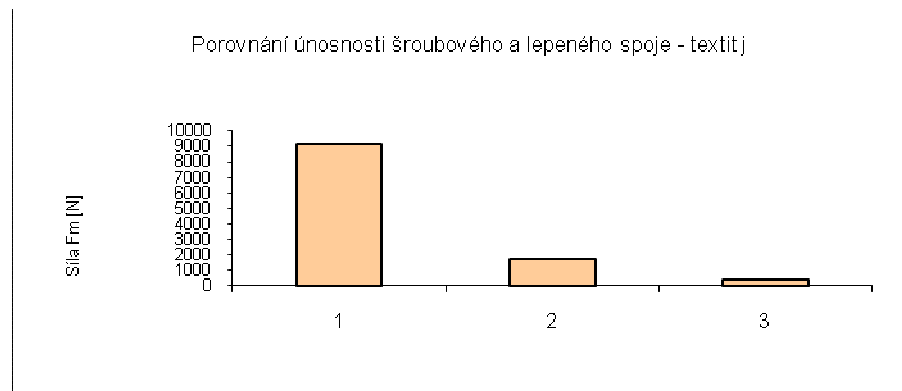
Teflon Fm/ N			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
1655,162 ± 22,27	1263,242 ± 405,36	75,556 ± 29,17	48,872 ± 28,16



Obr. 31. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– teflon

Tab. 13. Porovnání únosnosti spojů u textitu J

Textit J Fm/ N			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
9165,622 ± 292,88	1715,28 ± 489,98	418,606 ± 206,06	128,014 ± 22,42

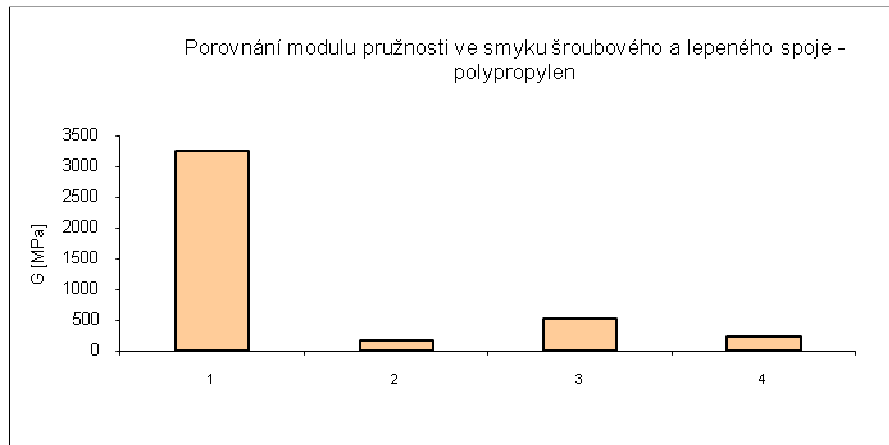


Obr. 32. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– textit J

5.3 Porovnání modulu pružnosti ve smyku pro zvolené typy spojů a lepidel a zvolený materiál

Tab. 14. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u polypropylenu

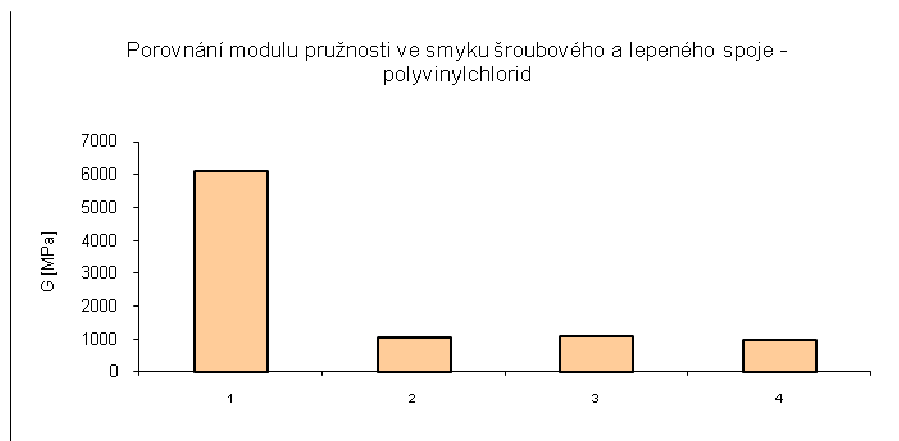
Polypropylen Fm/ N			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
3242,55 ± 685,57	173,88 ± 70,70	526,13 ± 107,81	232,63 ± 22,42



Obr. 33. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- PP

Tab. 15. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u polyvinylchloridu

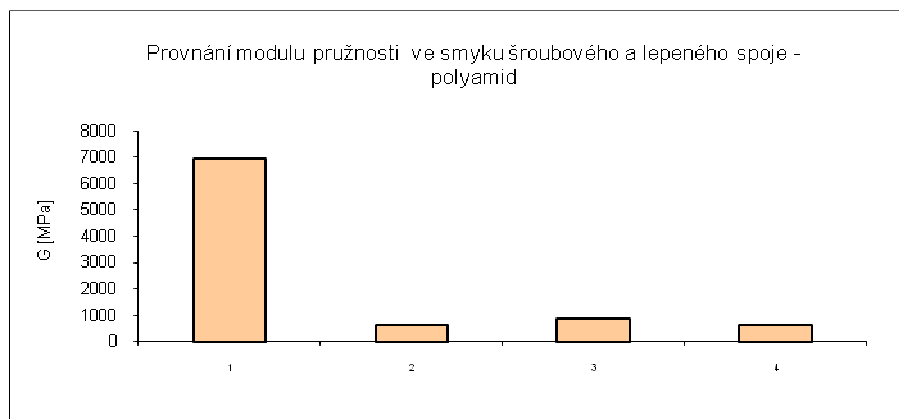
Polyvinylchlorid Fm/ N			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
6085,00 ± 696,37	1049,09 ± 109,62	1097,73 ± 64,71	966,51 ± 20,12



Obr. 34. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- PVC

Tab. 16. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u polyamidu

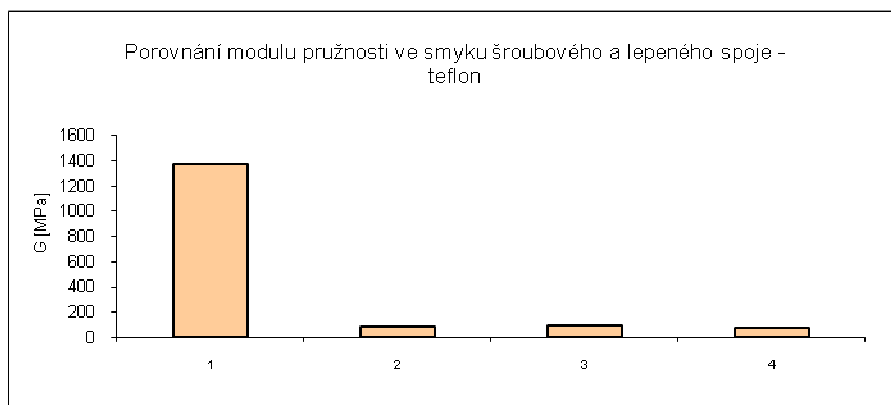
Polyamid			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
6924,37 ± 1504,69	612,56 ± 127,06	846,60 ± 99,51	613,31 ± 128,08



Obr. 35. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- polyamid

Tab. 17. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u teflonu

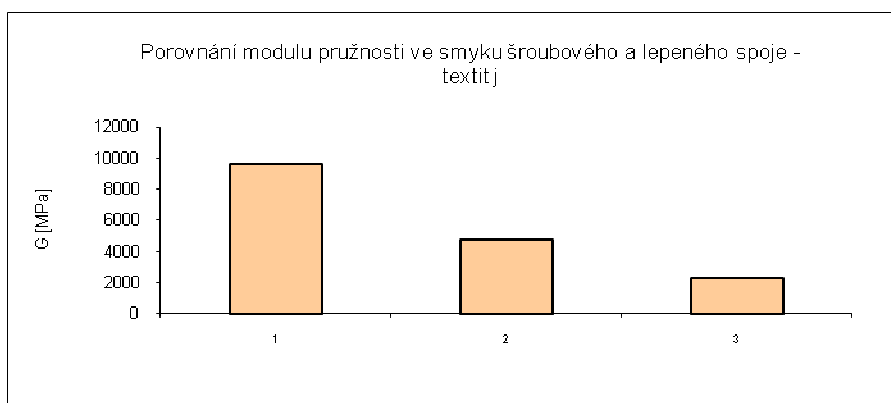
Teflon			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
1373,24 ± 305,64	88,54 ± 8,77	100,07 ± 23,79	73,55 ± 9,23



Obr. 36. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- teflon

Tab. 18. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u textitu J

Textit j			
Šroubový spoj	Lepený spoj		
	MA310	MA832	MA422
9575,35 ± 1035,51	4787,58 ± 1876,75	2308,49 ± 404,53	-



Obr. 37. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- textit J

ZÁVĚR

Tato Bakalářská práce se zabývá studiem a experimentálním porovnáním únosnosti a tuhosti lepených spojů se spoji šroubovými.

Teoretická část se zabývá popisem lepených a šroubových spojů a popisem jejich mechanických zkoušek.

V praktické části bakalářské práce je uveden popis použitých polymerních materiálů (polypropylen, polyvinilchlorid, polyamid, teflon, textit J). Dále jsou popsány zvolené typy lepidel, kterými byly slepeny zkušební tělíška. V praktické části je dále popsána příprava zkušebních tělíšek a průběh lepení zkušebních tělíšek. Byly provedeny zkoušky ve smyku na univerzálním zkušebním stroji Zwick 145665. Výsledky těchto zkoušek byly vzájemně porovnány a graficky znázorněny. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách jak pro jednotlivá lepidla a spojované typy polymerů, tak pro jednotlivé typy spojů (šroubový a lepený spoj).

Výsledky měření podle předpokladu potvrzují to, že jednoznačně nejvyšší únosnost vykazuje šroubový spoj. Jednotlivé termoplasty vykazují individuální chování z hlediska únosnosti a modulu pružnosti ve smyku každého spoje zvlášť. Materiál polyvinilchlorid dosáhl nejvyšších hodnot únosnosti u lepených spojů. U šroubového spoje měl nejvyšší hodnotu únosnosti textit J. Nejvyšší hodnoty modulu pružnosti ve smyku G vykazoval materiál textit J a to ve všech případech spojů.

Jelikož je z výsledků zřejmé, jaká je únosnost testovaných spojů, je důležité věnovat pozornost volbě typu spoje podle účelu použití.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Miloš Osten:** *Lepení plastických hmot*, STNL– Nakladatelství technické literatury, Praha 1972.
- [2] **Jindřich Peterka:** *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*, Nakladatelství technické literatury, Praha 1980.
- [3] **Antonín Řeřábek:** *Stavba a provoz strojů pro školu a praxi– strojní součásti I*, Nakladatelství Scientia, Praha 2006.
- [4] **Imrich Lukovics, Libuše Sýkorová, František Volek:** *Části a mechanismy strojů*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně, Zlín/ Brno 2000.
- [5] **Karel Mičkal:** *Strojnictví– části strojů pro učební a studijní obory SOU a SOŠ*, Sobotáles, Praha 1995
- [6] **Ptáček, L.:** *Nauka o materiálu I., Brno, 2001.*
- [7] *Polyamidová vlákna* [online]. [cit. 2009-22-08]. Dostupný z WWW:
<<http://www.wikipedia.cz/>>.
- [8] *Textit* [online]. [cit. 2009-23-08]. Dostupný z WWW:
<<http://www.vss-plasty.cz/>>.
- [9] **Březina, R.:** *Technologie I. - Část 2.* Ostrava, 1999.
- [10] **Ptáček, L.:** *Nauka o materiálu II., Brno, 2002.*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

τ_s, τ	Smykové napětí
τ_{Ds}	Dovolené napětí ve smyku
τ_p, τ_M	Smyková pevnost
R_m	Mez pevnosti u kovů
Ra	Střední aritmetická výška nerovnosti povrchu
$\tau_{stř}$	Střední smykové napětí
F_{\max}	Maximální síla
b	Šířka lepené plochy
l_u	Délka přeplátování
α	Úhel
"	Palec
α_1, α_2	Úhly boků
P	Rozteč
d	Průměr
Q	Břemeno
s	Výška stoupání závitů
F_0	Síla
R	Reakce
f	Součinitel tření
σ_t	Napětí v tahu
M_k	Kroutící moment
n	Součinitel bezpečnosti
S_0	Počáteční průřez

L_0	Měřená délka
F	Síla
σ_0	Smluvní normálové napětí
σ	Skutečné normálové napětí
σ_{Pt}	Mez pevnosti v tahu
A	Tažnost
ε	Poměrné prodloužení
ψ	Poměrné zúžení
\bar{x}	Průměrná hodnota
σ	Směrodatná odchylka
F_m	Mezní síla
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinilchlorid
PA	Polyamid
PTFE	Teflon
ČSN	Česká technická norma

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Pevnost lepeného spoje v závislosti od technologických podmínek.</i>	11
<i>Obr. 2. Vliv povrchových úprav na pevnost lepeného spoje.</i>	12
<i>Obr. 3. Konstrukce lepených a pájených spojů.</i>	13
<i>Obr. 4. a) Průběh deformace jednoduše přeplátovaného spoje po zatížení.</i>	24
<i>Obr. 5. Typické příklady šroubových spojů.</i>	29
<i>Obr. 6. Síly působící na šroubu.</i>	33
<i>Obr. 7. Univerzální zkušební stroj.</i>	38
<i>Obr. 8. Smluvní diagram napětí - deformace.</i>	40
<i>Obr. 9. Schéma určování tažnosti.</i>	43
<i>Obr. 10. Zkušební tělíska : a) 1. část, b) 2. část.</i>	46
<i>Obr. 11. Tvar držáku šroubu.</i>	47
<i>Obr. 12. universální hrotový soustruhu TOS ŽEBRÁK S32.</i>	47
<i>Obr. 13. Šroub ST4, 8x25 ISO 7049 – C - Z.</i>	48
<i>Obr. 14. Vytlačovací pistole.</i>	48
<i>Obr. 15. Schéma principu funkce statického mixeru.</i>	48
<i>Obr. 16. Statický mixer.</i>	49
<i>Obr. 17. Univerzální zkušební stroj Zwick 145665.</i>	58
<i>Obr. 18. Srovnání únosnosti u šroubového spoje pro polymerní materiály.</i>	60
<i>Obr. 19. Srovnání modulu pružnosti ve smyku u šroubového spoje pro polymerní materiály.</i>	60
<i>Obr. 20. Zkušební tělíska po zkoušce u šroubového spoje, a)PP, b)Textit J.</i>	61
<i>Obr. 21. Srovnání maximální únosnosti u lepeného spoje pro polymerní materiály.</i>	61
<i>Obr. 22. Srovnání modulu pružnosti ve smyku lepeného spoje pro polymerní materiály.</i>	62
<i>Obr. 23. Srovnání maximální únosnosti lepeného spoje pro polymerní materiály.</i>	63
<i>Obr. 24. Srovnání modulu pružnosti lepeného spoje pro polymerní materiály.</i>	63
<i>Obr. 25. Srovnání maximální únosnosti u lepeného spoje pro polymerní materiály.</i>	64
<i>Obr. 26. Srovnání modulu pružnosti ve smyku lepeného spoje pro polymerní materiály.</i>	65
<i>Obr. 27. Zkušební tělíska po zkoušce u lepeného spoje-PP.</i>	65
<i>Obr. 28. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– polypropylen.</i>	66

<i>Obr. 29. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– polyvinylchlorid</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 30. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– polyamid</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 31. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– teflon</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 32. Porovnání únosnosti šroubového a lepeného spoje– textit J.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 33. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- PP</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 34. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- PVC</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 35. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- polyamid</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 36. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- teflon.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 37. Porovnání modulu pružnosti ve smyku šroubového a lepeného spoje- textit J</i>	<i>71</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Hodnoty únosnosti u šroubového spoje.</i>	59
<i>Tab. 2. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u šroubového spoje</i>	60
<i>Tab. 3. Hodnoty únosnosti u lepeného spoje.</i>	61
<i>Tab. 4. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje</i>	62
<i>Tab. 5. Hodnoty únosnosti u lepeného spoje.</i>	62
<i>Tab. 6. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje</i>	63
<i>Tab. 7. Hodnoty únosnosti u lepeného spoje</i>	64
<i>Tab. 8. Hodnoty modulu pružnosti ve smyku u lepeného spoje</i>	64
<i>Tab. 9. Porovnání únosnosti spojů u polypropylenu</i>	65
<i>Tab. 10. Porovnání únosnosti spojů u polyvinylchloridu</i>	66
<i>Tab. 11. Porovnání únosnosti spojů u polyamidu</i>	66
<i>Tab. 12. Porovnání únosnosti spojů u teflonu</i>	67
<i>Tab. 13. Porovnání únosnosti spojů u textitu J.....</i>	68
<i>Tab. 14. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u polypropylenu</i>	68
<i>Tab. 15. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u polyvinylchloridu</i>	69
<i>Tab. 16. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u polyamidu</i>	69
<i>Tab. 17. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u teflonu</i>	70
<i>Tab. 18. Porovnání modulu pružnosti ve smyku spojů u textitu J</i>	71

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: ZKOUŠKA SMYKEM – CELKOVÉ VÝSLEDKY

**PŘÍLOHA P II: ZKOUŠKA SMYKEM – STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ
VÝSLEDKŮ PRO JEDNOTLIVÉ SÉRIE MĚŘENÍ.**

**PŘÍLOHA P III: ZKOUŠKA SMYKEM – GRAFY ZÁVISLOSTI F/N –
DEFORMACE**

PŘÍLOHA P I: ZKOUŠKA SMYKEM- CELKOVÉ VÝSLEDKY

Označení jednotlivých sérií:

S1- Teflon, lepidlo MA310

S2- Polyvinylchlorid, lepidlo MA310

S3- Polyamid, lepidlo MA310

S4 – Textit J, lepidlo MA310

S5 – Polypropylen, lepidlo MA310

S6 – Teflon, lepidlo MA832

S7 – Polyvinylchlorid, lepidlo MA832

S8 – Polyamid, MA832

S9 – Polypropylen, MA832

S10 – Textit J, MA832

S11 – Polypropylen, šroubový spoj

S12 – Textit J, šroubový spoj

S13 – Polyvinylchlorid, šroubový spoj

S14 – Polyamid, šroubový spoj

S15 – Teflon, šroubový spoj

S16 – Teflon, lepidlo MA422

S17 – Polyvinylchlorid, lepidlo MA422

S18 – Polyamid, lepidlo MA422

S19 – Polypropylen, lepidlo MA422

Kde:

τ_p - mez pevnosti ve smyku lepidla

τ_b - mez při přetržení

G - modul pružnosti ve smyku

Celková deformace- deformace na mezi pevnosti měřena na celém tělese mezi čelistmi přes příčník stroje

$\epsilon_{\tau p}$ - poměrná def. na mezi pevnosti měřená extenzometrem na $L_0=20\text{mm}$

$\epsilon_{\tau b}$ - poměrná def. na mezi při přetržení měřená extenzometrem na $L_0 =20\text{mm}$

$\Delta L_{\tau p}$ - def. na mezi pevnosti měřená extenzometrem na $L_0 = 20\text{mm}$

$\Delta L_{\tau b}$ - def. na mezi při přetržení měřená extenzometrem na $L_0 = 20\text{mm}$

- Jednotlivé série jsou odděleny tlustou čarou a následují v pořadí S1- S19

- čísla řádků označují číslo zkoušky

	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax
č.zk.	MPa	MPa	MPa	mm	%	%	mm	mm	N
1	0,33	0,07	79,97	0,70	0,66	36,31	0,13	7,26	103,32
2	0,28	-	86,94	0,61	0,50	-	0,10	-	88,98
3	0,35	0,34	100,80	0,78	0,72	0,75	0,14	0,15	108,95
4	0,25	-	86,46	0,59	0,45	-	0,09	-	79,34
5	8,83	8,83	992,50	6,50	0,93	0,93	0,18	0,18	2773,02
6	4,47	4,44	1045,52	3,65	0,98	1,12	0,19	0,22	1402,58
7	7,41	7,41	1076,46	5,36	0,74	0,74	0,14	0,14	2328,28
8	7,52	7,52	917,90	5,91	0,85	0,85	0,17	0,17	2360,15
9	7,17	7,17	1213,08	5,34	0,71	0,71	0,14	0,14	2250,41
10	4,52	0,90	482,16	3,77	2,41	44,48	0,48	8,89	1418,26

	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def-	τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax
č.zk.	MPa	MPa	MPa	mm		%	%	mm	mm	N
11	5,51	-	698,82	3,98		0,78	-	0,15	-	1728,94
12	3,29	0,66	467,93	2,90		1,81	67,99	0,36	13,60	1034,03
13	2,19	0,44	733,43	1,76		0,65	84,76	0,12	16,95	688,56
14	4,61	4,43	680,44	5,09		8,16	11,29	1,63	2,25	1446,42
‡16	5,47	1,09	1003,48	5,71		0,19	0,16	0,05	0,04	1718,99
17	4,46	4,45	2190,55	2,76		1,04	1,06	0,20	0,20	1400,04
18	5,25	5,24	6113,89	3,37		0,14	0,14	0,02	0,02	1648,57
19	10,41	10,14	6215,27	2,90		0,89	0,98	0,17	0,19	1277,92
20	8,06	8,06	4630,61	4,68		0,21	0,22	0,04	0,04	2530,88
21	0,72	-	251,39	1,20		1,44	-	0,28	-	225,10
‡22	0,32	-	1542,42	0,48		0,04	-	0,00	-	100,61
23	0,54	-	211,36	0,87		0,63	-	0,12	-	169,77
24	0,64	-	138,45	1,05		1,83	-	0,36	-	200,98
25	0,37	-	94,34	0,72		0,57	-	0,11	-	115,12
40	0,20	-	111,27	7,88		37,28	-	7,46	-	64,15
26	0,18	-	77,43	0,35		0,45	-	0,09	-	56,29
27	0,14	-	72,05	0,33		0,38	-	0,07	-	44,25
28	0,34	-	125,34	0,69		0,48	-	0,10	-	105,45
29	0,34	-	114,26	8,15		0,69	-	0,14	-	107,64
30	3,92	2,84	1092,60	2,70		0,64	1,91	0,12	0,38	1229,56
31	4,70	4,69	1007,98	3,49		0,89	1,03	0,18	0,21	1476,64
32	5,03	4,92	1143,35	3,69		0,64	0,85	0,12	0,17	1579,00
33	4,94	4,92	1174,21	3,55		0,59	0,65	0,12	0,13	1552,45
34	5,29	5,21	1070,52	3,96		0,84	0,98	0,16	0,19	1660,37
‡35	2,25	0,45	5,12	1,94		-0,01	79,54	1,89	17,80	705,99
36	3,13	-	718,11	2,70		1,54	-	0,30	-	984,08
37	1,82	-	827,29	1,62		0,86	-	0,17	-	573,03
38	2,34	0,47	951,33	2,02		0,93	75,98	0,19	15,20	734,08

	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def-	τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax
č.zk.	MPa	MPa	MPa	mm		%	%	mm	mm	N
39	2,11	-	889,69	1,85		0,97	-	0,20	-	664,00
‡42	0,26	-	701,01	0,89		0,68	-	0,13	-	81,88
43	0,59	-	538,65	1,20		0,74	-	0,15	-	185,00
44	0,64	-	411,98	1,07		0,29	-	0,06	-	201,26
45	0,49	-	667,82	1,04		0,38	-	0,07	-	154,60
46	0,55	-	486,09	1,32		0,79	-	0,16	-	171,14
‡47	0,68	-	1456,83	0,52		0,16	-	0,03	-	213,19
48	1,22	-	2228,20	0,91		0,38	-	0,08	-	382,44
49	2,32	0,46	2770,09	1,55		0,50	25,16	0,10	5,03	727,57
50	1,61	0,32	1802,63	0,99		0,68	48,70	0,02	9,62	504,53
51	0,84	-	2433,02	0,57		0,06	-	0,01	-	265,30
‡52	11,40	2,28	1748,08	7,02		1,36	1,59	0,27	0,32	3579,86
53	16,65	3,32	4077,61	8,17		4,04	23,36	0,81	4,67	5226,78
54	16,69	6,51	2466,12	7,67		4,15	15,94	0,83	3,19	5240,09
55	15,85	6,01	3121,55	8,09		4,10	17,24	0,82	3,45	4978,29
56	16,41	3,28	2743,03	7,44		4,55	24,18	0,93	4,85	5152,93
57	15,70	-	3804,43	10,55		2,46	-	0,49	-	4931,02
58	27,81	27,17	8637,06	4,45		1,19	1,43	0,24	0,29	8732,33
59	29,34	29,32	10905,17	4,80		1,15	1,17	0,24	0,24	9211,52
60	30,40	30,07	10331,72	4,97		1,60	1,86	0,32	0,38	9545,15
61	29,42	29,18	9453,82	4,78		1,68	1,93	0,34	0,39	9237,38
62	28,99	28,79	8548,99	4,56		1,08	1,18	0,23	0,24	9101,73
63	11,77	11,77	6070,88	2,56		0,20	0,20	0,04	0,04	3694,89
64	14,37	14,37	4960,88	3,35		0,60	0,60	0,12	0,12	4510,94
65	14,03	14,03	6112,38	3,13		0,56	0,56	0,11	0,11	4406,92
66	11,98	11,98	6469,94	2,84		0,25	0,25	0,05	0,05	3760,80
67	11,93	11,93	6810,92	2,59		0,29	0,29	0,06	0,06	3747,14
68	21,21	6,05	7602,08	6,15		1,12	0,98	0,22	0,19	6658,49

	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def-	τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax
č.zk.	MPa	MPa	MPa	mm		%	%	mm	mm	N
69	21,72	6,64	4989,36	6,10		1,24	1,40	0,25	0,28	6818,75
70	21,92	8,52	9039,70	6,23		0,85	0,37	0,17	0,08	6881,68
71	22,29	7,41	6424,13	6,88		1,57	0,86	0,31	0,17	6997,65
72	22,19	6,66	6566,57	6,92		1,14	1,20	0,23	0,24	6966,37
73	5,16	3,95	1897,37	18,46		28,98	54,46	5,80	10,89	1621,46
74	5,24	4,70	1221,42	17,86		25,29	42,33	5,06	8,47	1645,70
75	5,29	4,22	1176,32	18,94		31,76	56,97	6,35	11,39	1660,67
76	5,32	4,08	1389,77	19,44		33,98	61,56	6,79	12,31	1670,97
77	5,34	4,70	1181,30	18,68		30,39	55,16	6,08	11,03	1677,01
78	0,09	-	64,14	0,18		0,22	-	0,04	-	28,56
79	0,15	-	72,28	0,44		0,74	-	0,14	-	46,45
80	0,31	-	88,20	30,88		152,47	-	30,49	-	97,60
81	0,13	0,00	75,32	0,27		0,29	107,49	0,06	21,50	40,44
82	0,10	-	67,79	0,20		0,20	-	0,04	-	31,31
83	4,88	4,87	902,01	3,77		1,28	1,31	0,25	0,26	1532,13
84	6,09	5,94	1014,70	4,19		1,23	1,44	0,25	0,29	1912,14
85	6,12	6,09	1037,81	4,47		1,24	1,34	0,25	0,26	1923,02
86	5,64	5,62	911,52	4,91		1,10	1,13	0,22	0,22	1769,77
87	1,61	0,32	642,16	1,52		0,94	81,79	0,18	16,35	505,08
88	2,35	0,47	754,53	2,19		0,96	65,89	0,19	13,17	737,19
†89	2,53	0,51	130,83	2,10		0,74	66,35	0,39	13,51	794,59
90	2,23	0,45	611,87	2,62		0,35	41,03	0,07	8,21	700,39
91	4,29	0,86	444,69	3,21		2,44	61,13	0,49	12,22	1345,51
†92	0,39	0,07	18,65	1,12		-0,01	78,23	0,21	15,85	121,67
93	0,53	0,11	255,55	1,79		0,56	6,73	0,12	1,35	167,81
†94	0,38	0,06	2885,80	0,81		0,02	12,87	0,00	2,57	118,96
95	0,37	0,07	224,45	1,04		2,14	59,31	0,43	11,86	117,58
96	0,36	0,07	217,88	1,42		0,70	25,31	0,14	5,06	114,05

**PŘÍLOHA P II: ZKOUŠKA SMYKEM- STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ
VÝSLEDKŮ PRO JEDNOTLIVÉ SÉRIE MĚŘENÍ**

Kde: \bar{x} -průměrná hodnota

s -směrodatná odchylka

v -variační koeficient

n -počet měření

S1	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	ϵ_{τ_p}	ϵ_{τ_b}	ΔL_{τ_p}	ΔL_{τ_b}	$F_{max}-\tau_p$
$n = 4$	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	0,30	0,20	88,54	0,67	0,58	18,53	3,70	0,11	95,15
s	0,04	0,20	8,77	0,09	0,13	25,15	5,03	0,03	13,48
v	14,17	95,84	9,90	13,18	22,04	135,70	135,70	23,15	14,17

S2	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	7,08	7,07	1049,09	5,35	0,84	0,87	0,17	0,16	2222,89
s	1,60	1,61	109,62	1,07	0,12	0,16	0,03	0,02	501,56
v	22,56	22,77	10,45	19,91	13,81	18,85	19,78	14,76	22,56

S3	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	4,02	1,61	612,56	3,50	2,76	52,13	10,42	0,55	1263,24
s	1,29	1,89	127,06	1,25	3,11	31,85	6,37	0,62	405,36
v	32,09	117,52	20,74	35,58	112,51	61,09	61,11	112,84	32,09

S4	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 4	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	7,05	6,97	4787,58	3,43	0,57	0,60	0,11	0,11	1714,35
s	2,73	2,62	1876,75	0,87	0,46	0,49	0,10	0,09	565,77
v	38,69	37,61	39,20	25,45	80,98	81,57	84,86	84,30	33,00

S5	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 4	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	0,57	-	173,88	0,96	1,12	-	-	0,22	177,74
s	0,15	-	70,70	0,21	0,62	-	-	0,12	47,50
v	26,72	-	40,66	21,69	55,09	-	-	55,33	26,72

S6	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	0,24	-	100,07	3,48	7,86	-	-	1,57	75,56
s	0,09	-	23,79	4,14	16,45	-	-	3,29	29,17
v	38,61	-	23,77	119,04	209,36	-	-	209,47	38,61

S7	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	ϵ_{τ_p}	ϵ_{τ_b}	ΔL_{τ_p}	ΔL_{τ_b}	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	4,78	4,52	1097,73	3,48	0,72	1,08	0,21	0,14	1499,60
s	0,52	0,95	64,71	0,47	0,14	0,48	0,10	0,03	164,62
v	10,98	21,12	5,90	13,52	18,94	44,74	44,69	19,11	10,98

S8	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	ϵ_{τ_p}	ϵ_{τ_b}	ΔL_{τ_p}	ΔL_{τ_b}	Fmax- τ_p
n = 4	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	2,35	0,47	846,60	2,05	1,08	75,98	15,20	0,21	738,80
s	0,56	-	99,51	0,47	0,31	-	-	0,06	176,31
v	23,87	-	11,75	22,77	29,01	-	-	28,04	23,87

S9	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	ϵ_{τ_p}	ϵ_{τ_b}	ΔL_{τ_p}	ΔL_{τ_b}	Fmax- τ_p
n = 4	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	0,57	-	526,13	1,16	0,55	-	-	0,11	178,00
s	0,06	-	107,81	0,13	0,25	-	-	0,05	19,87
v	11,16	-	20,49	11,11	45,76	-	-	46,90	11,16

S10	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	ϵ_{τ_p}	ϵ_{τ_b}	ΔL_{τ_p}	ΔL_{τ_b}	Fmax- τ_p
n = 4	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	1,50	0,39	2308,49	1,00	0,41	36,93	7,33	0,05	469,96
s	0,63	0,10	404,53	0,40	0,26	16,65	3,25	0,04	197,57
v	42,04	25,46	17,52	40,24	63,75	45,08	44,33	82,19	42,04

S11	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	16,26	4,78	3242,55	8,38	3,86	20,18	4,04	0,77	5105,82
s	0,46	1,72	685,57	1,25	0,81	4,19	0,84	0,17	142,91
v	2,80	35,99	21,14	14,85	20,97	20,78	20,88	21,62	2,80

S12	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	29,19	28,90	9575,35	4,71	1,34	1,51	0,31	0,27	9165,62
s	0,93	1,08	1035,51	0,20	0,28	0,36	0,07	0,05	292,88
v	3,20	3,72	10,81	4,34	20,75	24,10	23,10	19,70	3,20

S13	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	12,82	12,82	6085,00	2,90	0,38	0,38	0,08	0,08	4024,14
s	1,27	1,27	696,37	0,34	0,18	0,18	0,04	0,04	399,37
v	9,92	9,92	11,44	11,87	48,48	48,48	46,35	46,35	9,92

S14	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	21,86	7,05	6924,37	6,46	1,18	0,97	0,19	0,24	6864,59
s	0,43	0,95	1504,69	0,41	0,26	0,39	0,08	0,05	135,03
v	1,97	13,47	21,73	6,31	21,96	40,40	40,57	21,88	1,97

S15	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	5,27	4,33	1373,24	18,68	30,08	54,10	10,82	6,01	1655,16
s	0,07	0,35	305,64	0,58	3,25	7,14	1,43	0,65	22,26
v	1,35	8,12	22,26	3,12	10,81	13,19	13,18	10,78	1,35

S16	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 5	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	0,16	0,00	73,55	6,39	30,79	107,49	21,50	6,15	48,87
s	0,09	-	9,23	13,69	68,02	-	-	13,60	28,16
v	57,62	-	12,55	214,06	220,96	-	-	221,09	57,62

S17	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 4	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	5,68	5,63	966,51	4,33	1,22	1,30	0,26	0,24	1784,27
s	0,58	0,55	69,73	0,48	0,08	0,13	0,03	0,02	182,02
v	10,20	9,69	7,22	11,09	6,32	9,85	10,23	6,42	10,20

S18	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 4	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	2,62	0,52	613,31	2,39	1,17	62,46	12,49	0,23	822,04
s	1,16	0,23	128,08	0,72	0,89	16,80	3,36	0,18	363,54
v	44,22	44,23	20,88	29,97	76,00	26,89	26,87	77,20	44,22

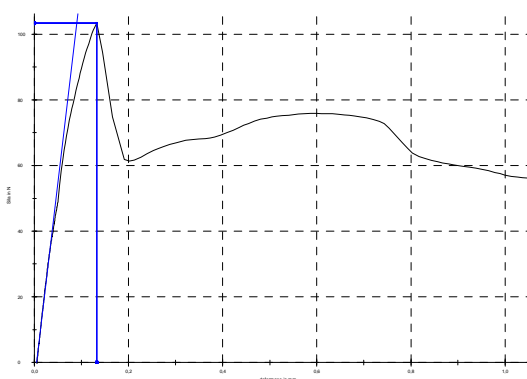
S19	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def- τ_p	$\epsilon_{\tau p}$	$\epsilon_{\tau b}$	$\Delta L_{\tau p}$	$\Delta L_{\tau b}$	Fmax- τ_p
n = 3	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N
x	0,42	0,08	232,63	1,42	1,13	30,45	6,09	0,23	133,15
s	0,10	0,02	20,12	0,38	0,87	26,66	5,33	0,17	30,07

S19	τ_p	τ_b	G-Modul	Celková def-	τ_p	ϵ_{τ_p}	ϵ_{τ_b}	ΔL_{τ_p}	ΔL_{τ_b}	$F_{max-\tau_p}$
n = 3	MPa	MPa	Mpa	mm	%	%	mm	mm	N	
v	22,58	27,25	8,65	26,51	77,35	87,56	87,50	76,33	22,58	

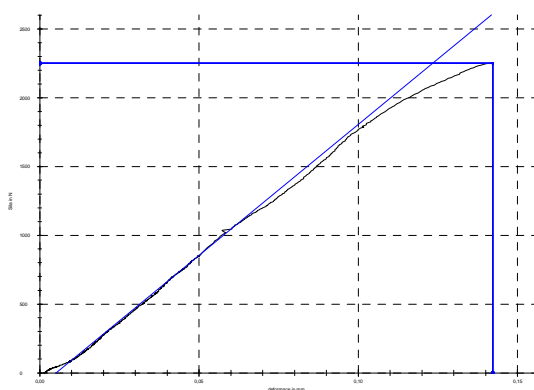
PŘÍLOHA P III: ZKOUŠKA SMYKEM- GRAFY ZÁVISLOSTI F/N- DEFORMACE/mm PRO JEDNOTLIVÉ SÉRIE

-kde: číslo série/ číslo zkoušky uvedené v P I.

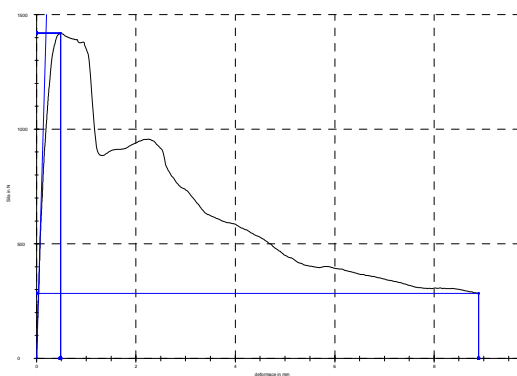
S1/ 1



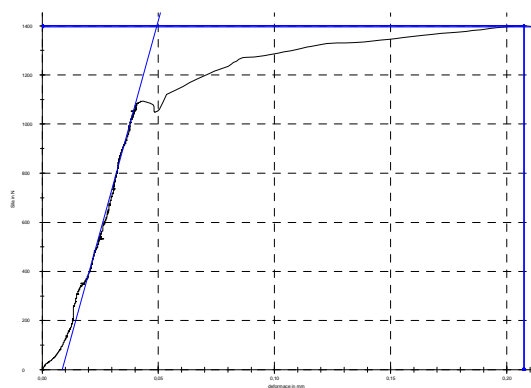
S2/ 9



S3/ 10

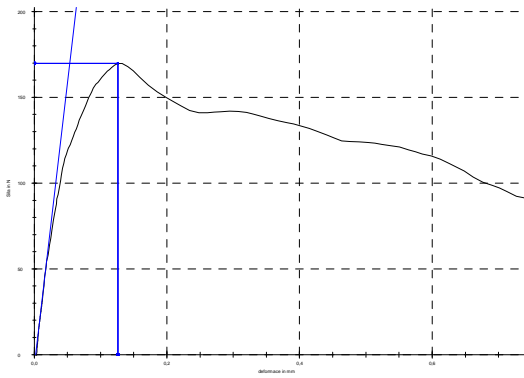


S4/ 17

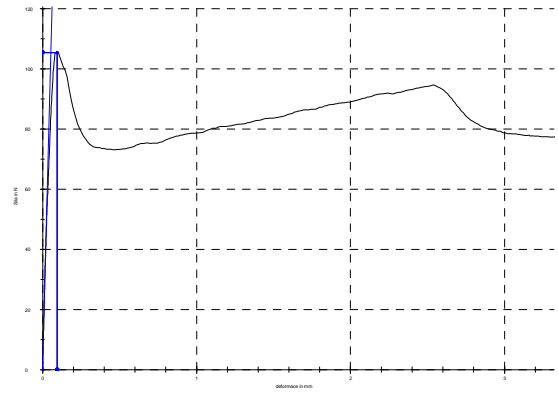


S5/ 23

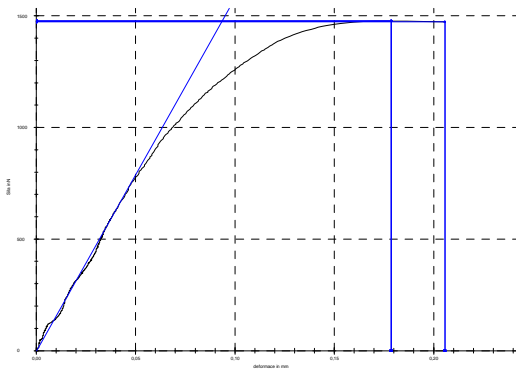
S6/ 28



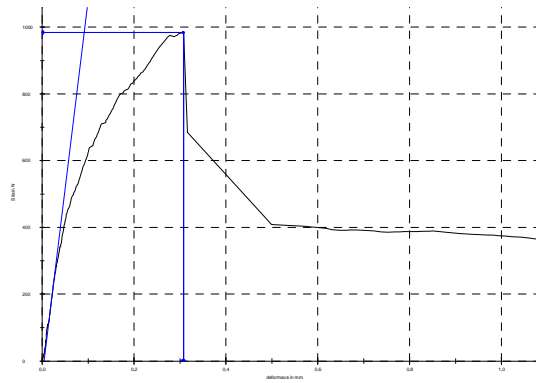
S7/ 31



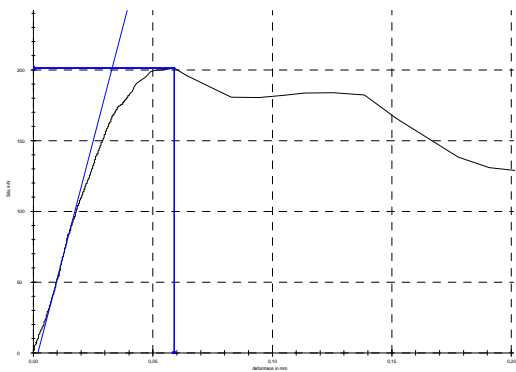
S8/ 36



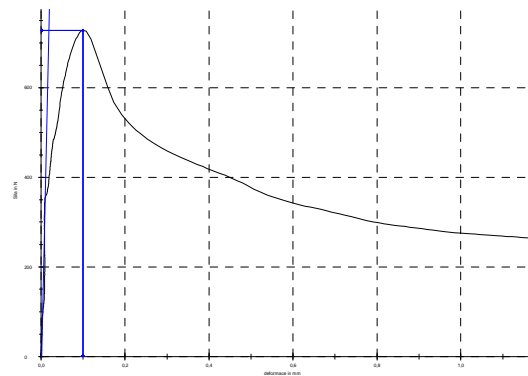
S9/ 44



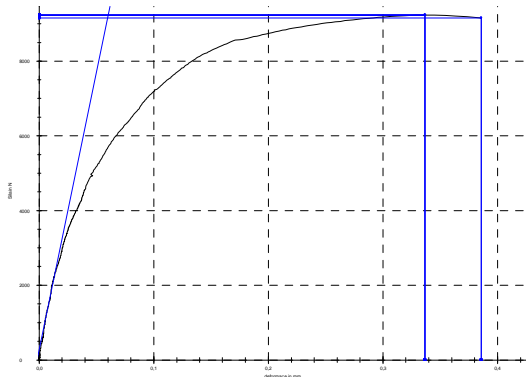
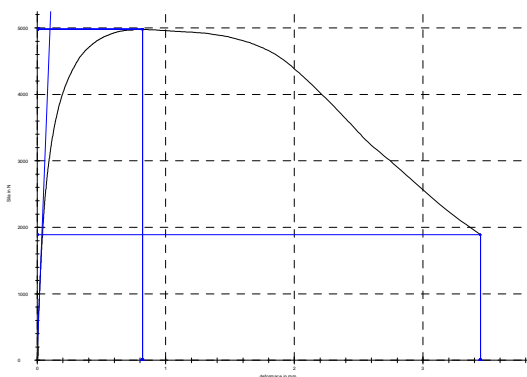
S10/ 49



S11/ 55

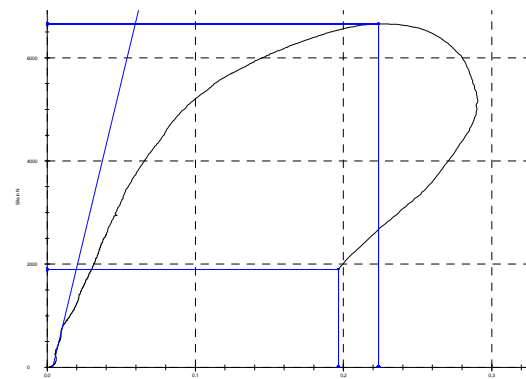
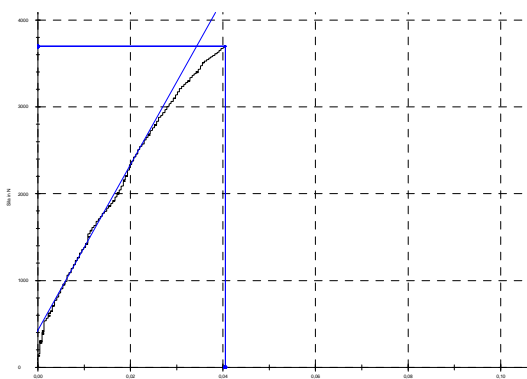


S12/ 61



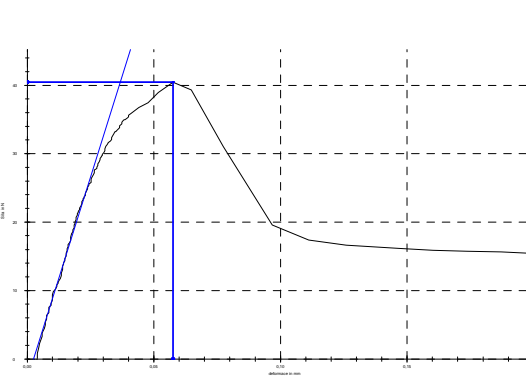
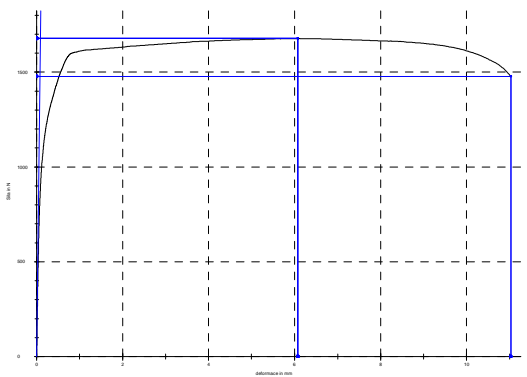
S13/ 63

S14/ 68



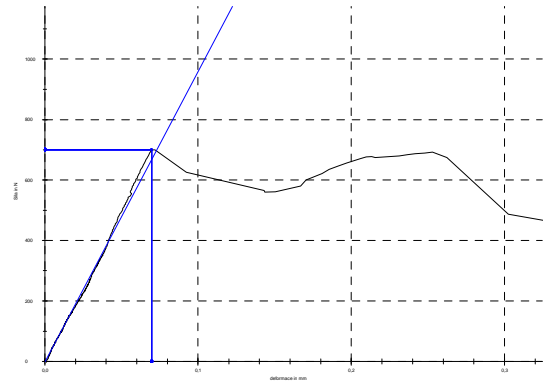
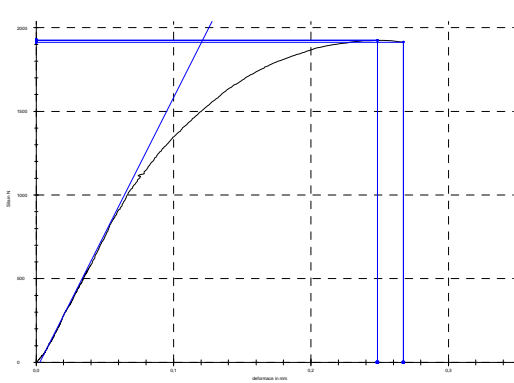
S15/ 77

S16/ 81



S17/ 85

S18/ 90



S19/95

