

Bakalářská práce

Analýza deformace lepeného spoje

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

Strojírenství

David Chmátal

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Analýza deformace lepeného spoje

Jméno a příjmení:

David Chmátal

Osobní číslo:

S20000173

Studijní program:

Strojírenství

Zadávající katedra:

Katedra strojírenské technologie

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Přehled technologií rozebíratelného a nerozebíratelného spojování plechů (svařování, nýtování, lepení atd.).
2. Možnosti bezkontaktní analýzy deformace, základy fotogrammetrie.
3. Experimentální zjištění vlivu tepelného zatížení na velikost zbytkových deformací plechů při aplikaci různých typů lepidel.
4. Závěr.

<i>Rozsah grafických prací:</i>	tabulky, grafy
<i>Rozsah pracovní zprávy:</i>	cca 30 stran
<i>Forma zpracování práce:</i>	tištěná/elektronická
<i>Jazyk práce:</i>	čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D. ADAMS, ed. Handbook of adhesion technology. Heidelberg: Springer, 2011. Springer reference. ISBN 978-3-642-01168-9.
- [2] ADAMS, Robert D., ed. Adhesive bonding: science, technology and applications. Boca Raton : Cambridge: CRC Press ; Woodhead Pub, 2005. ISBN 978-0-8493-2584-7.
- [3] DWIVEDI, DHEERENDRA KUMAR. FUNDAMENTALS OF METAL JOINING: processes, mechanism and performance. S.l.: SPRINGER, 2021. ISBN 9789811648182.
- [4] LUHMANN, Thomas, Stuart ROBSON a Stephen KYLE, ed. Close-range photogrammetry: principles, methods and applications. Dunbeath: Whittles, 2006. ISBN 978-1-870325-50-9.
- [5] NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KŘÍŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5786-5.

<i>Vedoucí práce:</i>	Ing. Jiří Sobotka, Ph.D. Katedra strojírenské technologie
-----------------------	--

<i>Datum zadání práce:</i>	3. října 2022
<i>Předpokládaný termín odevzdání:</i>	29. května 2023

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Iva Nováková, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

29. května 2023

David Chmátal

Analýza deformace lepeného spoje

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou deformace plechů, které jsou spojené pomocí technologie lepení. V teoretické části lze nalézt informace ohledně technologií rozebíratelných a nerozebíratelných spojů a základní informace ohledně bezkontaktního měření a fotogrammetrie. Cílem praktické části bylo zjištění deformace, vyvolané vytvrzováním lepidla za vysoké teploty v peci u tří typů lepidel. Deformace se týkaly pohledových dílů, které jsou používány v automobilovém průmyslu.

Klíčová slova

Rozebíratelné spoje, nerozebíratelné spoje, šroubový spoj, svařování, lepení, fotogrammetrie

Deformation analysis of the glued joint

Annotation

This bachelor's thesis deals with the analysis of the deformation of sheets that are connected using gluing technology. In the theoretical part, you can read information about the technologies of removable and non-removable joints and basic information regarding non-contact measurement and photogrammetry. The aim of the practical part was to determine the deformation caused by curing the adhesive at high temperatures in the oven for three types of adhesives. The deformations concerned visible parts that are used in the automotive industry.

Keywords

Demountable joints, non-demountable joints, screw joint, welding, gluing, photogrammetry

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Sobotkovi, Ph.D. a konzultantovi, panu doc. Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D., za odborné vedení, věnovaný čas a ochotu během měření a celé tvorby této bakalářské práce. Také bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale za veškerou motivaci během studia na vysoké škole. Nechtěl bych zapomenout ani na své skvělé kolegy, se kterými to společně zvládáme už od střední školy.

Obsah

Seznam použitých zkratek	10
1 Úvod	11
2 Teoretická část.....	12
2.1 Technologie rozebíratelných spojů.....	12
2.1.1 Šroubový spoj.....	12
2.1.2 Kolíkový spoj	13
2.1.3 Čepový spoj.....	14
2.1.4 Klínový spoj	15
2.1.5 Perové spoje.....	16
2.1.6 Svěrné spoje.....	17
2.2 Technologie nerozebíratelných spojů.....	19
2.2.1 Lepení	19
2.2.2 Svařování.....	21
2.2.3 Pájení	24
2.2.4 Nýtování	27
2.3 Bezkontaktní analýzy deformace	29
2.3.1 Laserový extenzometr	30
2.3.2 Optický extenzometr	30
2.3.3 Video extenzometry.....	32
2.3.4 Fotogrammetrie	34
2.3.5 Princip skenování pomocí Atos II	35
3 Experimentální část.....	36
3.1 Analýza silových a deformačních účinků lepidla	38
3.1.1 Příprava na proces měření	39
3.2 Měření deformace ve speciálním přípravku.....	44
3.2.1 Materiály přípravku	45

3.2.2	Testovaná lepidla	46
3.2.3	Příprava na měření.....	46
3.2.4	Proces měření	48
4	Vyhodnocení a diskuze výsledků	52
4.1	Vyhodnocení silových a deformačních účinků lepidla.....	52
4.1.1	Měření síly za nulové deformace	52
4.1.2	Měření deformace za nulové síly	55
4.1.3	Porovnávací tabulka lepidel a diskuze	57
4.2	Vyhodnocení deformace ve speciálním přípravku	58
4.2.1	Lepidlo Sika Power 492	58
4.2.2	Lepidlo Teroson RB 3220.....	59
4.2.3	Lepidlo Teroson RB 3266.....	59
4.2.4	Diskuze měření pomocí speciálního přípravku	60
5	Závěr	61
	Použitá literatura	62
	Přílohy.....	65
1.	Statická zkouška tahem HX260 směr 0°	65
2.	Statická zkouška tahem HX260 směr 45°	66
3.	Statická zkouška tahem HX260 směr 90°	67
4.	Statická zkouška tahem DC05 směr 0°.....	68
5.	Statická zkouška tahem DC05 směr 45°.....	69
6.	Statická zkouška tahem DC05 směr 90°.....	70
7.	Inspekce Sika Power 492.....	71
8.	Po tepelné úpravě Sika Power 492	71
9.	Rovinnost Sika Power 492	72
10.	Inspekce Teroson RB 3220	72
11.	Po tepelné úpravě Teroson RB 3220.....	73
12.	Rovinnost Teroson RB 3220.....	73

13. Inspekce Teroson RB 3266.....	74
14. Po tepelné úpravě Teroson RB 3266.....	74
15. Rovinnost Teroson RB 3266.....	75
16. Materiálový list lepidla Sika Power 492.....	76
17. Materiálový list lepidla Teroson RB 3220.....	78
18. Materiálový list lepidla Teroson RB 3266.....	80

Seznam použitých zkratek

KSP	Katedra strojírenské technologie
KSA	Katedra výrobních systémů a automatizace
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing

1 Úvod

Lepené spoje jsou nedílnou součástí výroby v automobilovém průmyslu a v současné době zastoupení lepidel v částech karoserie stále roste. Velkou výhodou této technologie nerozebíratelného spoje je fakt, že po vytvrzení lepidlo v karoserii plní velmi dobrou těsnicí funkci, kterou nám jiná spojení, ať už rozebíratelná nebo nerozebíratelná neposkytnou. Další dobrou vlastností lepení je tlumení vibrací. Díky těmto vlastnostem, které se dále vyvíjejí a vylepšují, se lepení dostalo do popředí v automobilovém průmyslu před svařování, nýtování či spojení pomocí šroubů. Avšak přes všechny tyto výhody má lepení také své nevýhody, a tím je proces vytvrzování, během kterého se spojované díly nekontrolovatelně deformují. Přesně to je důvodem zpracování této bakalářské práce, která může těmto nepříjemným vlastnostem lepidel předejít například zlepšením konstrukce tak, aby docházelo při vytvrzování k menším deformacím pohledových plechů automobilů. Vytvrzování v automobilových závodech probíhá v lakovně, a tím pádem je potřeba, aby proběhlo co nejrychleji a zároveň, aby způsobilo co nejmenší škody či vady.

2 Teoretická část

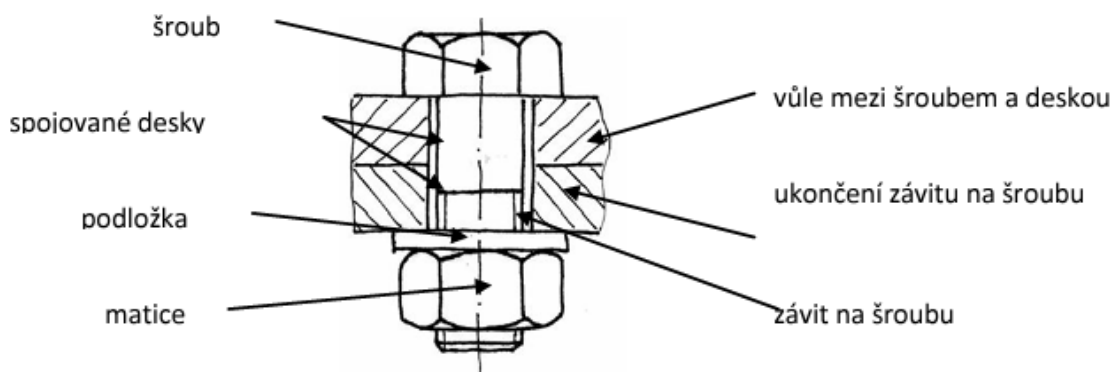
2.1 Technologie rozebíratelných spojů

Rozebíratelné spojení je technologie, u které se dají spojované materiály rozdělit ručně, nebo s použitím nástroje, aniž by byly poničeny spojovací součásti či spojované díly. Mezi rozebíratelné spoje patří šroubový spoj, kolíkový spoj, čepový spoj, klínový spoj, perové spoje a svěrné spoje. Tyto spoje se používají v místech, která potřebujeme jednou za čas demontovat, jako například převodová skříň, kvůli výměně ložisek. Nebo také tam, kde bychom žádnou z nerozebíratelných technologií nemohli použít. [1]

2.1.1 Šroubový spoj

Tento druh spoje je nejpoužívanější technologií rozebíratelných spojů, kterým se spojují dvě či více součástí. Při této metodě se pro spojení používá šroub, který je našroubován do předřezané díry, matice a v některých případech, kde je to potřeba, tak také podložka, která slouží k zajištění spoje před uvolněním, lepšímu rozložení tlaku a brání před poškozením spojovaných součástí. Šroub se skládá z hlavy šroubu, která má nejčastěji tvar šestihranu a dřívku, který má válcovitý tvar a je na něm závit. Matice je šestihránná součást s dírou, kde na vnitřní straně je závit. Všechny součástky šroubového spoje bývají většinou normalizované, a to jak šroub, matice i podložka. [2]

Jedná se o tvarový spoj, síla z jedné součásti se převádí na druhou, a naopak pomocí tvaru, v tomto případě šroubovice. Může dojít také k silovému spojení, to v případě, když utáhneme šroub a vznikne předpětí. V tomto případě vznikne osová, normálová síla ve šroubu i ve spojovaných dílech a tím dojde i ke třetí – tangenciální síle ve spoji. [2]



Obrázek 1: Součásti šroubového spoje [2]

2.1.2 Kolíkový spoj

Spoj pomocí kolíku je nejstarší a nejjednodušší způsob rozebíratelného spojení. Spojení se uskutečňuje tvarovým stykem. Stejně jako u šroubů, tak i kolíky jsou normované součásti, které mají za úkol pevné zajištění dvou či více součástí v přesné poloze a zadržení posouvajících příčných sil. Kolíky se rozdělují na válcové a kuželové podle jejich tvaru a způsobu použití. U válcových je kolík vsazen do díry s předpětím, které je zajištěno určitým přesahem a u kuželových platí samosvornost a jejich kuželovitost je 1:50. Častá montáž a demontáž kolíkových spojů snižuje jejich spolehlivost. [3]

Válcové kolíky

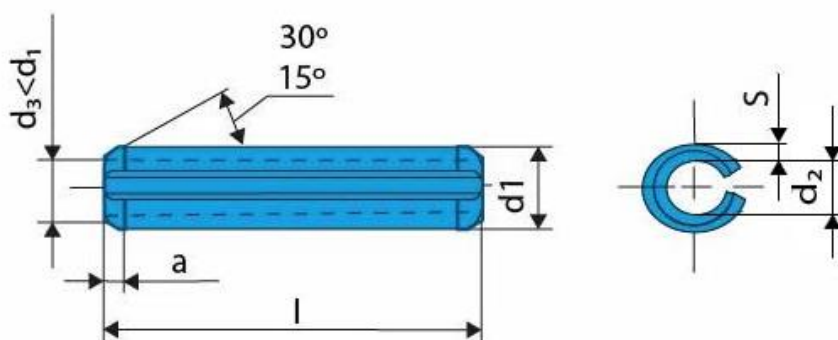
Válcové kolíky bývají většinou lícované. Kolíky jsou většinou kalené a díry se vrtají a následně vystružují u všech spojovaných dílech současně. Aby se lépe montovaly, tak na konci kolíku je zaoblení nebo vodící kužel. [4]

Kuželové kolíky

Tyto kolíky se používají nejčastěji jako spojovací. Oproti válcovým kolíkům jsou samosvorné a stejně jako u válcových je nutné díru pro kolík vrtat a vystružovat u všech dílů zároveň, aby nedošlo k chybnému vyvrtání děr vůči sobě. Pro jejich demontáž se používají kolíky s vnitřním závitem, které lze vyndat i ze slepých děr. [4]

Pružné kolíky

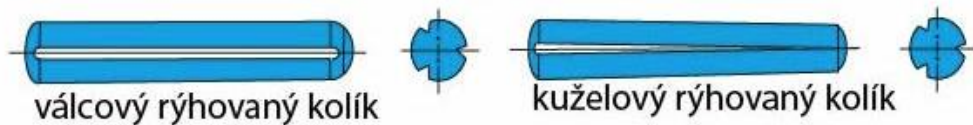
Pružné kolíky jsou vhodné při spojení součástí, u kterých dochází k vibracím a které čelí rázovým silám. Díra se nemusí vystružovat, protože se pružný kolík v díře přizpůsobí. Většinou bývají kalené a v díře pruží. Výhodou použití je úspora materiálu, jelikož jsou duté. [4]



Obrázek 2: Pružný kolík [4]

Rýhované kolíky

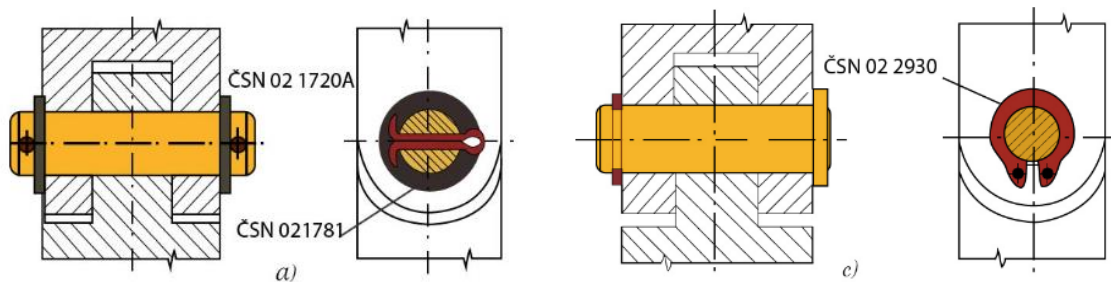
Jedná se o válcový kolík, který má po obvodu tři rovnoměrně rozmístěné rýhy. Hloubka těchto rýh nemusí být po celé délce kolíku stejná. Válcováním vzniknou na obou stranách rýh výstupky, které se při zaražení kolíku zatlačí zpět do rýhy a kolík je pružně předepjat velkým radiálním tlakem proti stěnám otvoru, čímž se kolík zajistí vůči uvolnění. Není potřeba díru pro kolík vystružovat a není vhodné používat tyto kolíky u spojů, které se často rozebírají. [3]



Obrázek 3: Rýhované kolíky [4]

2.1.3 Čepový spoj

Pomocí čepového spoje získáme jednoduše rozebíratelný spoj s tvarovým stykem. Spojovacím dílem je čep, který má válcový tvar a je tlustší než kolík, takže jeho výhodou je, že dokáže unést větší zatížení. Pomocí tohoto spoje se dá vytvořit kloubové spojení, jelikož je čep uložen v součástech s vůlí. Proto se jeho využití najde v lanových kotoučích, nosné hřídele u kladek, jako zajištění pák, nebo třeba u oběžných kol. Výhodou je jejich ekonomičnost a možnost snadné montáže a demontáže. Čepové spoje dokáží přenášet pouze radiální zatížení a musí být zajištěny v axiálním směru. Nejčastěji se vyrábí z automatové oceli 11 107, také je možné čepy vyrábět z ocelí 11 500, 11 600, 12 020 nebo 14 220 v případě, když jsou namáhané i na otěr. V axiálním směru se dají zajistit pomocí závlaček a hladké podložky (obrázek 4) nebo pomocí pojistných pružných hřídelových kroužků (obrázek 4). [4]



Obrázek 4: Zajištění čepů [4]

a) pomocí závlaček a hladké podložky, c) pomocí pojistného kroužku

2.1.4 Klínový spoj

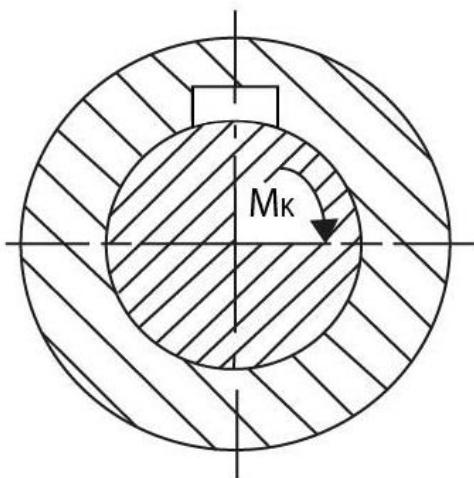
Klínový spoj zajišťuje rozebíratelné spojení hřídele s nábojem s kombinovaným stykem. Jeho principem je předpětí, které vznikne při nasunutí klínu do drážky. Pomocí klínu se přenáší kroutící moment. Při nasunutí klínu mezi hřídel a náboj se tyto dvě části vzeprou, takže se v podstatě klín nalisuje pomocí síly. Úkolem klínu je zajištění osového posuvu náboje. Je také možné přenášet střídavý kroutící moment, v tomto případě je nutné klíny umístit 120° od sebe. Tento způsob zajištění není vhodný pro převod kroutícího momentu ozubenými koly, protože se může vyskytovat házení způsobené nesouosostí hřídele s nábojem. Házení můžeme snížit tím, jestliže dokážeme zajistit minimální vůli mezi hřídelem a nábojem. [4]

Třecí klín

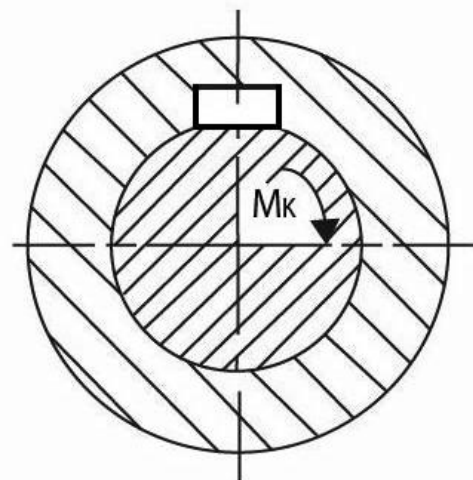
Třecí klín přenáší kroutící moment pouze pomocí tření a používá se pouze pro přenos malých momentů nebo při dočasném spojení hřídele s nábojem. Pro představu se tento klín používá pro přenos třetinového momentu, který je určený pro hřídel. Na spodní straně klínu je vyrobena stejně zaoblená plocha, jakou je plocha na hřídeli, aby na sebe přesně zapadly (obrázek 5). [4]

Ploský klín

Je podobný jako třecí klín, avšak nemá zaoblenou spodní plochu a na hřídeli je vyrobena dosedací plocha pro klín o šířce b (obrázek 6). Přenáší podobně velké momenty jako třecí klín, tudíž jednu třetinu kroutícího momentu, pro který je navrhován hřídel. Kroutící moment je opět převážně přenášen pomocí tření. [4]



Obrázek 5: Třecí klín [4]



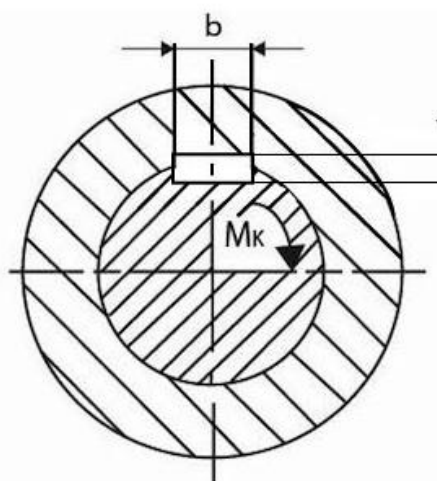
Obrázek 6: Ploský klín [4]

Drážkový klín

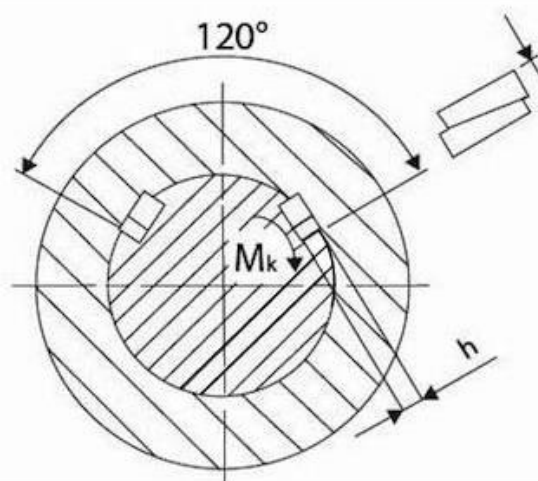
Na vnitřní straně náboje se vyrobí drážka o určité výšce a šířce b , do které se drážkový klín vloží. Slouží pro přenos vyšších kroutcích momentů než předešlé dva klíny. V případě, že má být klín umístěn ve středu hřídele, tak musí být drážka pro klín minimálně dvakrát větší než klín samotný. Přenos kroutcího momentu je zajištěn boky klínu a ne třením. [4]

Tangenciální klín

Někdy se mu také říká klín tečný a jde o dva páry klínů, které jsou od sebe pootočený o 120° . Používají se u spojů, kde může dojít k rázům. Mohou přenášet velké kroutcí momenty v obou směrech. Při použití těchto klínů se hřídel tolik neoslabí, jako tomu bývá u drážkového klínu. Po dimenzování hřídele vybereme vhodný klín ze strojnických tabulek podle průměru hřídele. [4]



Obrázek 7: Třecí klín [4]

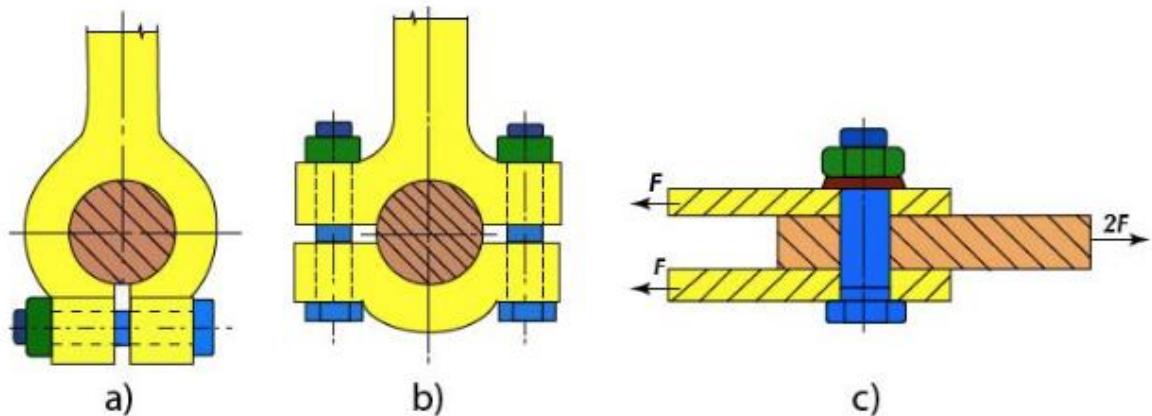


Obrázek 8: Ploský klín [4]

2.1.5 Perové spoje

Perové spoje se používají pro spojení hřídele s nábojem, při čemž pero tlačí na boční stěny na boční stěny drážky a tím se přenáší kroutcí moment. Dovolovaný tlak u per vyrobených z šedé litiny je stanoven na 40 MPa až 50 MPa a u per z oceli či oceli na odlitky je dovolovaný tlak roven 90 MPa až 100 MPa. Pera se pro určitou hřídel pouze zvolí podle průměru hřídele a jinak se nadále nepočítají ani nekontrolují, jsou totiž normované a všechny jejich rozměry a tolerance najdeme ve strojnických tabulkách. Nejpoužívanějšími pery jsou

velikosti sevření, na velikosti plochy tlakové spáry a na stykovém tlaku, který je omezen dovoleným tlakem v průmětu stykové plochy náboje a hřídele. Při použití jak ocelového hřídele, tak i náboje, nebo když jsou oba díly z oceli na odlitky je dovolený tlak roven 50 MPa až 90 MPa a pro případ kdy je náboj vyroben ze šedé litiny je dovolený tlak roven 30 MPa až 50 MPa. Mezi svěrné spoje patří svěrný spoj se šroubem, svěrný spoj kuželového konce hřídele s nábojem, rozpěrný spoj s pružnými kroužky, svěrný spoj s celistvým nábojem a šroubem, s klínem či plošný se šroubem. [4]

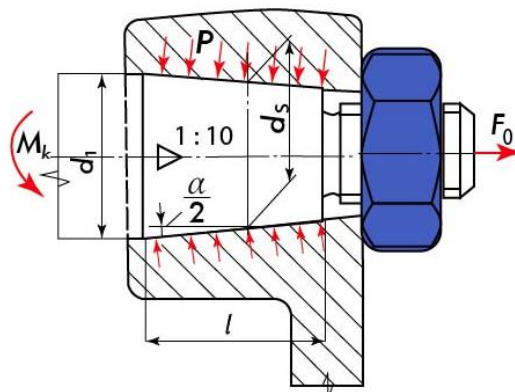


Obrázek 12: Svěrný spoj se šroubem [4]

a) s děleným nábojem, b) s rozříznutým nábojem, c) spojení plochých součástí

Svěrné spoje s kuželem

U svěrných spojů s kuželem je třecí plochou kužel a síla ve šroubu F_0 vyvolává potřebný tlak ke spoji (obrázek 13). Když chceme zvětšit kroutící moment, je vhodné přidat ke svěrnému kuželovému spoji ještě kotoučové nebo těsné pero. Většinou se tento typ spoje používá na koncích hřídele, přičemž tyto konce jsou normalizovány. [3]



Obrázek 13: Svěrný spoj kuželového konce hřídele s nábojem [4]

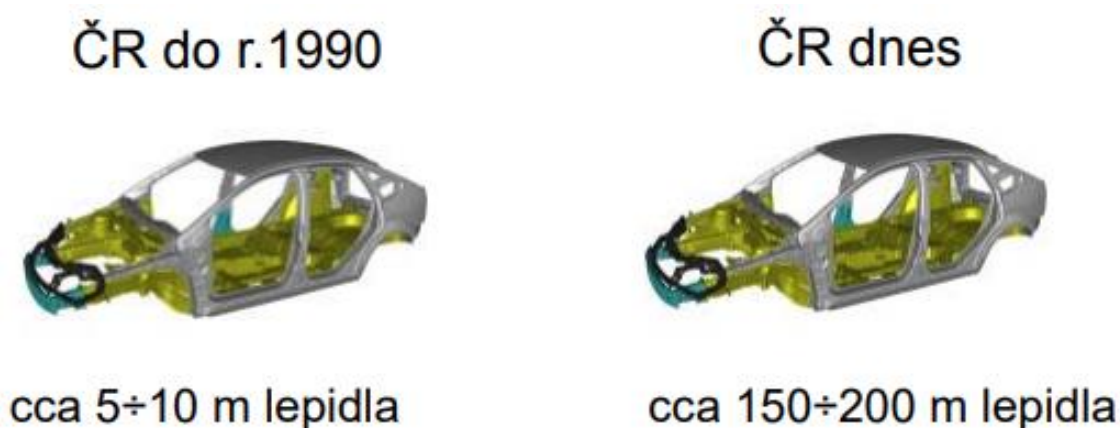
2.2 Technologie nerozebíratelných spojů

„Nerozebíratelný spoj je takový mechanický spoj, který nelze rozebrat a opět složit, aniž by došlo k jeho poškození. Typickým příkladem je spoj svařovaný, pájený, lepený nebo nýtovaný. Speciálním případem je smykové spojení ocelobetonových konstrukcí, které je tvořeno zabetonovanými smykovými svorníky (trny). Nerozebíratelný spoj lze též vytvořit nalisováním dvou součástí o různé teplotě.“ [5]

2.2.1 Lepení

Pomocí technologie lepení se spojují plochy dvou různých materiálů pomocí třetího prvku, kterým je lepidlo. Existuje mnoho druhů lepidel, nejpoužívanější jsou ta, která se při aplikaci nacházejí v tekutém stavu, v některých případech se používají spíše ty tužší. U obou typů lepidel je však důležitá jejich přilnavost k povrchu, nebo také adheze, samotná soudržnost lepidla, které se také říká koheze a v neposlední řadě pevnost lepeného materiálu a smáčivost lepidla. [6]

V dnešní době se spojování materiálu pomocí lepení dostává do popředí, před ostatní technologie. Jinak tomu není v automobilovém průmyslu (obrázek 14), kvůli komplexnímu využití lepidel a vývoji nových materiálů, které si žádají jeho použití, jelikož nejsou svařitelné nebo nelze použít jinou konvenční technologii pro spojení potřebných materiálů. [6]



Obrázek 14: Použití lepidla při výrobě auta v ČR [7]

Příprava materiálů na lepení

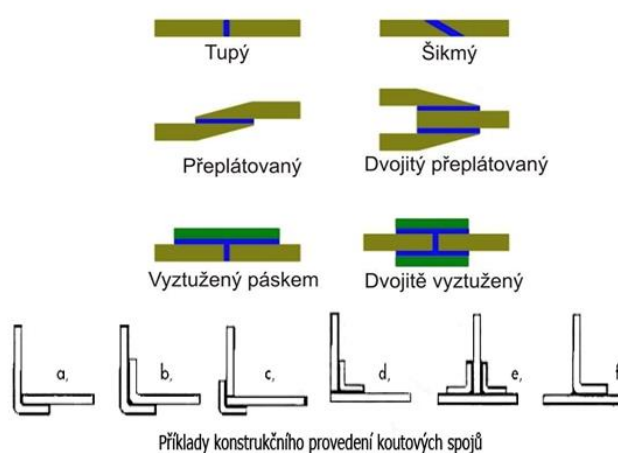
Příprava materiálů na lepení začíná tím, že se materiál nařeže dle potřeby, následně se čistí, odmašťuje a slícují se lepené díly k sobě. Závěrem přípravy je dokonale čistý povrch, s co nejlepšími adhezními podmínkami a zabránit následnou oxidaci lepidla. Proto je

všude uvedeno, že nejdůležitější operací při lepení je příprava lepených materiálů. Povrchová úprava, kterou spojované díly podstupují, je ovlivněna jejich materiálem, druhem použitého lepidla, životností spoje a provozních podmínkách. Na přípravu lepených spojů se používají různá alkalická odmašťovadla, odmašťování v parách a tamponování rozpouštědly, která budoucí spoj zbaví nečistot a mastnot. Mezi nejpoužívanější odmašťovadla patří technický líh, aceton, toluen aj. Není vhodné používat benzin a laková rozpouštědla. [8]

Konstrukce lepených spojů

Spojované díly pomocí technologie lepení musíme konstrukčně připravit tak, aby byly co nejméně složité a vhodné k lepení. Při montáži je vhodné se vyhnout lepení dílů, které jsou následně při vytvrzování lepidla vystavovány odlupujícím silám. Není vhodné lepit konstrukce se složitým tvarem jako je například zakřivení nebo zaoblení. Při lepení dvou dílů je vhodné, aby se mechanické namáhání rozložilo rovnoměrně, ne pouze do jednoho nosného bodu či malé nosné plochy. Lepený spoj nesmí být namáhán při vytvrzování lepidla a je vhodné, když je po vytvrzení namáhán tahem nebo smykem. Plocha, na které je naneseno lepidlo musí být dostatečně velká, aby spoj kvalitně držel. Při navrhování lepeného spoje se vzdálenost, na kterou se nanáší lepidlo, počítá pomocí pevnostních výpočtů. Dobré je, když materiály, které k sobě lepíme, mají podobné koeficienty roztažnosti. Nejpoužívanějším spojem pomocí technologie lepení je přeplátovaný spoj, kdy se jeden materiál přeloží přes druhý (obrázek 15). Po slepení dvou dílů se následně může zpevnit spoj, například pomocí šroubového spoje, pro dosažení potřebné pevnosti. Použité lepidlo se volí podle potřebné pevnosti spoje a samozřejmě také podle ceny lepidla. [8]

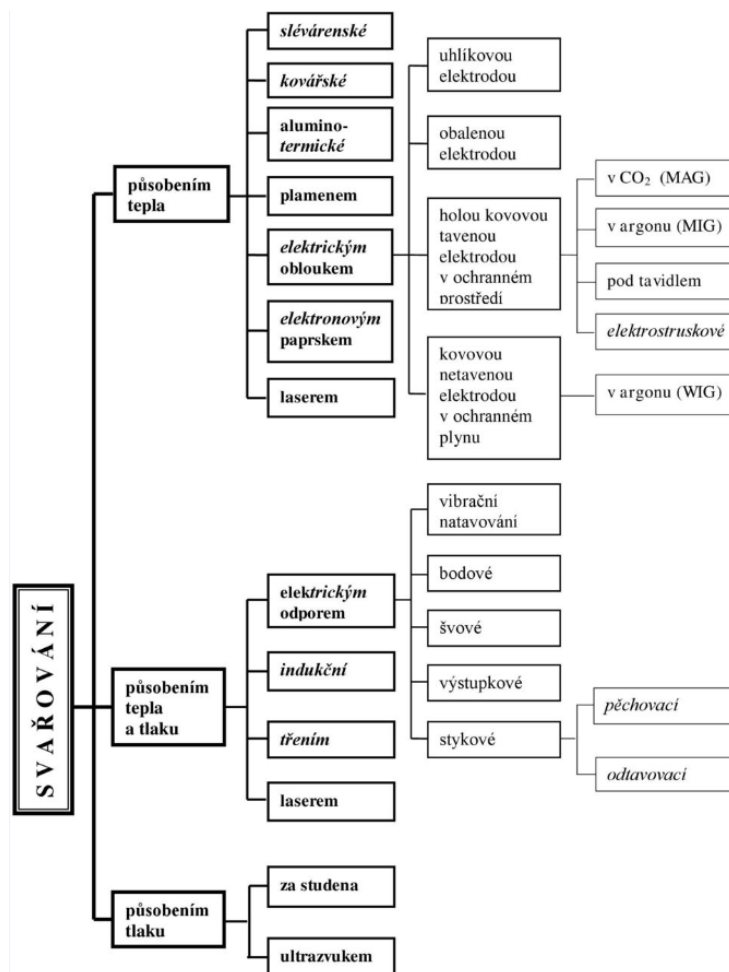
Typy spojů



Obrázek 15: Typy spojů [9]

2.2.2 Svařování

Tato technologie slouží k trvalému spojení dvou či více dílů k sobě. Jedná se o nerozebíratelný spoj. Požadavkem ke svaření dvou součástí je vytvoření termodynamických podmínek pro vznik nových meziatomových vazeb. Jelikož je hodně složité spojit materiál na úrovni meziatomových vazeb za běžné teploty a tlaku, je potřeba tento termodynamický stav změnit, aby byl nestabilní. To se zaručí tím, že se do místa, kde chceme materiál spojit přivede buďto vysoká teplota nebo tlak. Také je možné působit oběma faktory najednou, tomu se také říká svařování za působení tepla a tlaku. Čím větším působíme tlakem, tím méně je potřeba tepla a naopak. Tavné svařování je spojování materiálu za působení převážně tepla a při tlakové svařování působí převážně tlak, proto aby se součásti spojily. Touto technologií se dají spojovat jak kovové, tak i nekovové materiály, které však mají podobné vlastnosti. Je mnoho metod svařování (obrázek 16). Každá metoda má své výhody a nevýhody a hodí se pro svaření jiných typů materiálů. Svařováním vždy dojde ke změně mechanických nebo fyzikálních vlastností svařovaného materiálu. [10]



Obrázek 16: Rozdělení svařování [11]

Druhy svařování

- Tavné svařování
- Tlakové svařování
- Svařování za působení tepla a tlaku

Tavné svařování

Při svařování za působení tepla se nataví spojovaný materiál v místě svaru a spojení se provede bez jakéhokoliv přídavného tlaku či rázů. Při mnoha metodách se do vytvořené svarové lázně přidává přídavný drát, který je ze stejného nebo hodně podobného materiálu jako spojované díly. V oblasti svaru má materiál jinou vnitřní strukturu než jinde, jelikož se jeho krystalizace při tuhnutí liší. Před samotným svařováním je nutné připravit svarovou plochu tím, že se tyto plochy očistí od nečistot a v mnoha případech také brousí na potřebný svar, aby se svářeči lépe svařovalo. Na začátku se mezi plochami vytvoří kořen svaru, na který se dále nabaluje další materiál do té doby, než se vyplní celá šířka a výška svaru. Před svařováním je nutné vědět, zda je materiál svařitelný. Zaručená svařitelnost je do 0,22 % obsahu uhlíku v železe. [11]

Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou – MMA

Jedná se o nejstarší metodu ručních obloukových svařování. Přesto je velmi používaná, díky své flexibilitě a možnosti svařování ve všech polohách. Při tomto typu svařování se taví kovový vnitřek i obal elektrody. Obal slouží k ochraně svarové lázně před okolními účinky vzduchu a před nečistotami. Po roztavení se nahází na svarové housence v podobě strusky, kterou je po svaření nutné odstranit. Struska má mnoho funkcí, jednou z nich je zpomalení chladnutí. To je důležité kvůli následnému menšímu pnutí v materiálu. Výhodou této metody je možnost svařovat v mnoha různých polohách. [11]

Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu – TIG

Název TIG je z anglického Tungsten Inert Gas což znamená, že je svařováno v inertním plynu a pomocí elektrody, která je z wolframu. Do netavící se wolframové elektrody se také přidává oxid thoria. Při této metodě hoří elektrický oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. V tomto místě vzniká svarová lázeň, do které se dodává přídavný materiál, který je ze stejného materiálu jako spojované díly pomocí svařování. Pro ochranu svarové lázně a stabilitu elektrického oblouku se používají interní plyny, mezi které patří

hélium, ale častěji se používá argon nebo také jejich směsi. V dnešní době se i tento typ svařování dá zautomatizovat. Touto metodou se svařuje střídavým i stejnosměrným napětím. Výhodou této metody je možnost svařovat všechny různé materiály jako jsou hořčík, hliník, měď, titan a jejich slitiny, ale také ocel. [11]

Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře – MIG/MAG

Při použití inertního plynu se jedná o svařování MIG, z anglického Metal Inert Gas a při použití aktivního plynu o svařování MAG, z anglického Metal Active Gas. Obě metody jsou vhodné pro svařování ve všech polohách, nejen proto jsou po celém světě nejrozsáhlejší. Tuto metodu lze snadno automatizovat, to je další důvod jejího vysokého využití. Při obou metodách se používá stejná svářečka, avšak se svařuje jiný materiál. Skrz svařovací hořák proudí ochranný plyn, který chrání svarovou lázeň před okolní atmosférou a také z něj vychází přídavný materiál, kterým je kovový drát, který také slouží k sepnutí elektrického oblouku. Tento drát může mít různé průměry od 0,8 mm až do 2,4 mm. Rychlost přídavného posuvu drátu může být nastavena na svařovacím zařízení. Pomocí metody MIG se svařují materiály jako hliník, titan, měď či jiné neželezné kovy. Mezi inertní plyny, které se u této metody používají pro ochranu svaru patří argon a hélium nebo jejich směsi, jako u obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu – tig. U metody MAG se používají aktivní plyny, mezi které patří CO_2 známé jako oxid uhličitý, argon či kyslík a jejich směsi. Svařovanými materiály jsou oceli. To jak nelegované, tak i nízkolegované a vysokolegované. [11]



Obrázek 17: Svařování metodou MIG/MAG [11]

Tlakové svařování

Tlakové svařování funguje na principu difúzního spojení atomů dvou různých dílů, které se k sobě natlačí vysokým tlakem. Při této metodě se do spoje nepřidává žádné teplo a spojení dojde čistě za pomoci tlaku. Mezi tlakové metody svařování patří svařování tlakem za studena, která se používá na výrobu nádrží či konzerv. V místě, kde chceme vytvořit nerozebíratelný spoj, natlačíme na sebe dvě různé součástky, které jsou zbavené oxidů a musí se před svařením očistit. Působící tlak dostane základní materiál až na mez plasticity, kde dojde ke spojení. Touto metodou se svařují materiály jako hliník, měď či nikl. Dalšími metodami tlakového svařování jsou navařování a nekonvenční metody svařování, mezi které patří svařování elektronovým paprskem, svařování laserem, svařování plazmou a svařování ultrazvukem. [12]

Svařování za působení tepla a tlaku

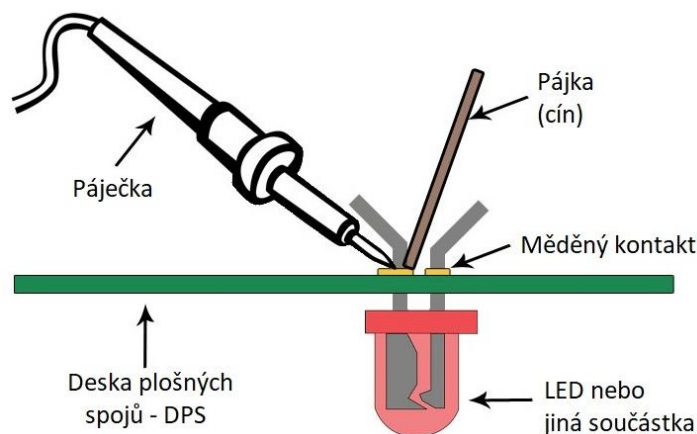
Tento typ svařování je založen na použití jak tepla, tak i tlaku, na trvalé spojení dvou či více součástí. Nejprve se stykové plochy tlakem spojí, ten není tak vysoký jako u tlakové svařování, potom se materiály nataví a dojde ke spojení. Výsledné vlastnosti pro spojení materiálů nejsou závislé na zdroji tepla, kterým jsou zahřáty před spojením. Jedním ze zdrojů je odpor, ze kterého vychází odporové svařování, do kterého patří svařování stykové, známé také jako svařování natupo, dále svařování bodové, švové, to se používá na svařování trubek a svařování výstupkové. Plochou, kterou chceme touto metodou spojit, protéká elektrický proud a je v tomto místě největší přechodový odpor. [13]

Výhodou těchto metod je možnost automatizace, která se využívá především v automobilovém průmyslu při výrobě karoserií, zejména svařování bodové. Každá svářečka se skládá ze dvou částí, to elektrické a mechanické. Mechanická část, která má za úkol sevřít součásti k sobě a elektrická část, která je následně zahřeje, aby mohlo dojít ke spojení. Po svaření se nejprve přeruší přívod proudu a až následně vypne dosedací tlak, aby nedošlo k rozpojení součástí během chladnutí. [13]

2.2.3 Pájení

Technologie pájení patří mezi nerozebíratelné spoje. Pomocí této technologie se spojují dvě či více součástí pomocí pomocného přídavného materiálu tzv. pájkou (obrázek 18). Rozdílem od svařování je to, že se dají spojovat i materiály s jiným chemickým složením. Pájka, kterou se materiály spojují, má zaručeně nižší teplotu než oba spojované materiály,

které se při této metodě spojování materiálu nesmí roztavit. Používají se dva typy pájek. Ty se rozdělují na pájky měkké a tvrdé. Pájky měkké mají teplotu tavení do 450 °C a tvrdé pájky mají teplotu tavení nad touto teplotou. [14]



Obrázek 18: Pájení [15]

Tavidla

Tavidla jsou prvky, které se používají před samotným pájením na očištění spojujících ploch. Na tyto plochy působí především chemicky, takže musí být správně zvoleny, aby základní materiál nepoškodily. Volí se podle druhu použité pájky, podle teploty pájení a vlastností spojovaného materiálu. Poté co se tavidly povrch očistí, tak má lepší smáčivost. Smáčivost je velice důležitá vlastnost při pájení, aby se pájka dostala do nejmenších mezer, které jsou potřeba zaplnit. Smáčivost nezávisí jen na čistém povrchu, ale také na metalurgických vlastnostech pájeného materiálu. [14]

Tavidla pro měkké pájení

Pro měkké a tvrdé pájení se používají různá tavidla. Pro pájení měkké se používají tekutější tavidla až v podobě kapaliny, jako například kyselina fosforečná či kyselina solná. Jedná se o látky, které chemicky působí na povrch, aby ho řádně očistily. Po pájení je potřeba zbytky těchto kapalin odstranit z pájeného prostoru, to za použití lihu nebo čisté vody. Dále se tavidla rozdělují podle toho, jaká pájíme materiál. U nerezové oceli se pro měkké pájení používá také směs lihu, vody a kyseliny fosforečné v poměru po jedné třetině. [14]

Tavidla pro tvrdé pájení

Pro pájení tvrdé se používají spíše tavidla, která jsou tužší ve formě kapaliny, pasty nebo prášku. Je možné použít tavidlo, které je přímo nabalené na přídavném drátu – pájce.

Tam jsou v podobě pevného obalu. Existuje také pájení ve vakuu, kde tavidla není potřeba používat, jelikož se nečistoty ve vakuu odpaří vysokou teplotou. [14]

Pájky

Jedná se o spojovací materiál, který se přidává do spoje při pájení. Je to kov nebo slitina kovů, která má nízkou teplotu tání. Rozdělují se na pájky měkké a pájky tvrdé, podle toho, z jakého jsou materiálu. Nejpoužívanějšími materiály pájky jsou olovo, cín a jejich slitiny. Pájky z těchto materiálu jsou měkké a nacházejí využití především v jemné elektrotechnice. Další využití je při letování konzerv, měděných potrubí nebo pozinkovaných plechů. V podstatě se najde využití ve všech odvětvích od medicíny, přes letectví až po automobilový průmysl. Pájení se provádí ručně i strojně, pro oba způsoby platí doporučení výskytu olova kolem 0,2 % - 0,5 %, kvůli ekologičnosti. Avšak bez použití olova se pájka stává méně pevnou a celkově ztrácí svoje mechanické vlastnosti jako únavovou odolnost, horší vzlínavost a rychlejší stárnutí. Pájky, které neobsahují olovo se označují PbF slitiny, z anglického Plumbum Free, nebo také zkráceně LF slitiny, jako Lead Free. [16]

Tvrde pájky

Od měkkých pájek se liší tím, že mají teplotu tání vyšší než 450 °C, nejčastěji se jedná o slitiny zinku, mědi a mosazi (mědi a zinku), nebo slitiny hliníku. Používají se u mechanicky namáhavějších spojích a u spojů, které mají držet ve vysoké teplotě. Dále také u spojování ocelí či dílů ze šedé litiny. Pro natavení pájky se používá autogen, kdy se nastaví ostřejší plamen a pomocí toho se pájka nataví a následně dává do místa spoje. Takto nastavený plamen má větší množství kyslíku. Nejprve se pájka nahřeje a vloží do boraxu, který má za úkol odstranit nečistoty. Poté se nechá pájka zkapat do místa spoje. [16]

Měkké pájky

Měkké pájky mají teplotu tání nižší než 450 °C, patří mezi ně cín nebo slitiny olova a cínu. Používá se do spojů, které nejsou tolik mechanicky ani teplotně namáhána. Pro tento typ pájek se používá elektrická páječka s měděným hrotem, který je ještě chráněn železem na povrchu. Před tím, než se na pájku nabere vrstva cínu, která se následně nechá skapat do spojovaného místa, se povrch spojovaných dílů musí zbavit nečistot a ošetřit tavidlem a tím se zbavit oxidů. [16]

Cín (Sn) [%]	Olovo (Pb) [%]	Teplota tání [°C]	Poznámka
25	75	271	hrubá pájka pro stavební klempířské práce, tavení plamenem
30	70	262	totéž co výše
33	67	180-230	PM 33, totéž co výše, rozmezí teplot dáno povolenými příměsemi
40	60	240	pro pájení mosazi
50	50	220	pro pájení mosazi, elektroměrů, plynoměrů, dřive i konzerv
60	40	190	Pro pájení v elektrotechnice
63	37	182	Pro pájení v elektrotechnice
90	10	220	Dřive užíváno v potravinářství

Obrázek 19: Teplota tání a využití měkkých pájek [16]

2.2.4 Nýtování

Tento typ nerozebíratelného spoje funguje na základě spojování součástí pomocí nýtů, které se pro spojení trvale deformují. Nýt má hlavičku, ta je obvykle půlkulového tvaru, krček a dřík, který se vloží do předvrtané díry. Po provlečení dříku dírou se mechanickou silou deformuje, aby trvale držel dva díly u sebe. Většinou se tento typ spojování používá u tenkých plechů, pásů či válcových tyčí L, U a I průřezů. Nevýhodou nýtového spojení je nezaručená přesnost vzájemné polohy spojovaných součástí, kvůli tomu se nepoužívá tam, kde je to potřeba. Při nýtování se v nýtech a ve spojovaných dílech vyskytne napětí, které není možné přesně spočítat, proto jeho využití v posledních letech klesá a nahrazuje se jinými technologiemi spojování, jako jsou svařování, pájení a lepení. Toto napětí vyvoluje deformace dříku nýtu a deformace spojovaných dílů, to se promítne do konstrukce, která musí být podle toho navržena. [17]

Využití však nýtování nachází u konstrukcí, které jsou namáhány rázy. Například u svařování může dojít k rychlému dosažení meze únavy, tím se může spoj narušit a později dokonce prasknout, to se u spojování pomocí nýtování nestane. Další využití může nýtování najít u nesvařitelných materiálů, při výrobě lehkých ocelových konstrukcí a u hliníkových slitin, u spojování plastů či textilním průmyslu k nerozebíratelnému spojování částí oblečení a v neposlední řadě u dynamicky namáhaných ocelových konstrukcí. [17]



Obrázek 20: Nýtování mostové konstrukce [17]

Přímé spojení

Nýtové spojení se dělí na dva způsoby. Jedním z nich je spojení přímé, u kterého se provádí spojování roznýtováním jedné části ve druhé části. Roznýtování probíhá zastudena, tudíž se používají materiály, které jsou dobře tvářitelné. Toto spojení se používá u součástí, které nejsou tolik namáhané. [17]

Nepřímé spojení

Na rozdíl od přímého spojení se u nepřímého používají nýty pro nerozebíratelné spojení dvou součástí. Nepřímé spojení pomocí nýtování se nadále dělí na nýtování pevné, nýtování pevné a nepropustné, nýtování nepropustné a stehové nýtování. [17]

Pevné nýtování

U tohoto typu nýtování přenášejí nýty pouze silová zatížení a používají se u všech možných ocelových konstrukcí, jako například u jeřábů, střech či mostů. V dnešní době se toto nýtování nahrazuje svařováním. [17]

Pevné a nepropustné nýtování

Využití pevného a nepropustného nýtování najdeme tam, kde je potřeba aby spoj byl jak pevný, tak ale také těsný. Jako třeba u tlakových nádob, kotlů, potrubí s velkým přetlakem nebo nádrží. V některých případech se už také nahrazuje svařováním. [17]

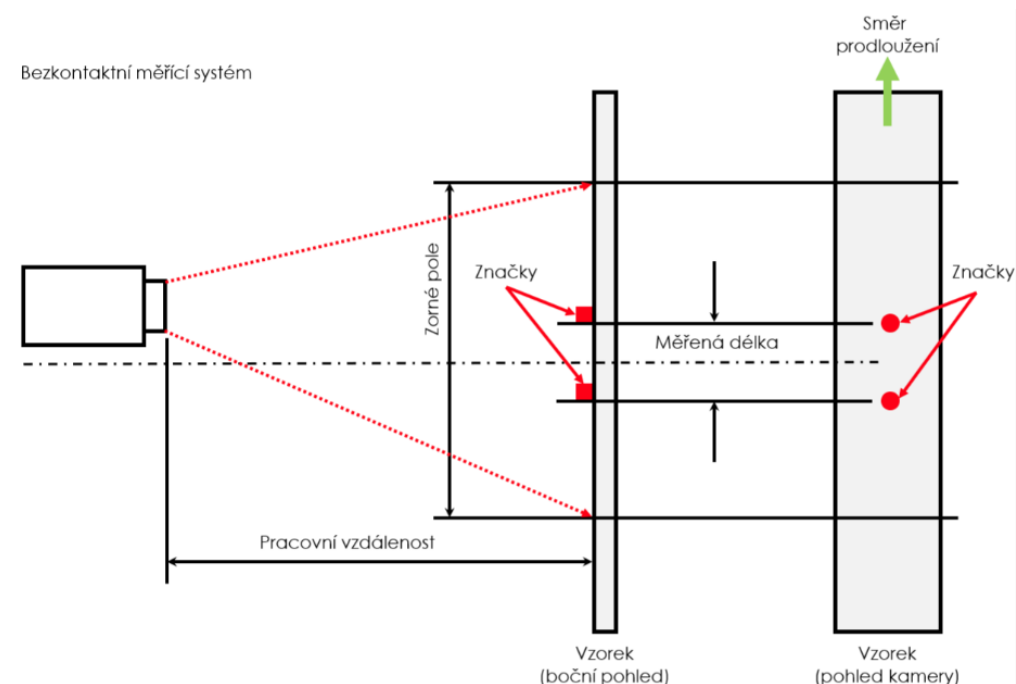
Nepropustné nýtování

Jeho použití se nachází tam, kde je potřeba mít těsný spoj bez potřeby silového namáhání nýtů, například u otevřených nádrží, nebo zavřených nádob s malým přetlakem, jako jsou některá potrubí, sudy či komíny. [17]

Stehové nýtování se používá tam, kde se neklade vysoký nárok na pevnost či těsnění spoje, ale spíše jako krycí plášť u některých strojů, motorových vozidel či letadel. V posledních letech se spíše používá odporové svařování. [17]

2.3 Bezkontaktní analýzy deformace

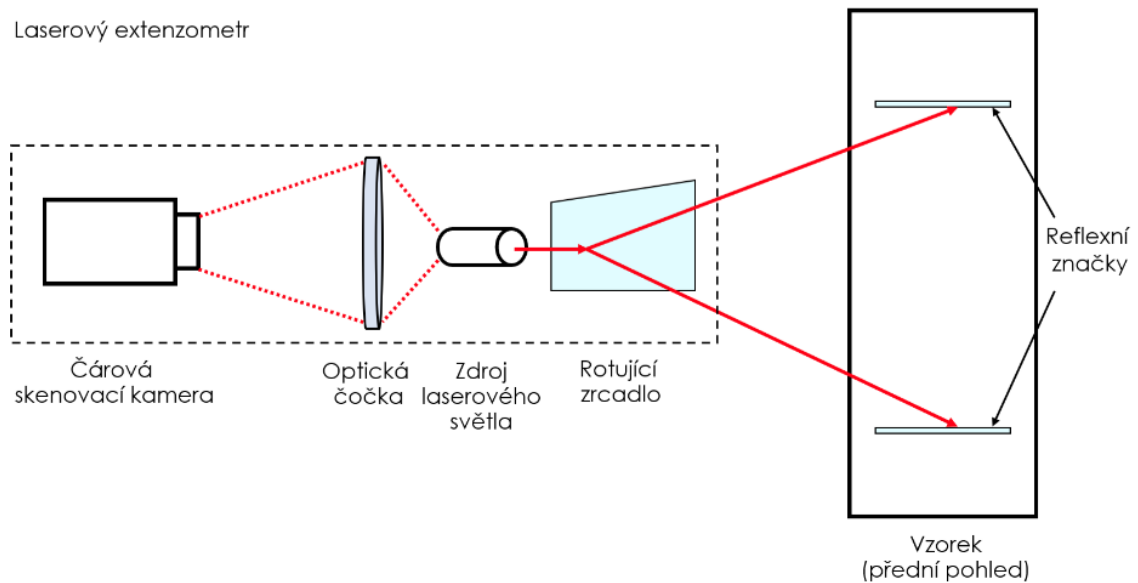
Bezkontaktní měření deformace funguje na principu snímání barevných či reflexních prvků na povrchu snímaného vzorku. Jestliže chceme mít spolehlivě správné měření, musíme si dát primárně pozor na správné umístění extenzometru, vzhledem k měřené ploše vzorku a jeho posunem či deformací (obrázek 21). Zorné pole nebo také z angličtiny Field of View je plocha nebo objem, který určitý bezkontaktní měřicí přístroj dokáže zaměřit. Toto pole musí být větší než měřená délka a dodatečná deformace v podobě ohybu vzorku, kontrakce vzorku či prodloužení vzorku. Pracovní vzdálenost, z anglického Working Distance je vzdálenost, jakou je vzdálen měřicí bezkontaktní systém od vzorku. Máme různé druhy extenzometrů s bezkontaktní technologií a to optické, laserové, video extenzometry, jednodimenzionální, dvojdimenzionální a trojdimenzionální (1D, 2D, 3D) podle toho do kolika směrů potřebujeme určitou deformaci měřit. [18]



Obrázek 21: Schéma umístění bezkontaktního měřicího systému [18]

2.3.1 Laserový extenzometr

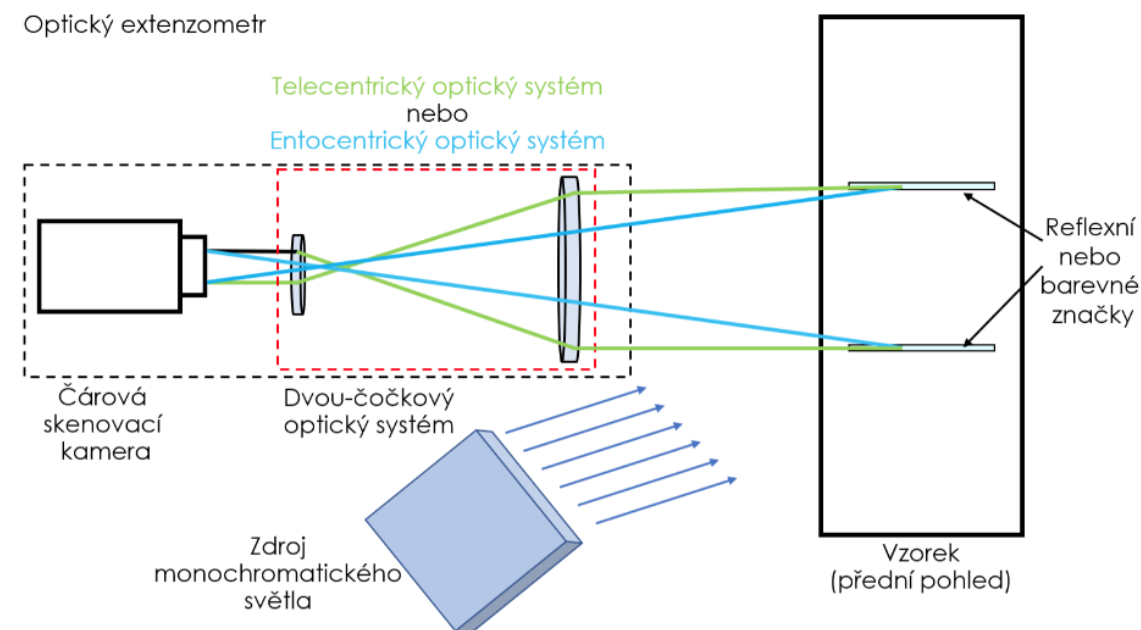
Laserový extenzometr je systém složený z pohyblivého zdroje laseru, čočky, rotujícího zrcadla, které slouží ke snímání vzorku po celé měřené délce a čárové skenovací kamery. Na vzorek je potřeba nanést reflexní body, to v oblasti, kterou chceme měřit – v měřené délce. Během měření se laserový paprsek pohybuje, skenuje vzorek v celém zorném poli a ukládá posun značek měřené délky v závislosti na čase. Data, která se uloží jsou přepočítána na prodloužení. [18]



Obrázek 22: Laserový extenzometr [18]

2.3.2 Optický extenzometr

Tento typ extenzometru nevyužívá laserový paprsek, ale funguje na principu rozjasnění povrchu vzorku pomocí zdroje monochromatického světla. Stejně jako u měření pomocí laserový extenzometru se používají buďto barevné nebo reflexní značky, aby se systém mohl orientovat v prostoru. Optický extenzometr se skládá z čárové reflexní kamery, která rozeznává přechod mezi tmavým a světlým prostředím nebo z kamery, která snímá stupně šedi a etnocentrického nebo telecentrického systému se dvěma čočkami. [18]



Obrázek 23: Optický extenzometr [18]

Entocentrický optický systém

Jde o systém používaný při snímání pomocí optického extenzometru a dokáže měřit pouze v jedné pracovní poloze, to znamená v rovině, která je přesně stanovená pracovní vzdáleností systému. V případě, když špatně nastavíme vzorek – nebude se vyskytovat ve správné pracovní vzdálenosti, může dojít ke špatnému snímání vzorku a tím dojdeme ke špatnému měření a samotnému výsledku. Při nastavení kratší pracovní vzdálenosti, dochází k měření větší deformace, než je skutečná a při nastavení delší pracovní vzdálenosti dochází naopak k měření menší deformace, než je skutečná. Oba tyto případy jsou nevyhovující, proto je vždy potřeba nastavit správnou pracovní vzdálenost, i díky tomu že tento typ optického měřicího systému měří pouze v jedné rovině. [18]

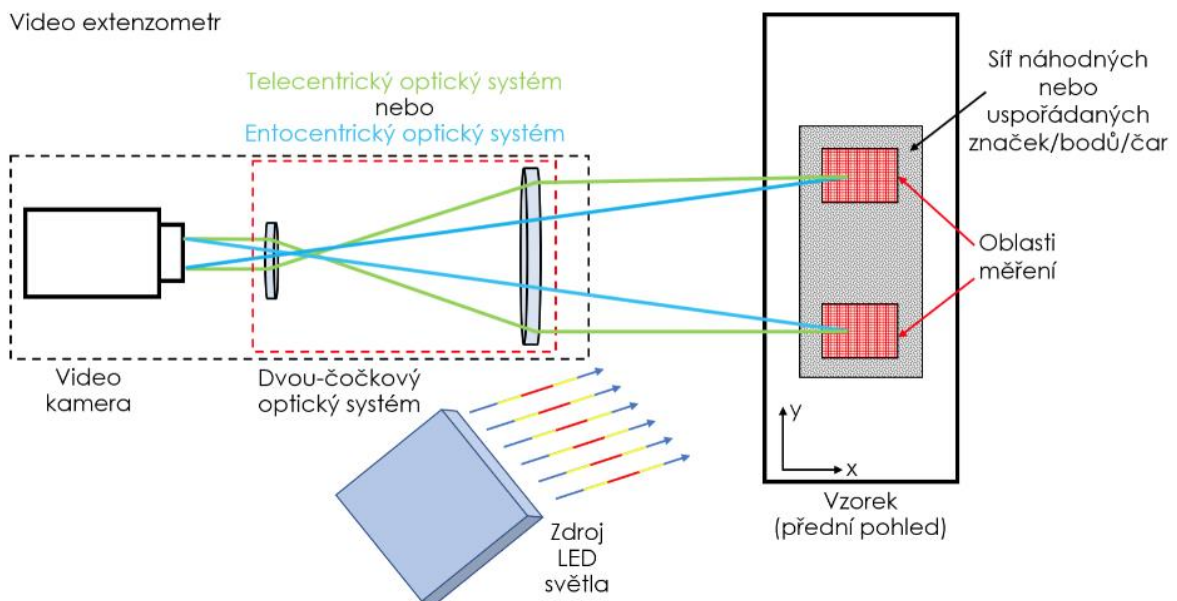
Telecentrický optický systém

Je používán u optického i u laserového extenzometru pouze na jednodimenzionální měření deformace. Jde o kontrastní měření a během snímání tímto systémem se snímky neukládají a nedají se použít k pozdější analýze. Telecentrický optický systém funguje tak, aby paprsky, které dopadnou na snímáný objekt byly rovnoběžné a umožňovaly tím měřit v určitém rozsahu pracovního prostoru, a ne pouze v jedné pracovní rovině, jako tomu je u entocentrického optického systému. Tím pádem je možné umístit snímáný objekt v určité vzdálenosti mimo stanovenou rovinu, a přesto proběhne přesné měření a nijak se nenaaruší jeho výsledek. [18]

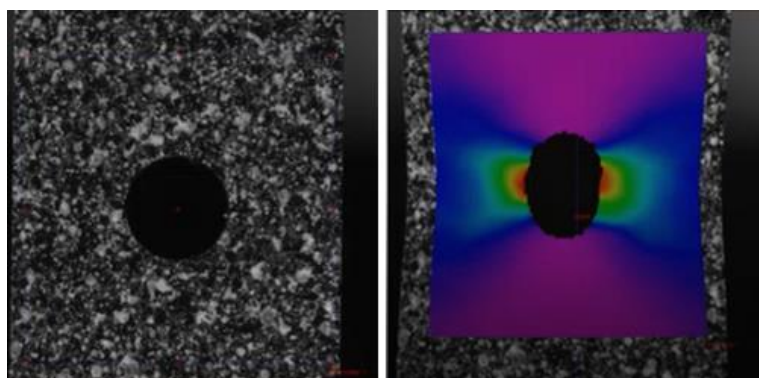
2.3.3 Video extenzometry

2D DIC měřicí systém

Bezkontaktní 2D video extenzometr (obrázek 24) se skládá z video kamery, jednoho ze zmíněných optických systémů, buďto entocentrického nebo telecentrického a zdroje LED nebo monochromického světla, který má za úkol osvětlit vzorek. Pomocí tohoto systému lze snímat data ve dvou směrech, například snímání smykových napětí ve dvou na sebe kolmých směrech, zvětšování trhliny nebo lze snímat v jedné ose působící sílu a ve druhé snímat příčné působení této síly. Stejně jako u optických a laserových extenzometrů se na povrch snímaného vzorku nanosou reflexní body, to buďto nahodile nebo rovnoměrně jako síť bodů. Principem tohoto systému je sledování velkého počtu bodů v určité oblasti zkoumaného tělesa a následné matematické zprůměrování do jednoho bodu. Oproti laserovému a optickému extenzometru tento ukládá snímky, pomocí kterých se dělá následná analýza pomocí dvou rozměrné korelace digitálního obrazu (2D DIC) ze které se poté vytváří napěťové mapy (obrázek 25). [18]



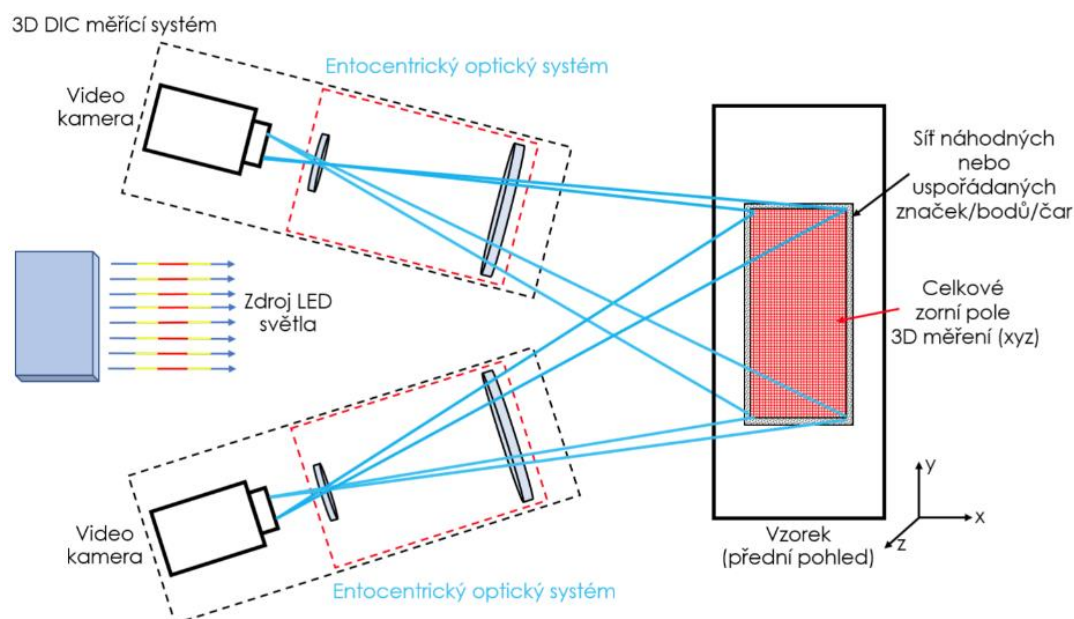
Obrázek 24: Bezkontaktní 2D video extenzometr [18]



Obrázek 25: Napěťová mapa okolí kruhového otvoru po deformaci [18]

3D DIC měřicí systém

Tento měřicí systém se také nazývá video extenzometr (obrázek 26), jelikož je dost podobný 2D systému, na rozdíl od něj však používá dvě kamery místo jedné. Ty jsou umístěné pod určitým úhlem, aby měly dobrou polohu vůči snímanému vzorku, jelikož měří obě stejnou oblast. Při použití dvou kamer je možné používat entocentrický optický systém a tím se dostat k vysoké přesnosti měření. Při správné poloze obou kamer můžeme získat 3D mapu celé deformace vzorku. Můžeme získat souřadnice x , y , z , každého nasnímaného bodu. Tento systém je možné použít také pro snímání jednodimenzionálních či dvoudimenzionálních deformací. V živém čase je také možné sledovat průběh deformací jednotlivých bodů. Během snímání se data ukládají a po snímání s nimi lze pracovat. Pomocí třírozměrné korelace digitálního obrazu pro výpočet, lze analyzovat napěťové mapy, posunutí či deformace. [18]



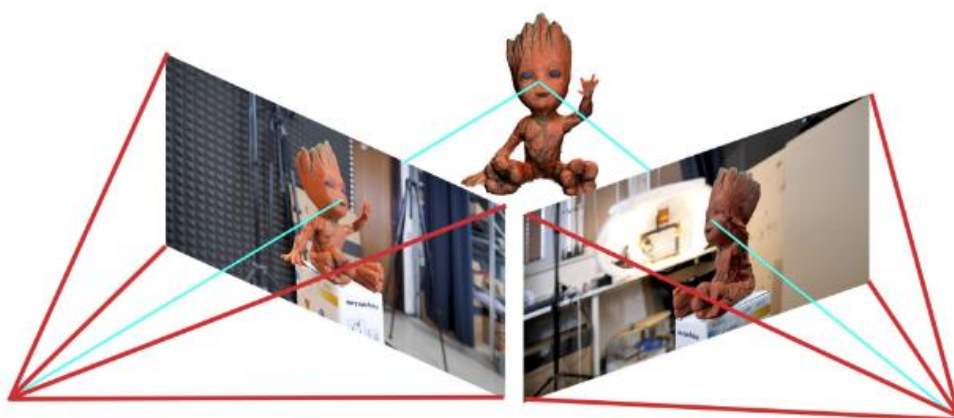
Obrázek 26: Bezkontaktní 3D video extenzometr [18]

Princip DIC měření

DIC z anglického Digital Image Correlation znamená korelace digitálního obrazu a jedná se o metodu bezkontaktní analýzy snímaného obrazu v celém zorném poli na základě toho, že systém dokáže vyhodnotit stupně šedi a posunutí bodů vzorku, zatížených určitou silou v trojdimenzionálním prostoru. Pomocí tohoto měření lze měřit deformace, vibrace, měření kontur či napětí v jakémkoliv materiálu. Dají se měřit jak statické, tak dynamické úlohy, které jsou zatížené tahovým, ohybovým, kombinovaným či jiným různým zatížením. DIC měření lze uplatnit u měření hodně malých až velkých testovacích ploch. [18]

2.3.4 Fotogrammetrie

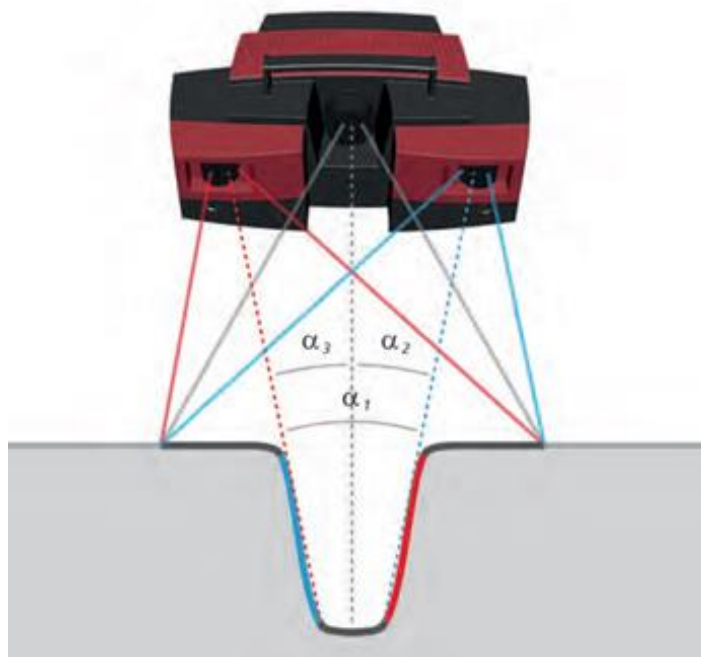
Fotogrammetrie, jindy označována jako SFM – Structure From Motion je proces, pomocí něhož se vyhodnocuje poloha bodu v trojdimenzionálním prostoru použitím snímků vzorku, který je snímán z více poloh pomocí fotoaparátu nebo videokamery. Tyto snímky se nadále nahrají do programu, který dokáže z pořízených snímků určit polohu konkrétního bodu v závislosti na jiném. V nejlepším možném případě se nám vytvoří 3D model z naskenovaných fotografií. Trojdimenzionální objekty, které se vytvoří pomocí fotogrammetrie jsou někdy přesnější, než kdyby se na skenování použil nějaký levnější 3D skener. Velkou výhodou je práce s prostorem. Pomocí fotogrammetrie se dají naskenovat velké objekty jako jsou mosty či jiné stavby. Další výhodou je její dostupnost, stačí mít kvalitní fotoaparát v mobilním telefonu a počítač, který dokáže utáhnout software na vytvoření 3D objektu z fotek. Výsledek fotogrammetrie také není úplně dokonalý, takže se musí stejně jako u jiných skenovacích metod naskenovaný model ještě upravit v modelovacích programech. [19]



Obrázek 27: Tvoření modelu pomocí fotogrammetrie [19]

2.3.5 Princip skenování pomocí Atos II

Tato bezkontaktní měřicí metoda funguje na principu fotogrammetrie, optické triangulace a metodě Fringe Projection, při které se z projektoru, který je součástí Atos II, promítá svazek proužků na skenovaný vzorek. Proužky na vzorku jsou snímány pomocí dvou kamer a software zpracovává získané fotografie a určuje z nich polohu jednotlivých bodů. Na každém snímku může být až milion získaných bodů, ty musí dát software dohromady a získat tím trojdimenzionální naskenovaný model. Na skenovaný objekt je potřeba umístit reflexní body, podle kterých se skener orientuje v prostoru. Po začátku skenování už se se skenerem nemůže pohnout. Tuto bezkontaktní metodu měření lze použít v mnoha oblastech strojírenství, jako například v kontrole kvality, v konstrukci a ve výrobě. Modely, které jsou touto metodou naskenovány, se dále používají v CAD či CAM programech na další zpracování. Výhodou je možnost skenovat objekt jakékoliv teploty, hmotnosti či tuhosti a záleží pouze na rozměru daného objektu. [20]



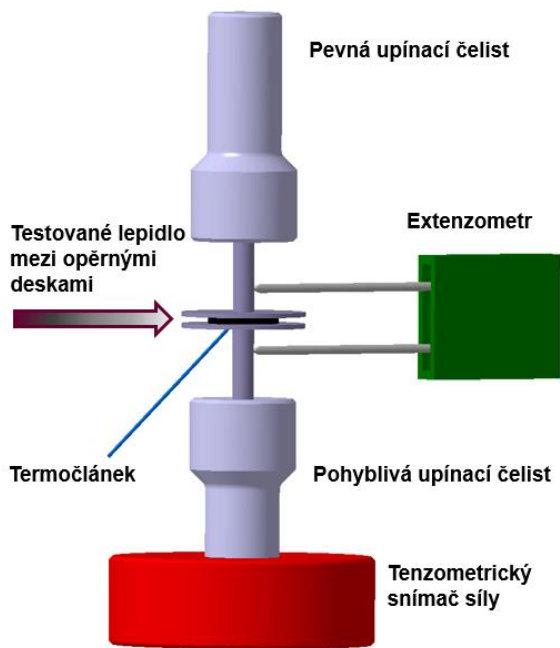
Obrázek 28: Skener Atos II [21]

3 Experimentální část

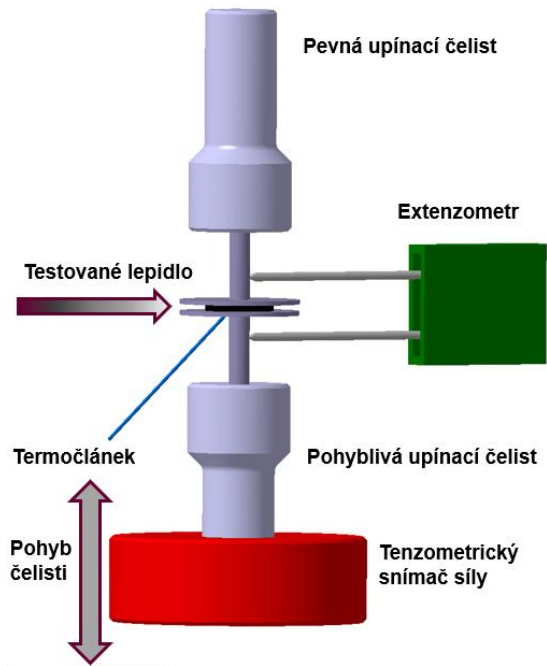
Praktická část této práce se zabývá hodnocením deformace způsobené procesem vytvrzování lepidla u plechových dílů karoserie automobilu. Deformace se měřila pomocí dvou různých zkoušek. První měření proběhlo na trhacím stroji Zwick Roell KAPPA 50 SS-CF, jedna ze zkoušek byla provedena za účelem zjištění silových účinků lepidla při nulové deformaci (obrázek 29) a pomocí druhé zkoušky se zjišťovaly deformační účinky lepidla, při působení nulové síly (obrázek 30). Druhé měření proběhlo po vložení přípravku (obrázek 31) do pece Venticell 222, za účelem zjištění deformace plechu, představujícího střechu automobilu, který se slepil s konstrukcí představující strukturální část karoserie a následném bezkontaktním měření systémem ATOS III TripleScan.

Tyto zkoušky byly provedeny kvůli základnímu problému při lepení karoserie a tím je deformace plechů způsobená tepelným procesem vytvrzování lepidla, která na pohledových dílech automobilu kazí jeho vzhled. Pro vytvrzení lepidla je potřeba zvýšit teplotu na 180 °C a tím se také deformuje karoserie, kvůli teplotní roztažnosti lepených materiálů. Existují různá lepidla používaná pro lepení karoserie a každé z nich podstupuje určitou změnu objemu při procesu vytvrzování, některá lepidla expandují a jiná se zase smršťují. Přesto, že se při použití lepidla plechy karoserie deformují, tak se používá díky jeho těsnícím vlastnostem při zvětšování objemu.

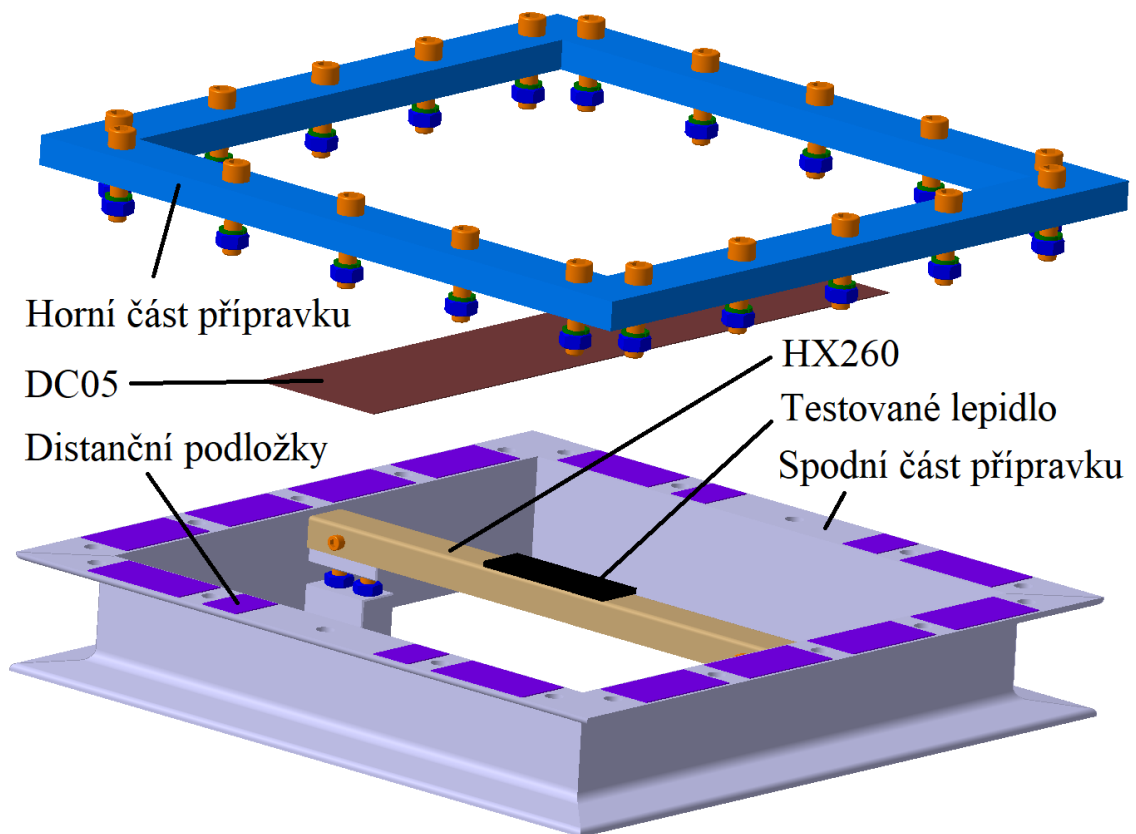
Úkolem tedy bylo pomocí těchto dvou různých měření zjistit, jak se tři vybraná lepidla při tomto procesu chovají, jak jejich změny objemu při vytvrzování deformují plechové díly karoserie a porovnání těchto lepidel. Prvním testovaným lepidlem bylo výplňové lepidlo Teroson RB 3266, druhé testované lepidlo bylo kaučukové lepidlo Teroson RB 3220 a třetím bylo pevnostní lepidlo Sika Power 492. Výsledky měření se mohou podepsat na vylepšení konstrukce karoserie automobilu za účelem odstranění či snížení deformací.



Obrázek 29: Schéma měření síly



Obrázek 30: Schéma měření deformace



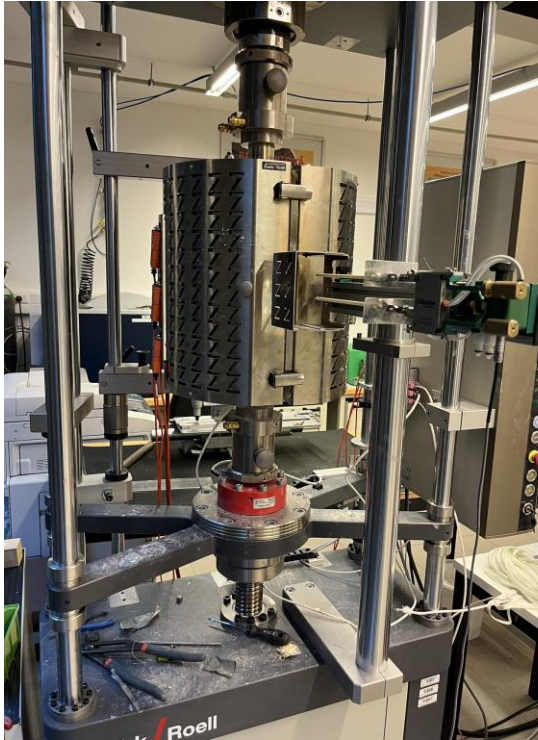
Obrázek 31: Model přípravku

3.1 Analýza silových a deformačních účinků lepidla

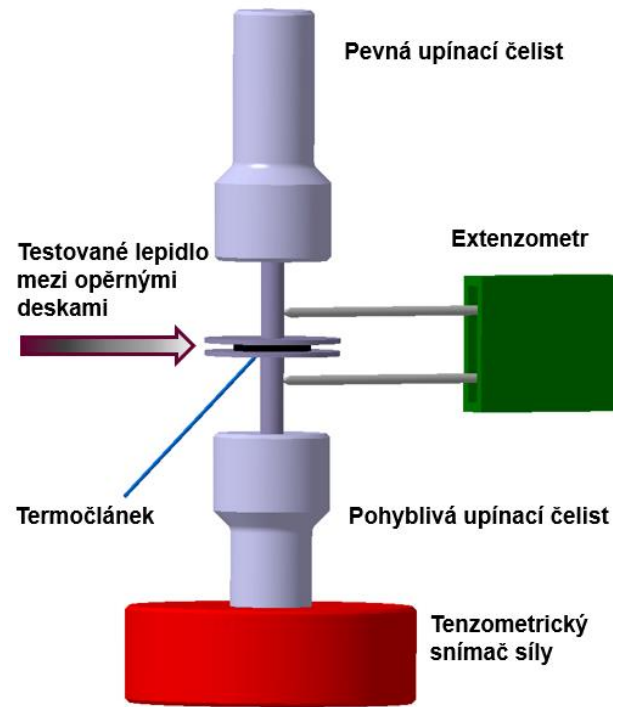
Měření a analýza silových a deformačních účinků lepidla se dělala pro tři různá lepidla. Jedním z nich bylo výplňové lepidlo Teroson RB 3266, druhé testované bylo kaučukové lepidlo Teroson RB 3220 a třetím bylo pevnostní lepidlo Sika Power 492. Lepidlo, které prochází procesem vytvrzování mění svůj objem a při tom vznikají i určité síly, které deformují lepené díly. Pro zjištění těchto dvou hodnot se nabízelo pro měření použít trhací stroj (obrázek 32), který dokáže zaznamenávat průběh síly a délky v čase. Místo běžného vzorku se použil zkušební přípravek, na který se nanoslo testované lepidlo. Trhací stroj byl opatřen tepelnou komorou (obrázek 33), ve které docházelo k vytvrzování lepidel. Měření probíhalo ve dvou způsobech, první z nich bylo měření za nulové deformace, při kterém se měřila síla (obrázek 34) při vytvrzování lepidla a druhý způsob byl měřený za nulové síly, kde se zkoumala deformace způsobená lepidlem. Pro zaznamenání teploty byl použit termočlánek připravený k měřicímu přípravku. Síla byla snímána tenzometrickým snímačem na spodní části upínací čelisti. Posunutí, které znázorňovalo deformaci bylo měřeno pomocí extenzometru, dotékajícího se měřícího přípravku.



Obrázek 32: Trhací stroj Zwick Roell KAPPA 50 SS-CF



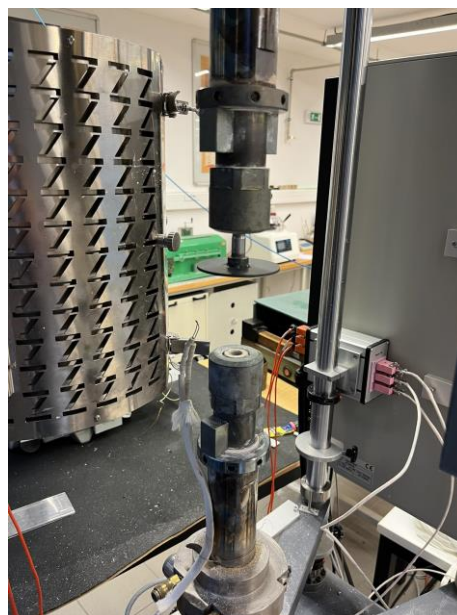
Obrázek 33: Tepelná komora



Obrázek 34: Schéma metody měření síly

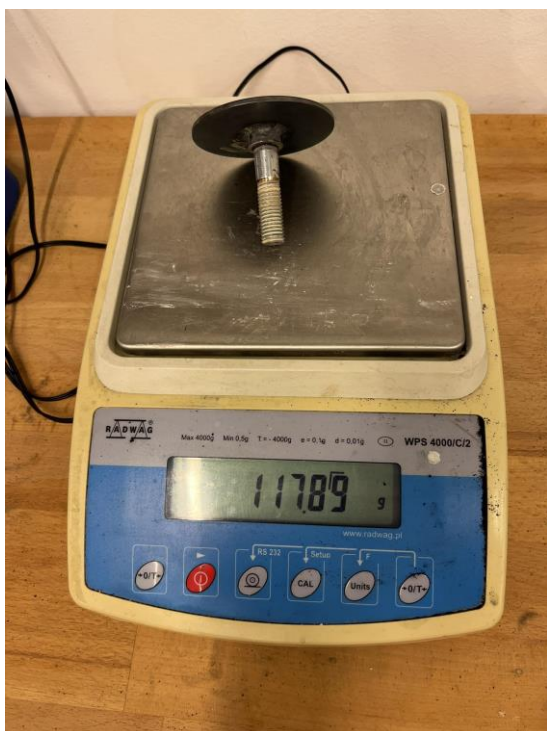
3.1.1 Příprava na proces měření

Prvním krokem byla příprava trhačího stroje na měření. Nejprve se očistil, odmastil a následně našrouboval horní měřící přípravek do závitové upínací čelisti trhačího stroje (obrázek 35).



Obrázek 35: Upevnění horního měřícího přípravku

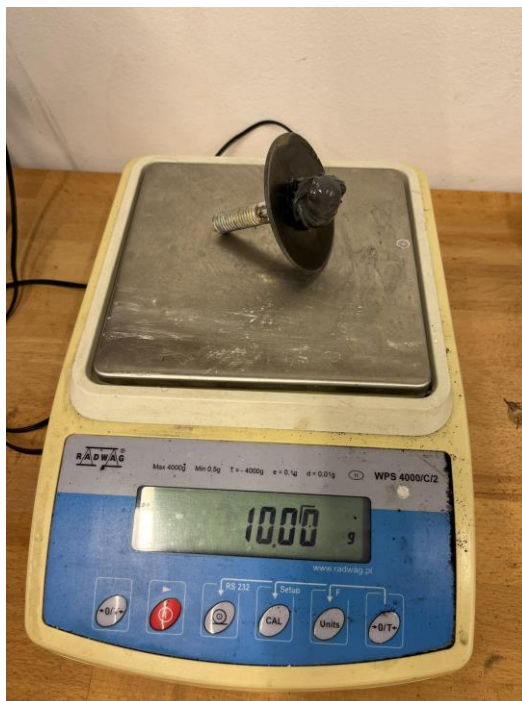
Spodní měřicí přípravek se také mechanicky očistil od zbytků lepidla z předchozího měření, odmastil pomocí acetonu a nechal se zvážit na váze (obrázek 36). Váha se nechala vynulovat (obrázek 37) a na měřicí přípravek se nanoslo 10 g měřeného lepidla (obrázek 38).



Obrázek 36: Vážení přípravku

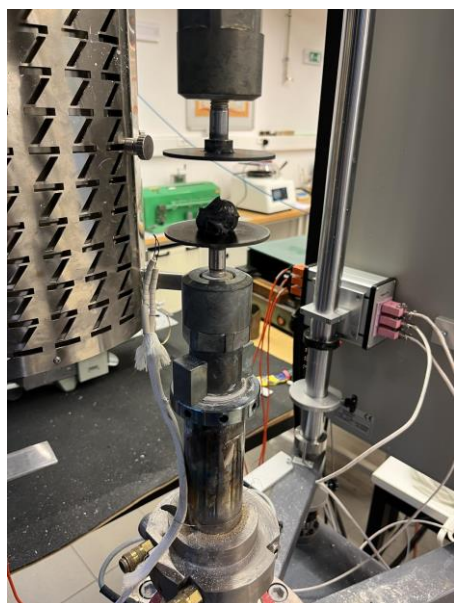


Obrázek 37: Vynulování váhy



Obrázek 38: Vážení lepidla

Následovalo upevnění spodního měřícího přípravku do pohyblivé upínací čelisti (obrázek 39) a připevnění termočlánku (obrázek 40) pro přesné měření teploty v tepelné komoře.

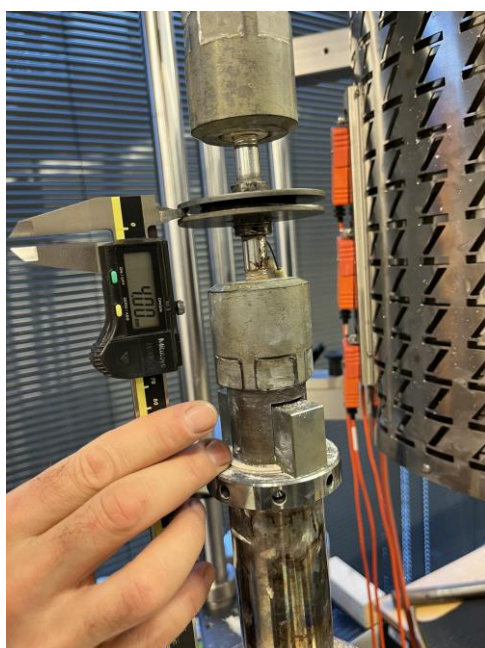


Obrázek 39: Upevnění spodního přípravku



Obrázek 40: Připevnění termočlánku

Poté bylo zapotřebí nastavit požadovanou vzdálenost, která odpovídá technologickým předpisům výrobce lepidla, to se podařilo vyjetím spodní pohyblivé upínací čelisti na vzdálenost 4 mm (obrázek 41). Následně se uzavřela tepelná komora a trhací stroj se přepnul do režimu testu (obrázek 42).

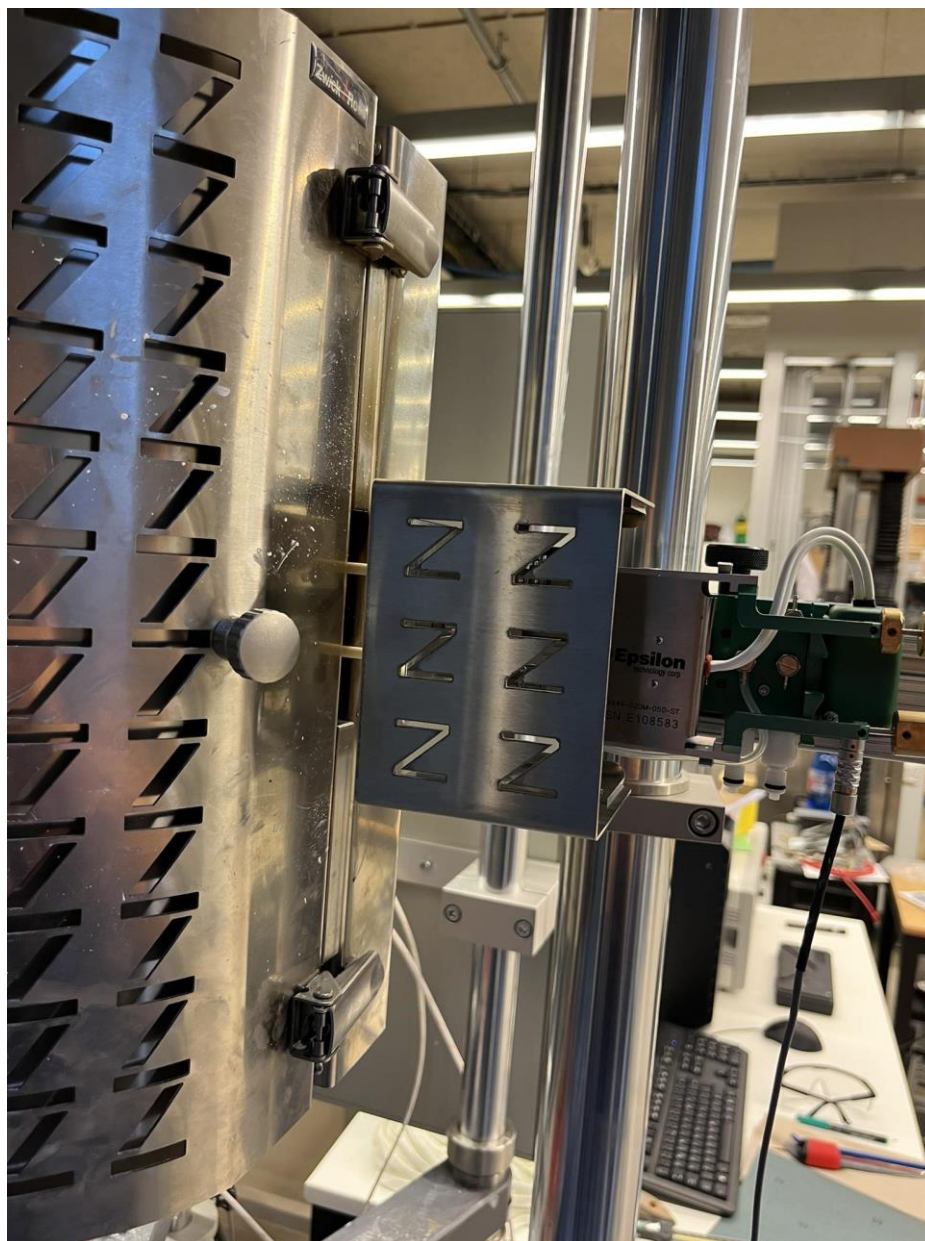


Obrázek 41: Nastavení vzdálenosti



Obrázek 42: Režim testu

Zasunuly se měřicí tyčky extenzometru Epsilon do komory (obrázek 43), které měly za úkol v režimu nulové síly měřit deformaci a v režimu nulového posunutí, měli za úkol udržet čelisti v požadované vzdálenosti, aby se mohla měřit síla, kterou lepidlo při vytvrzování vykáže.



Obrázek 43: Zasunutí extenzometru

Takto se postupovalo u výplňového lepidla Teroson RB 3266 a kaučukového lepidla Teroson RB 3220. U pevnostního lepidla Sika Power 492 byl rozdíl v nanesení lepidla, kde bylo požadováno nanést pouze 2 g lepidla (obrázek 44) a najet na vzdálenost 0,2 mm, což se zajistilo vložením měděných drátků přímo do lepidla (obrázek 45).



Obrázek 44: Vážení lepidla



Obrázek 45: Drátky v lepidle

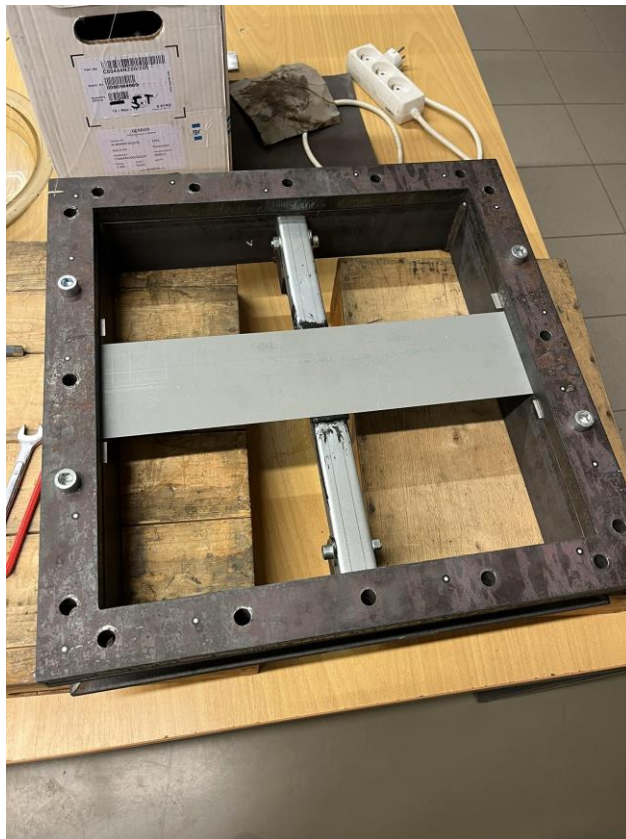
Finální příprava měření proběhla na počítači, kde se pomocí softwaru testXpert III nastavil průběh zkoušky ve třech krocích měření. Nejprve se nastavilo zahřátí z 20 °C na 180 °C, druhý krok byla výdrž na 180 °C po dobu 20 minut a poslední fází bylo chlazení na teplotu 30 °C.



Obrázek 46: Aktuální a nastavená teplota

3.2 Měření deformace ve speciálním přípravku

Aby se měření co nejvíce podobalo reálnému případu, byl navržen přípravek, který simuloval strukturu automobilu. Spodní část přípravku byla svařena z U profilů typu U80/B ČSN 42 5570 a horní část byla vyřezaná z ocelové desky o tloušťce 20 mm. Po celém obvodu jsou vyvrtány díry pro šrouby M12x30 ISO 4762. Mezi tyto části se pokládá slepený pohledový plech z materiálu DC05 s U profilem z materiálu HX260. Poté se horní část dotáhne šrouby k té spodní, avšak místo mezi částmi přípravku je vymezeno malými plechy, které mají větší tloušťku než měřený plech, aby se plech mohl v důsledku teplotní roztažnosti roztažovat do stran a neovlivnil tím výslednou deformaci, která je tak soustředěná pouze na deformaci vytvořenou změnou objemu lepidla. U profil byl pevně upnut ke spodní části přípravku pomocí šroubů a k němu byl přilepený vizuální plech vozidla. Tato dvojice materiálů byla přilepena k sobě určitým množstvím lepidla a celá sestava se vložila do pece, aby se lepidlo vytvrdilo a vznikl pevný nerozebíratelný spoj.



Obrázek 47: Speciální přípravek

3.2.1 Materiály přípravku

Jak již bylo zmíněno v kapitole Měření deformace ve speciálním přípravku, pro toto měření byly použity dva různé materiály, které se používají pro stavbu karoserie automobilu. Jeden z nich byl DC05, který představoval pohledové díly automobilu a druhý HX260, který představoval strukturální část karoserie. Oba tyto materiály byly podrobeny statické zkoušce tahem EN ISO 6892-1 v laboratoři KSP. Vzorky byly odebrány z původního plechu pod úhly 0°, 45° a 90° kvůli anizotropii materiálu. Způsob, kterým byly vzorky odebrány vychází přímo ze statické zkoušky tahem, taktéž z ní vychází rozměry těchto testovaných vzorků a parametry zkoušky. Pro každý směr se dělalo 5 testů a z nich se statisticky vypočítala průměrná hodnota měřených veličin. Výstupem měření byly protokoly, které jsou součástí práce jako přílohy.

HX260

Materiál představující strukturální část karoserie, je pevnější než druhý testovaný materiál. Z tohoto plechu byl vytvořen profil U o délce 410 mm a šířce 32 mm. Plech má tloušťku 1,3 mm.

Tabulka 1: Výsledky měření materiálu HX260

Vzorek	Průměrná hodnota a směrodatná odchylka			
	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_g [%]	A_{80mm} [%]
Směr 0°	261,6±1,3	377,5±1,4	19,2±0,2	33,8±0,4
Směr 45°	273,3±0,7	388,4±0,9	18,4±0,2	31,4±0,3
Směr 90°	272,2±0,6	381,2±0,9	19±0,2	31,4±0,3

DC05

Tento materiál představuje pohledový díl karoserie, v tomto případě jde o plech s tloušťkou 0,7 mm, délky 420 mm a šířky 100 mm. Na tomto materiálu se testovala deformace způsobená vytvrzováním lepidla.

Tabulka 2: Výsledky měření materiálu DC05

Vzorek	Průměrná hodnota a směrodatná odchylka			
	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_g [%]	A_{80mm} [%]
Směr 0°	132,4±2,7	285±2,1	27,3±0,7	46,6±0,9
Směr 45°	142±0,6	294,5±0,8	25,4±0,6	44,2±0,5
Směr 90°	138,7±0,4	283,6±0,9	26,4±0,4	45,3±0,7

3.2.2 Testovaná lepidla

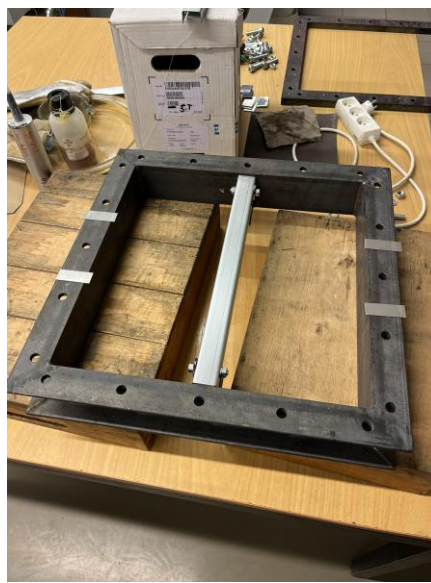
Stejně jako při prvním měření, tak i pro tohle měření byla použita tři stejná lepidla. Prvním z nich bylo výplňové lepidlo Teroson RB 3266, druhým lepidlem bylo kaučukové lepidlo Teroson RB 3220 a třetí bylo pevnostní lepidlo Sika Power 492. Všechna lepidla se vložila do pece po dobu 20 minut na 180 °C. Materiálové listy těchto lepidel lze najít v přílohách bakalářské práce.

3.2.3 Příprava na měření

Prvním krokem bylo umístění dilatačních podložek na rám (obrázek 48). Ty měly za úkol zachytit tlak vytvořený dvěma částmi rámu, aby se mohl plech teplotní roztažností roztažovat do stran a aby se tím neovlivnilo samotné měření. Následovalo připevnění plechového U profilu k rámu (obrázek 49), který znázorňoval kostru vozidla. Nastavil se tak, aby mezi ním a rámem byl požadovaný prostor daný výrobcem (4 mm).



Obrázek 48: Dilatační plechy



Obrázek 49: Připevnění U profilu

Poté se na již připevněný profil U nanese lepidlo (obrázek 50) tak, aby odpovídalo šířce plechu, který se na tento profil lepil. Lepidlo se rozetřelo na výšku 4 mm (obrázek 51), aby to co nejvíce odpovídalo reálnému případu lepení karoserie. Kdyby se tam nanese více lepidla, než se ve skutečnosti dává, více by lepidlo deformovalo plech a nedaly by se získat reálné výsledky měření.

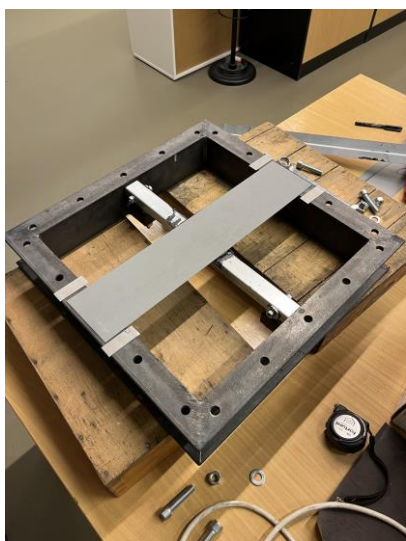


Obrázek 50: Nanesení lepidla



Obrázek 51: Rozetření lepidla

Pokračovalo se přilepením plechu (obrázek 52), představujícího povrchový díl karoserie, na již nanesené lepidlo, a to přesně do středu speciálního přípravku. Následně se přišrouboval horní část přípravku (obrázek 53), sestava tak byla plně zafixovaná a bylo možné ji vložit do již rozžhavené pece Venticell 222 na 180 °C v laboratoři KSP (obrázek 54).



Obrázek 52: Přilepení povrchového plechu



Obrázek 53: Přišroubování horního rámu



Obrázek 54: Vložení přípravku do pece

3.2.4 Proces měření

Po vytvrzení lepidla v peci přišlo na řadu měření. To se provádělo v laboratoři 3D měření a digitalizace KSA, na bezkontaktním měřicím přístroji Atos III Triple Scan (obrázek 55). Nejprve se speciální přípravek položil na otočný stůl a polepil se reflexními body (obrázek 56), aby mohl skener transformovat snímky do jednoho globálního systému a vytvořit pomocí toho 3D model přípravku.

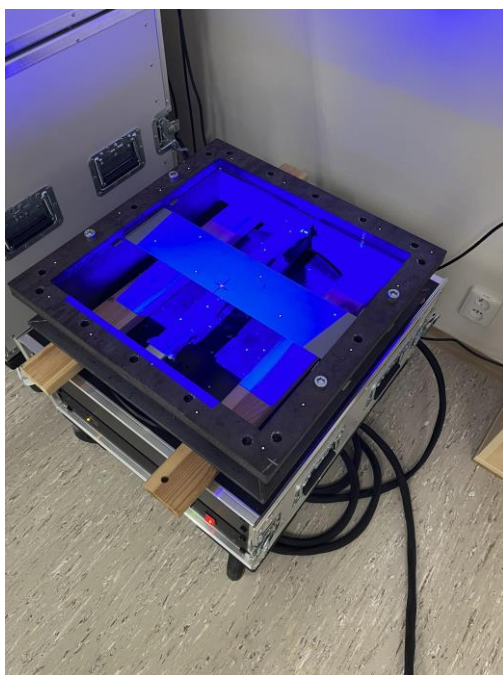


Obrázek 55: Bezkontaktní skener Atos III Triple Scan

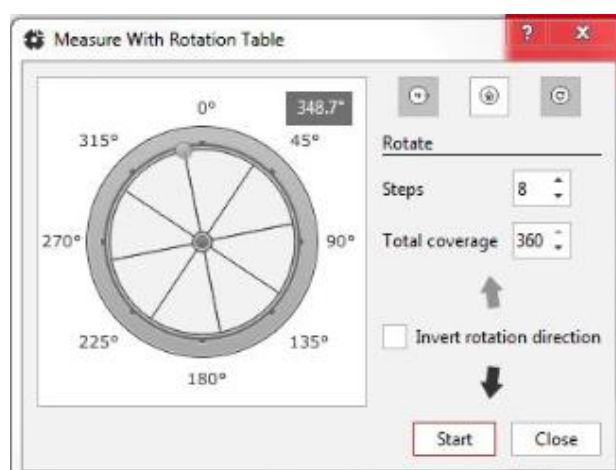


Obrázek 56: Přípravek na otočném stole

Poté se skener posunul do polohy, ze které bude moct naskenovat celý přípravek (obrázek 57), během toho, co se bude postupně otáčet na otočném stole po 45° (obrázek 58).

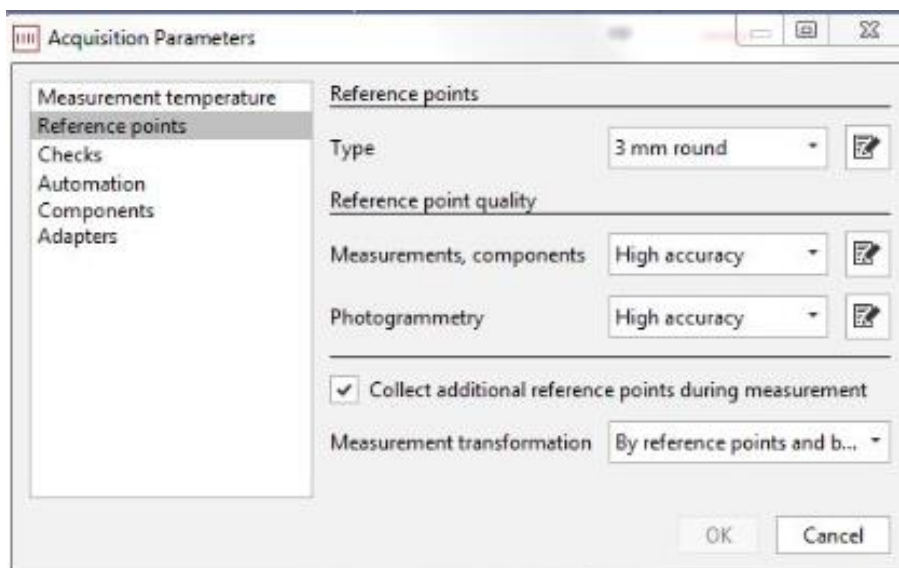


Obrázek 57: Nastavení polohy skeneru

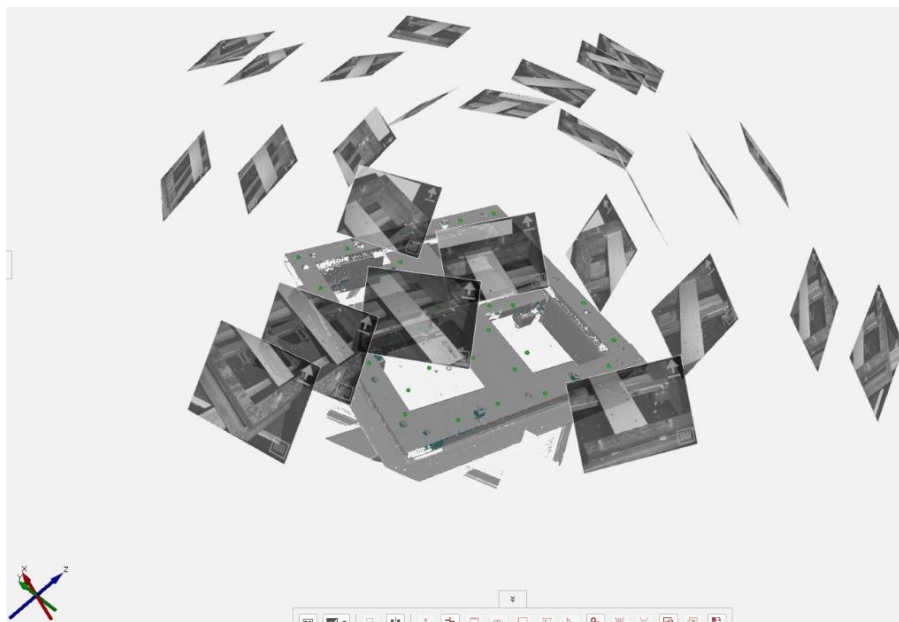


Obrázek 58: Nastavení rotace

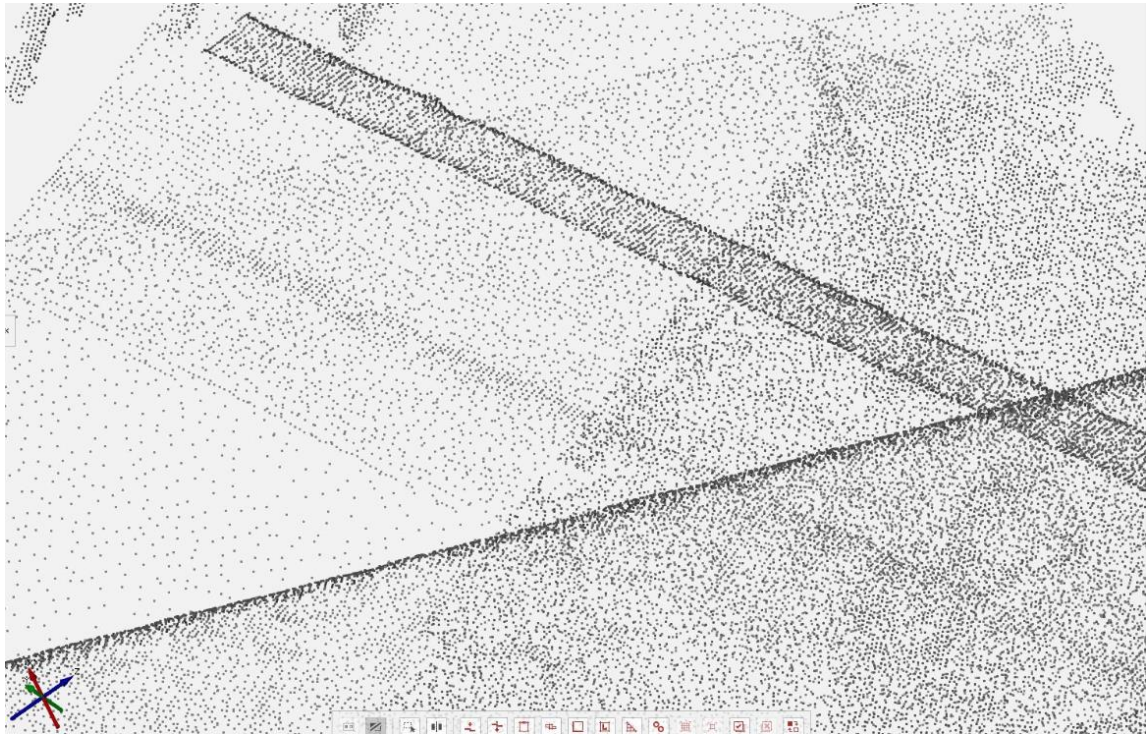
V softwaru se přenastavilo, aby skener snímal referenční body o průměru 3 mm (obrázek 59), v původním nastavení skeneru se pracuje s referenčními body o průměru 1,5 mm. Po skenování vzniklo mnoho fotografií ze všech stran (obrázek 60). A ze všech naskenovaných bodů (obrázek 61) vytvořil software trojúhelníkovou síť (obrázek 62), se kterou se dá následně dále pracovat.



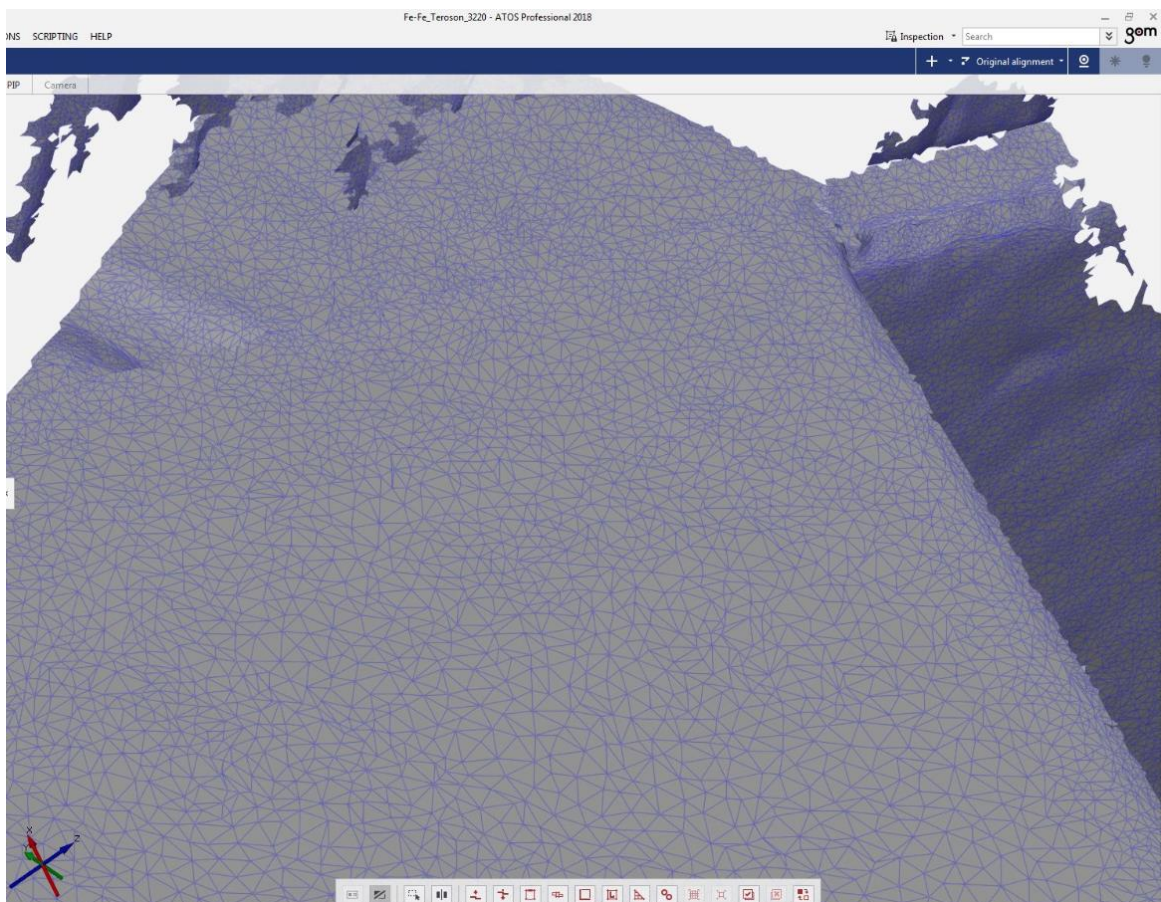
Obrázek 59: Nastavení referenčních bodů



Obrázek 60: Vytvořené fotografie



Obrázek 61: Naskenované body



Obrázek 62: Vytvořená síť

4 Vyhodnocení a diskuze výsledků

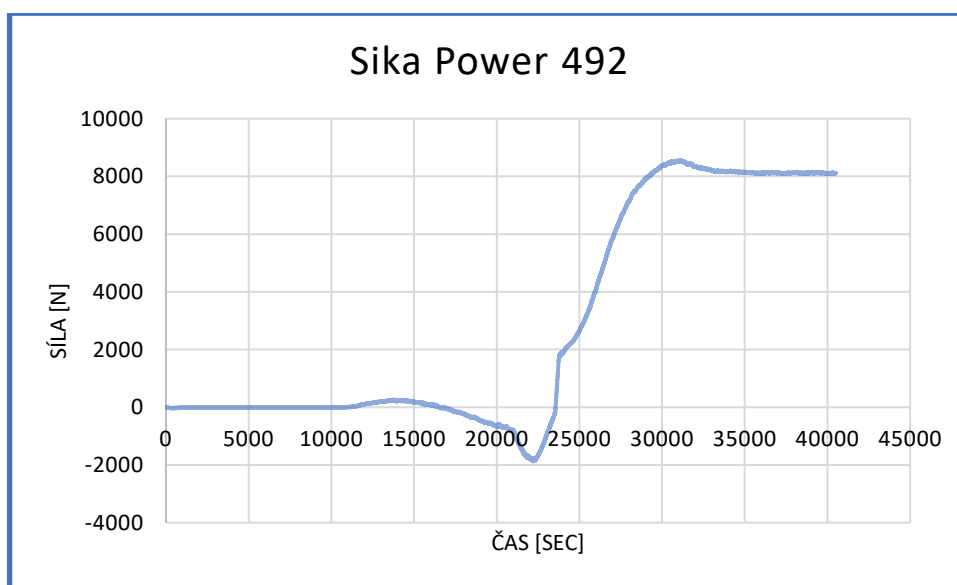
Závěrečná část bakalářské práce hodnotí deformaci způsobenou vytvrzením lepidla pomocí dvou různých zkoušek. Zaměřuje se na získaná data ze zkoušek a porovnání třech různých druhů lepidel mezi sebou, aby se zjistilo, jaké je nejlepší či jaké se hodí na určitý způsob lepení.

4.1 Vyhodnocení silových a deformačních účinků lepidla

Toto měření probíhalo na trhacím stroji Zwick Roell KAPPA SS-CF ve tří zónové tepelné komoře. Trhací stroj byl schopen během měření zaznamenávat průběžné posunutí a sílu v závislosti na čase, které byly vytvořeny vytvrzováním lepidla v tepelné peci. První test probíhal při nulovém posunutí a měřila se vyvolaná síla lepidlem do měřících přípravků. Druhý test probíhal za nulové síly a měřila se deformace, kterou lepidlo zapříčiní.

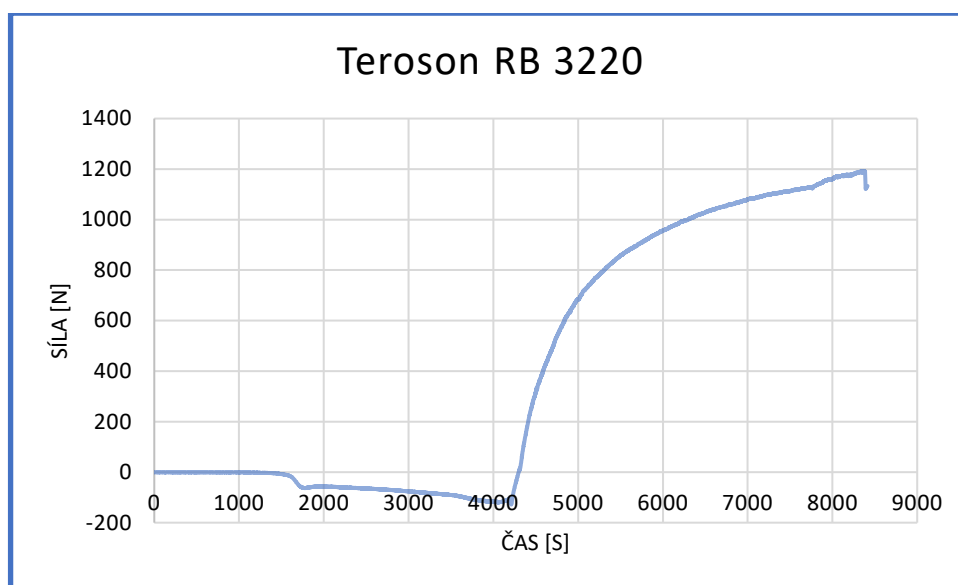
4.1.1 Měření síly za nulové deformace

Prvním testovaným lepidlem bylo pevnostní lepidlo Sika Power 492 a v grafu níže lze vidět průběh naměřené síly v závislosti na čase (obrázek 63). Nejdříve je vidět, že síla jde do záporných hodnot, tudíž lepidlo stahuje měřící přípravky k sobě, to samé by dělalo s karoserií automobilu. Avšak po vypnutí ohřevu síla rapidně stoupá, to značí, že lepidlo zvětšuje svůj objem a tlačí silou na měřící přípravky. To může mít za následek vytlačení pohledového plechu karoserie automobilu.



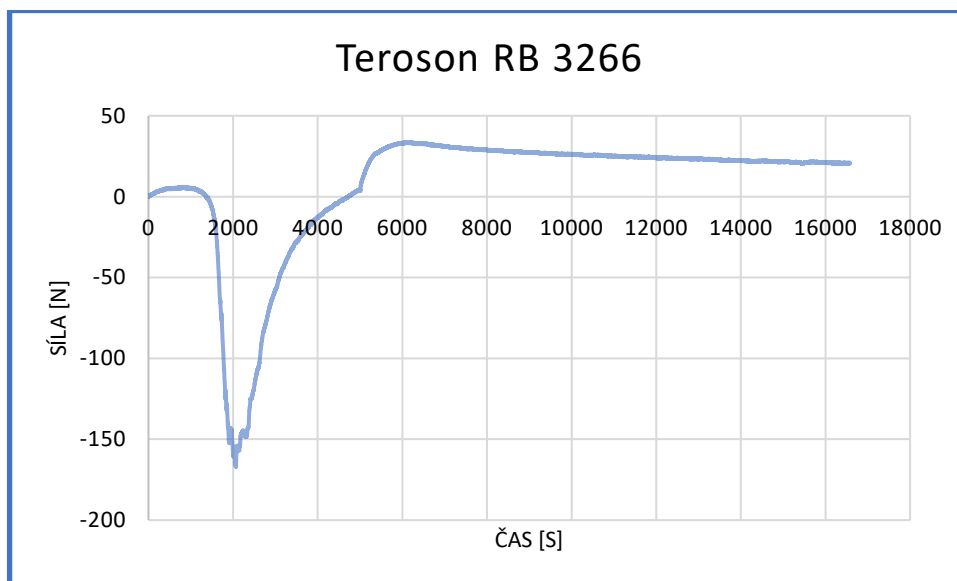
Obrázek 63: Graf závislosti síly na čase lepidla Sika Power 492

Druhým testovaným lepidlem bylo kaučukové lepidlo Teroson RB 3220 a závislost síly při vytvrzování lepidla na čase lze vidět ve grafu níže (obrázek 64). Nejprve si lze všimnout záporné síly, která v tomto případě naznačuje na trhacím stroji tlakové namáhání, tudíž nejprve lepidlo stahovalo měřicí přípravky k sobě a až po uplynutí 70 minut začalo na přípravky tlačit. Z toho lze vyvodit, že kdyby se zvolilo toto lepidlo k lepení karoserie, tak by zvedalo pohledové díly, které by se v místě rámu lehce nadzvedávaly.



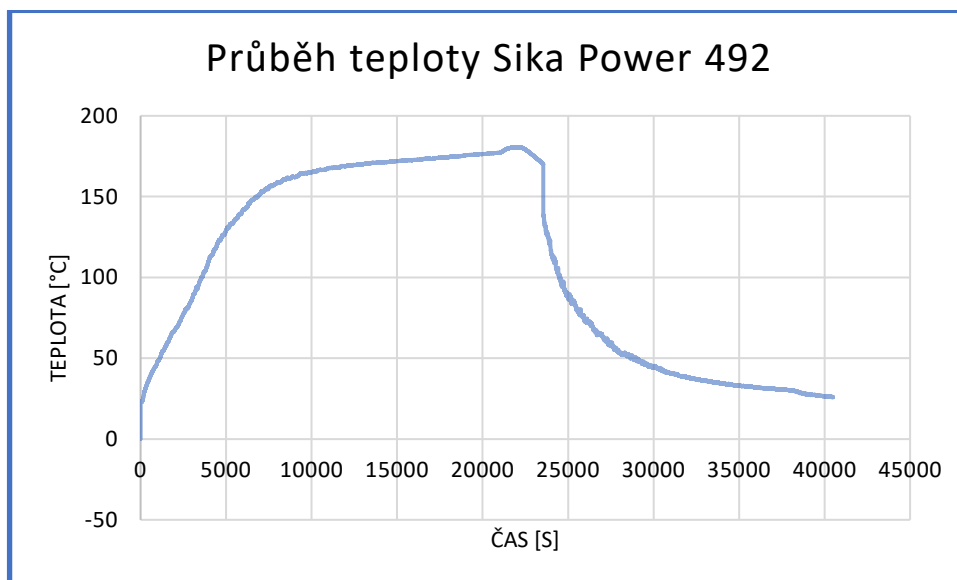
Obrázek 64: Graf závislosti síly na čase lepidla Teroson RB 3220

Posledním třetím testovaným lepidlem bylo výplňové lepidlo Teroson RB 3266, graf závislosti síly na čase lze vidět níže (obrázek 65). Z grafu se dá usoudit, že nejvyšší síla je záporná, to znamená, že má tendenci přitahovat měřicí přípravky k sobě a výsledná deformace tak může vypadat tak, že se pohledový plech karoserie vozidla stáhne blíže ke strukturálním výztužím karoserie.



Obrázek 65: Graf závislosti síly na čase lepidla Teroson RB 3266

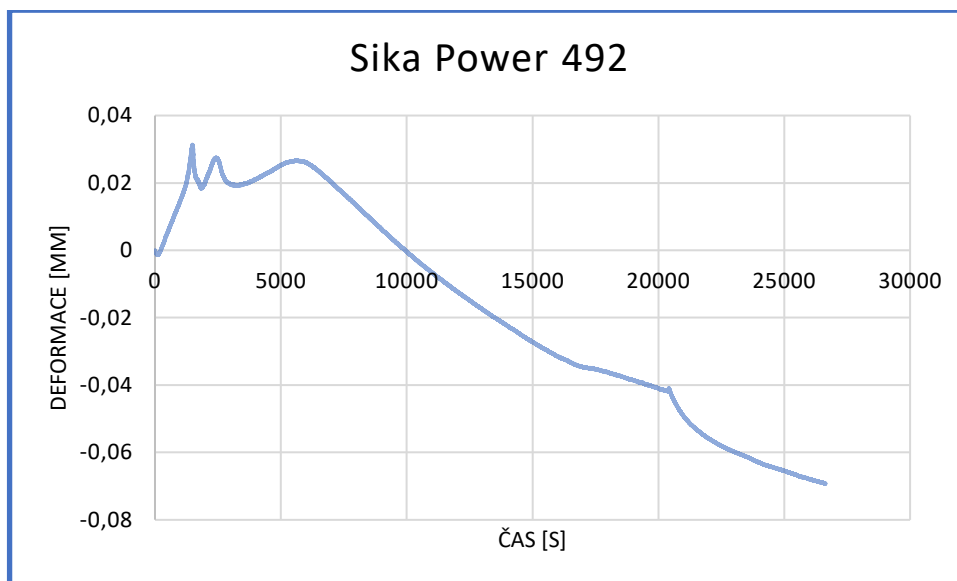
U všech testovaných lepidel byl průběh teploty v závislosti na čase velice podobný, zde je tento průběh vidět u měření lepidla Sika Power 492 (obrázek 66). Vždy se postupně zvyšovala teplota z počáteční teploty 23 °C na teplotu nastavenou pro ohřev 180 °C a poté se ohřev vypnul a vzorek začal postupně chladnout.



Obrázek 66: Graf závislosti teploty na čase lepidla Sika Power 492

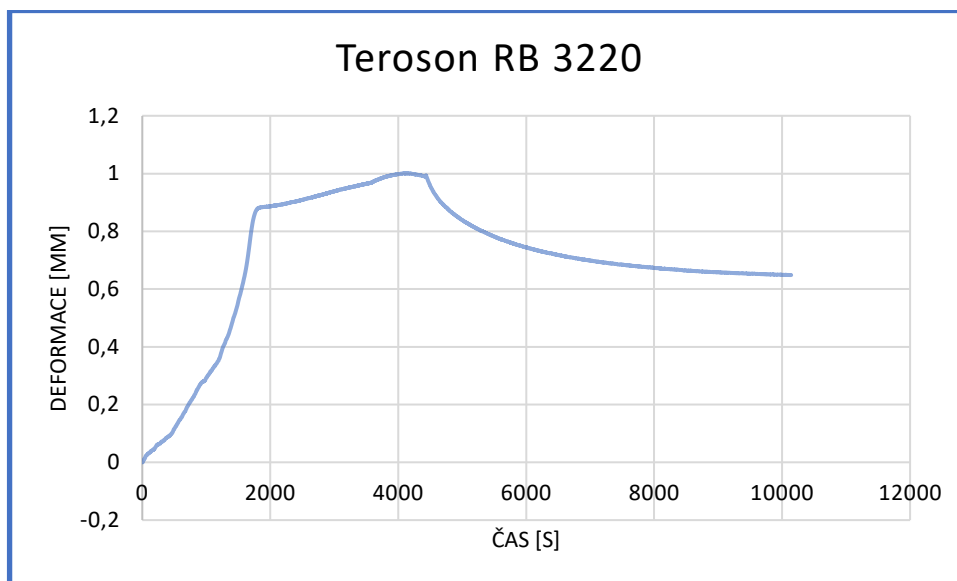
4.1.2 Měření deformace za nulové síly

Prvním testovaným lepidlem bylo pevnostní lepidlo Sika Power 492 a v grafu níže lze vidět průběh naměřené deformace v závislosti na čase (obrázek 67). Nejdříve je vidět, že deformace roste, lepidlo zvětšuje svůj objem a tlačí měřicí přípravky od sebe, avšak výsledná deformace je záporná, jelikož když lepidlo začíná chladnout, tak se smršťuje a přitahuje v reálném případě pohledové díly karoserie k sobě.



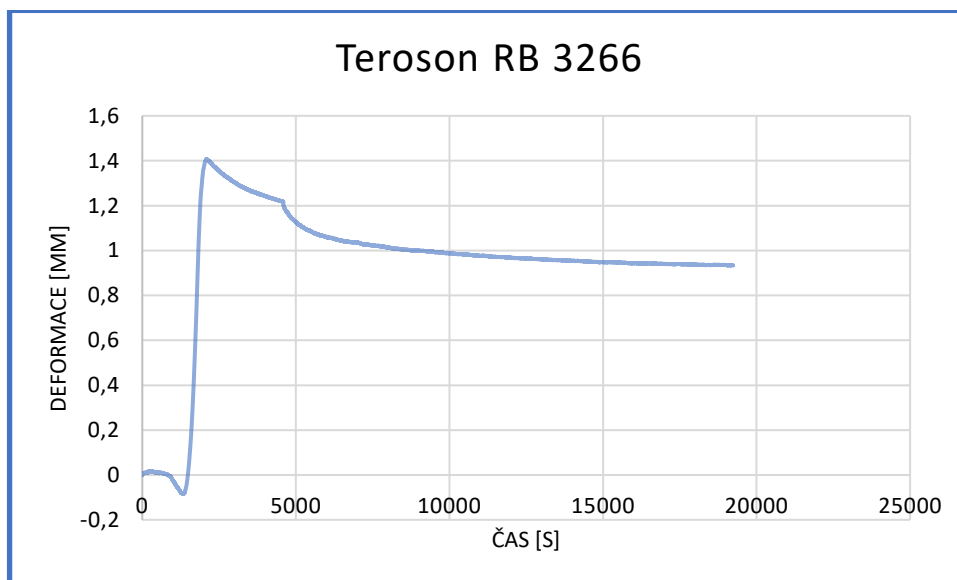
Obrázek 67: Graf závislosti deformace na čase lepidla Sika Power 492

Druhým testovaným lepidlem bylo kaučukové lepidlo Teroson RB 3220 a závislost deformace při vytvrzování lepidla na čase lze vidět ve grafu níže (obrázek 68). Po celý čas je deformace v kladných hodnotách, to znamená, že lepidlo zvětšuje svůj objem a tlačí na měřicí přípravky, to samé by se dělo s pohledovými díly karoserie, které by se zvedaly v místě, kde je lepený spoj.

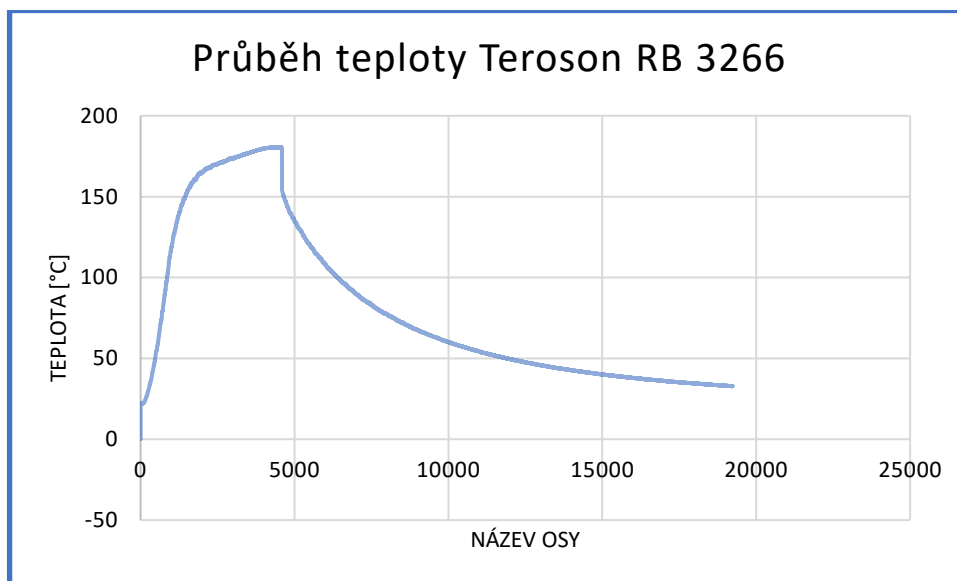


Obrázek 68: Graf závislosti deformace na čase lepidla Teroson RB 3220

Posledním třetím testovaným lepidlem bylo výplňové lepidlo Teroson RB 3266, graf závislosti deformace na čase lze vidět níže (obrázek 69). Z grafu se dá usoudit, že do doby, kdy rapidně stoupala teplota (obrázek 70) se lepidlo stahovalo a při zpomalení ohřevu lepidlo začalo zvětšovat svůj objem a deformovat plech směrem od sebe.



Obrázek 69: Graf závislosti deformace na čase lepidla Teroson RB 3266



Obrázek 70: Graf závislosti teploty na čase lepidla Teroson RB 3266

4.1.3 Porovnávací tabulka lepidel a diskuze

Tabulka 3: Porovnávací tabulka

Testované lepidlo	Nejvyšší naměřená síla		Výsledná deformace
	Kladná (+)	Záporná (-)	
Sika Power 492	8546 N	-1877 N	-0,0693 mm
Teroson RB 3220	1193 N	-128 N	0,6487 mm
Teroson RB 3266	34 N	-167 N	0,9337 mm

Ukázalo se, že nejvyšší sílu na pohledové díly vyvolá pevnostní lepidlo Sika Power 492, které zároveň tyto díly nejméně deformuje. Výplňové lepidlo Teroson RB 3266 opravdu velmi zvětšuje svůj objem a vyplní prostor, který je potřeba. Avšak přesto, že působí na tyto díly nejmenší silou, tak je nejvíce z testovaných lepidel deformuje. Kaučukové lepidlo Teroson RB 3220 vykazuje menší deformaci než lepidlo Teroson RB 3266 a zároveň menší sílu než lepidlo Sika Power 492. Použije se v případech, kde budeme potřebovat snížit působení vibrací.

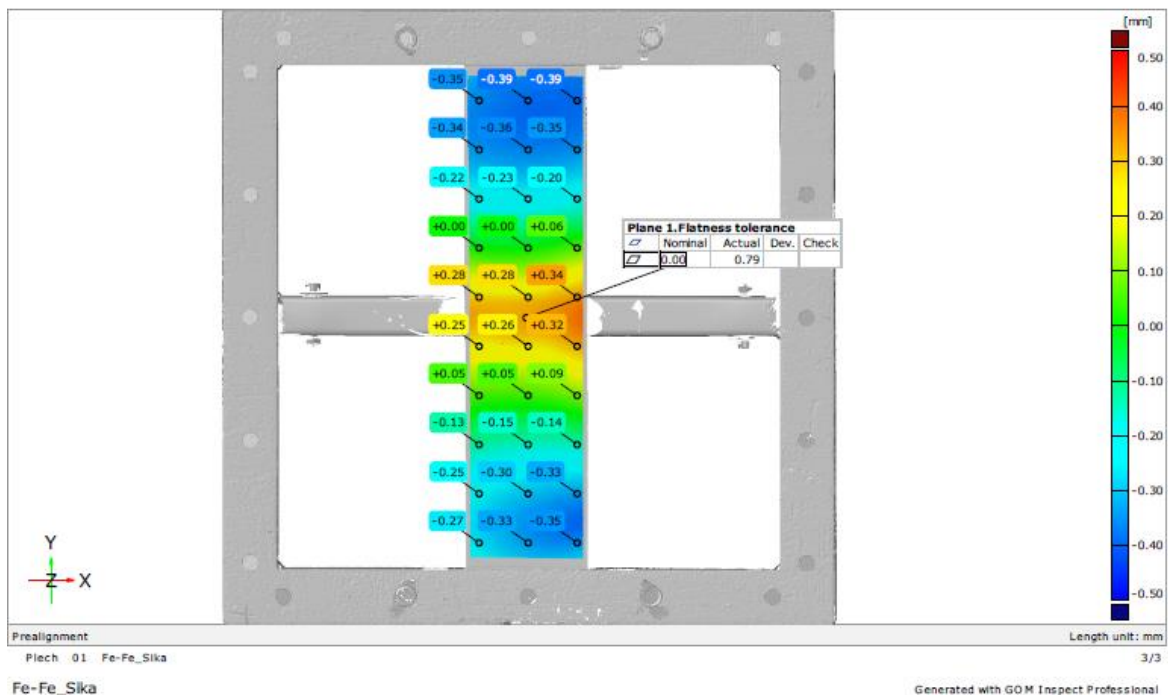
4.2 Vyhodnocení deformace ve speciálním přípravku

Nejprve se sestavila sestava, která se vložila do pece, aby mohly měřená lepidla projít procesem vytvrzování. Po vytvrzení se sestava přesunula do laboratoře 3D měření a digitalizace KSA, kde se nechala vzniklá deformace změřit pomocí bezkontaktního měření na přístroji ATOS III Triple Scan a zde jsou výsledky a vyhodnocení tří různých lepidel.

4.2.1 Lepidlo Sika Power 492

Prvním testovaným lepidlem bylo pevnostní lepidlo Sika Power 492 a na obrázku níže můžeme vidět mapu rovinnosti pohledového dílu (obrázek 71). Oproti prvnímu měření se tentokrát deformace projevila kladně, to znamená, že podle tohoto měření se pohledový díl karoserie vyboulí.

Rovinnost

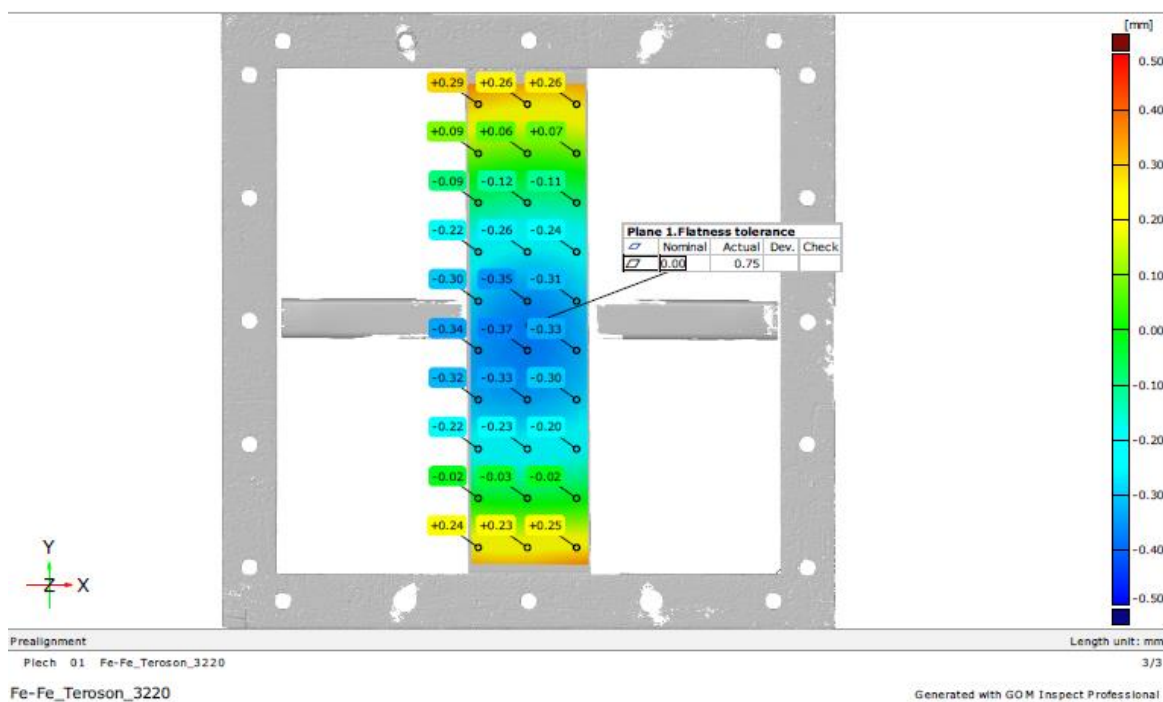


Obrázek 71: Rovinnost při použití lepidla Sika Power 492

4.2.2 Lepidlo Teroson RB 3220

Druhým testovaným lepidlem bylo kaučukové lepidlo Teroson RB 3220 a z mapy rovinnosti (obrázek 72) se dá zjistit, že toto lepidlo vykazuje největší deformaci na pohledový plech karoserie, a to tím způsobem, že ho přitahuje k sobě a opět se to liší s prvním měřením, kde lepidlo naopak zvětšováním objemu zvedalo plech vzhůru.

Rovinnost

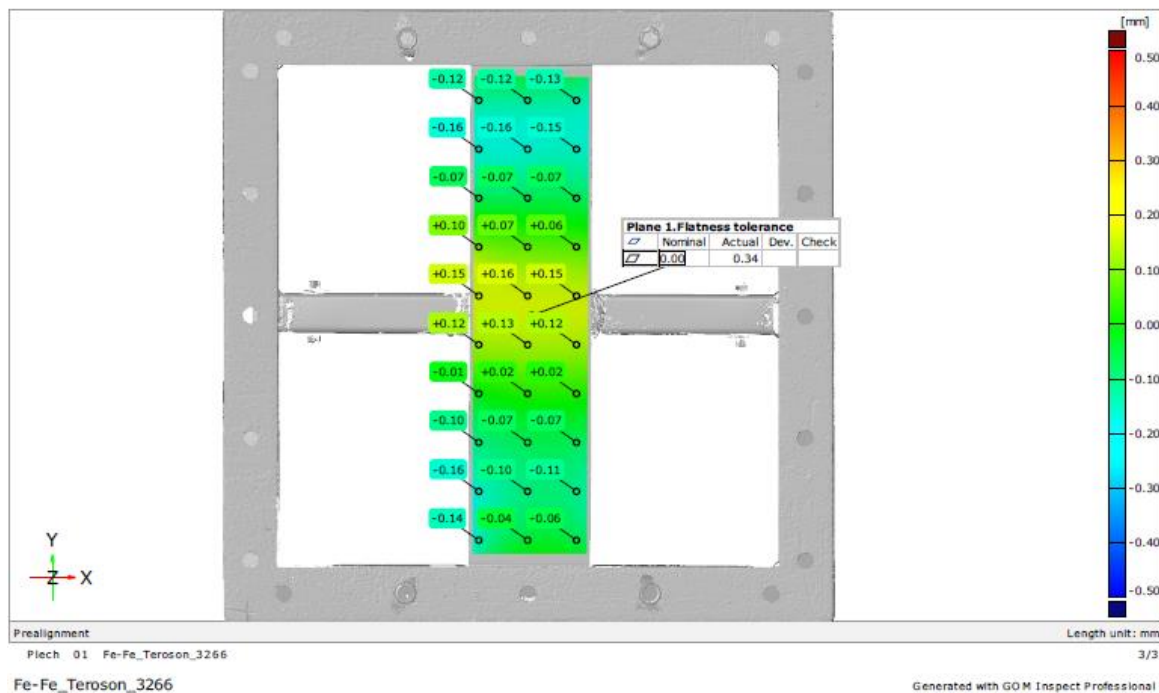


Obrázek 72: Rovinnost při použití lepidla Teroson RB 3220

4.2.3 Lepidlo Teroson RB 3266

Posledním třetím testovaným lepidlem bylo výplňové lepidlo Teroson RB 3266 a z obrázku rovinnosti (obrázek 73) se dá posoudit, že toto lepidlo vykazuje nejmenší deformaci na plech a to kladnou, tudíž zvedá plech vzhůru a tvoří tak boule na pohledových dílech karoserie vozidla. Tento test vyšel stejně jako první měření a toto lepidlo je nejvhodnější pro snadno deformovatelné pohledové díly.

Rovinnost



Obrázek 73: Rovinnost při použití lepidla Teroson RB 3266

4.2.4 Diskuze měření pomocí speciálního přípravku

Z výsledků lze vypožorovat, že jediné lepidlo Teroson RB 3220, přitáhlo plech směrem k sobě, nejspíše to bude tím, že toto lepidlo je po vytvrnutí měkké a plech tím pádem mohl klesnout níže. V této metodě měření se ukázalo, že nejmenší deformaci vykazuje lepidlo Teroson RB 3266, které po vytvrzení není ani moc tuhé ani moc měkké a plech zůstane v podobné úrovni, jako před vytvrzením lepidla. U pevnostního lepidla Sika Power 492 lze jasně vidět, že je po vytvrnutí tuhé a plech zvedá o 0,34 mm vzhůru.

5 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce byla analýza deformace lepených spojů, za použití tří různých typů lepidel poté, co se nechají vysokou teplotou v peci vytvrdit. K této analýze byly použity dvě různé zkoušky. Jedna z nich probíhala za použití trhacího stroje Zwick Roell KAPPA 50 SS-CF, kde se lepidlo nechalo vytvrdit v tepelné komoře a měřil se průběh deformace a síly v závislosti na čase. Ve druhé zkoušce byl za potřebí speciální přípravek, který demonstroval karoserii automobilu tím, že strukturální díl byl vytvořen U profilem z materiálu HX260 a pohledový díl pomocí plechu o tloušťce 0,7 mm a z materiálu DC05. Výsledné zhodnocení výsledků v kapitole 4 ukazuje, že se u dvou lepidel výsledná deformace zásadně liší, může to být tím, že u měření na trhacím stroji, měla lepidla možnost zvětšovat svůj objem do všech stran, zatímco u měření ve speciálním přípravku, převážně působila na plech. Pro další zkoumání této problematiky, by bylo možné zkoušet jiné vzdálenosti mezi pohledovým a strukturálním dílem karoserie, jiné teploty vytvrzování nebo popřípadě použít menší množství lepidla.

Použitá literatura

- [1] Rozebíratelný spoj [online]. In: . s. 1 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.pentaser-vis.cz/pojem/rozebiratelny-spoj/>
- [2] ŠLUPINA, Miloš. Spoje ve strojírenství [online]. In: . s. 49 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U36_Spoje_ve_strojirenstvi.pdf
- [3] KŘÍŽ, Rudolf. Stavba a Provoz strojů strojů I. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1977. ISBN 04-231-77.
- [4] Spoje a spojovací součásti [online]. In: . [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/208/01.html#1-1>
- [5] Nerozebíratelný spoj. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2021 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nerozeb%C3%ADrateln%C3%BD_spoj
- [6] PILVOUSEK, Tomáš. Lepení ve výrobě karoserie. In: MM Průmyslové spektrum [online]. 2017, , [cit. 5.5.2023]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-ve-vyrobe-karoserie>
- [7] TUL, katedra strojírenské technologie. Technologie lepení. Výhody, nevýhody lepených spojů [online]. In: . s. 64 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=200233>
- [8] GREGOR, Miroslav. Technologie a technika lepení - základní informace [online]. 2021 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/clanky/technologie-a-technika-lepeni---zkladni-informace>
- [9] MRŇA, Libor. Lepení materiálů [online]. In: . s. 27 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf
- [10] Svařování. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD>

- [11] Svařování [online]. In: . s. 39 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6977135-Svarovani-1-1-1-podstata-ucel-pouziti-vyhody-nevyhody-a-rozdeleni-svarovani.html>
- [12] RAYNOCH, Jindřich. Svařování [online]. In: . 2012, s. 25 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/SVA%C5%98OV%C3%81N%C3%8D-UT.pdf>
- [13] Svařování za působení tepla a tlaku [online]. In: . s. 1 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/svaovn-za-psoben-tepla-tlaku.html>
- [14] Pájení a způsoby pájení [online]. In: . s. 1 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/pajeni-a-zpusoby-pajeni/>
- [15] ŠIKA, Michal. Jak správně pájet elektronické součástky [online]. In: . 2021 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://kutiluv-zapisnik.cz/jak-spravne-pajet-elektronicke-soucastky/>
- [16] Pájka [online]. In: . 2019, s. 1 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/pajka/>
- [17] LANDECKÝ, Jan. Nýtování – ustupující technologie, která má stále co nabídnout [online]. 2021, 1 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/hobby/nytovani-co-to-je>
- [18] Bezkontaktní měření deformace a průtažnosti. In: JD Dvořák, s.r.o. [online]. 2018 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.testsysteme.cz/mereni-deformace-prutaznosti-se-zamerim-na-bezkontaktni-technologie>
- [19] ZUZA, Mikolas. Fotogrammetrie – 3D skenování s použitím fotoaparátu či mobilu [online]. 2018 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/fotogrammetrie-3d-skenovani-s-pouzitim-fotoaparatu-ci-mobilu/>
- [20] KELLER, Petr. Obsluha měřicích zařízení: bezkontaktní metody [online]. Liberec, 2015 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2520>. TUL.
- [21] ATOS Triple Scan: Profesionální 3D optický skener [online]. In: . [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: https://www.mcae.cz/wp-content/uploads/2020/10/GOM_Brochure_ATOS_TripleScan_CZ_nahled.pdf

Přílohy

1. Statická zkouška tahem HX260 směr 0°

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

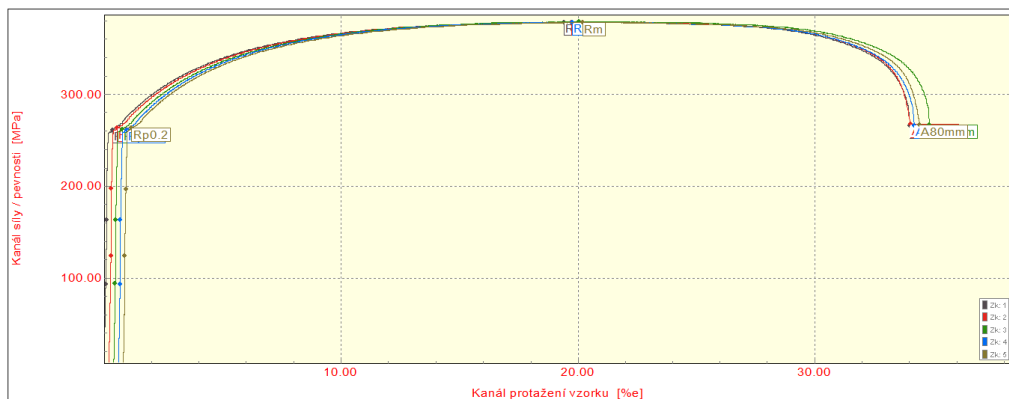
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260 BD+Z100MB
Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm
Směr odebrání vzorku : 0°
Teplota : RT
Rychlost posuvu : 0,5 [15] mm/min.
Vypracoval : David Chmátal
Datum provedení testu : 18.1.2023
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	1.29	20.15	261.5	378.4	19.20	33.88
2	1.29	20.14	263.2	378.6	19.31	33.69
3	1.29	20.11	262.1	379.2	19.44	34.31
4	1.29	20.16	261.5	378.2	18.96	33.46
5	1.29	20.17	262.9	378.0	19.20	33.48

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	1.29	20.15	262.2	378.5	19.22	33.76
Směrodatná odchylka	0.00	0.02	0.8	0.4	0.18	0.35
Minimální hodnota	1.29	20.11	261.5	378.0	18.96	33.46
Maximální hodnota	1.29	20.17	263.2	379.2	19.44	34.31



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

2. Statická zkouška tahem HX260 směr 45°

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

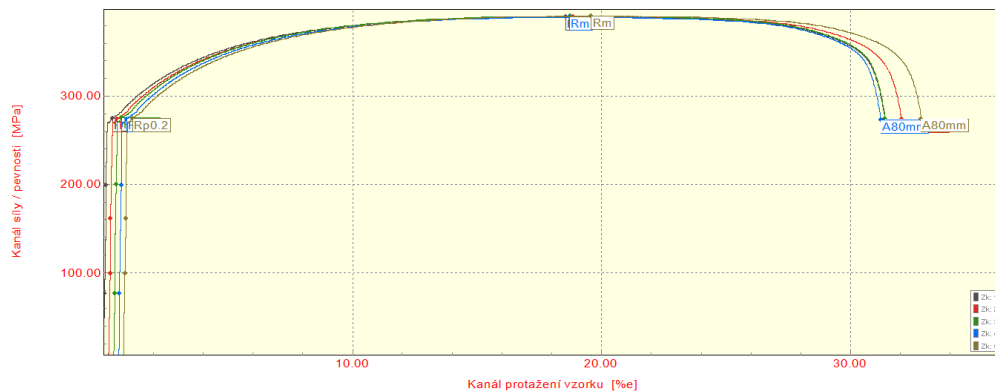
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260 BD+Z100MB
Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm
Směr odebrání vzorku : 45°
Teplota : RT
Rychlost posuvu : 0,5 [15] mm/min.
Vypracoval : David Chmátal
Datum provedení testu : 18.1.2023
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	1.29	20.15	274.5	389.7	18.37	31.25
2	1.29	20.16	274.3	390.3	18.46	31.71
3	1.29	20.11	275.2	390.5	18.14	30.86
4	1.29	20.17	274.4	389.3	17.92	30.49
5	1.29	20.14	274.5	390.7	18.57	31.90

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	1.29	20.15	274.6	390.1	18.29	31.24
Směrodatná odchylka	0.00	0.02	0.3	0.6	0.26	0.58
Minimální hodnota	1.29	20.11	274.3	389.3	17.92	30.49
Maximální hodnota	1.29	20.17	275.2	390.7	18.57	31.90



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

3. Statická zkouška tahem HX260 směr 90°

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

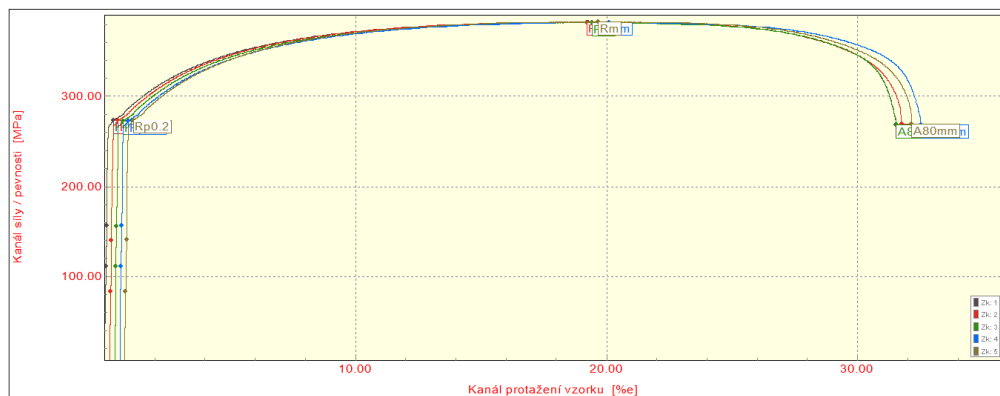
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260 BD+Z100MB
Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm
Směr odebrání vzorku : 90°
Teplota : RT
Rychlost posuvu : 0,5 [15] mm/min.
Vypracoval : David Chmátal
Datum provedení testu : 18.1.2023
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	1.29	20.15	273.0	382.3	19.07	31.41
2	1.29	20.13	273.1	382.6	18.81	31.43
3	1.29	20.17	272.8	381.9	18.84	31.02
4	1.29	20.16	272.8	382.1	19.32	31.81
5	1.29	20.11	273.5	383.0	18.69	31.23

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	1.29	20.14	273.0	382.4	18.94	31.38
Směrodatná odchylka	0.00	0.02	0.3	0.4	0.25	0.29
Minimální hodnota	1.29	20.11	272.8	381.9	18.69	31.02
Maximální hodnota	1.29	20.17	273.5	383.0	19.32	31.81



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

4. Statická zkouška tahem DC05 směr 0°

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

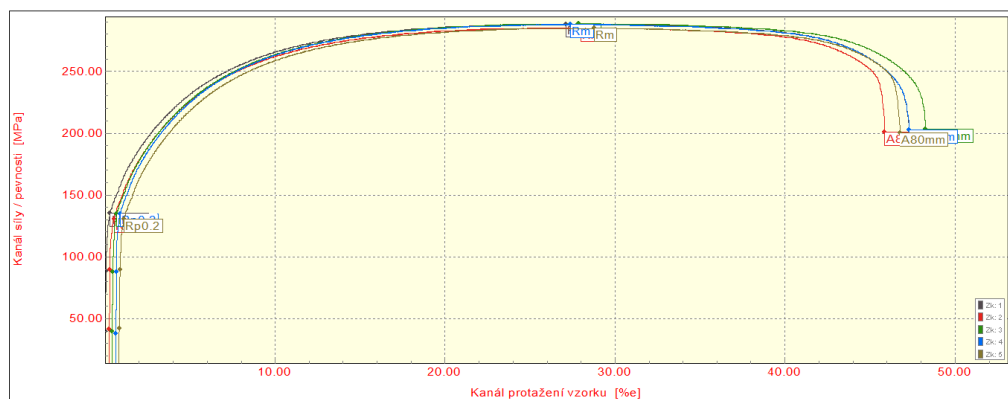
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 ZE 75/75 BP
Rozměry vzorku : [0,7 x 20] mm
Směr odebrání vzorku : 0°
Teplota : RT
Rychlost posuvu : 0,5 [15] mm/min.
Vypracoval : David Chmátal
Datum provedení testu : 18.1.2023
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	0.70	20.10	135.2	288.3	26.92	47.15
2	0.70	20.10	130.6	285.2	27.55	45.52
3	0.70	20.08	134.8	288.6	27.26	47.75
4	0.70	20.13	135.0	287.9	26.59	46.57
5	0.70	20.12	130.3	284.9	27.72	45.80

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	0.70	20.11	133.2	287.0	27.21	46.56
Směrodatná odchylka	0.00	0.02	2.5	1.8	0.46	0.93
Minimální hodnota	0.70	20.08	130.3	284.9	26.59	45.52
Maximální hodnota	0.70	20.13	135.2	288.6	27.72	47.75



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

5. Statická zkouška tahem DC05 směr 45°

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

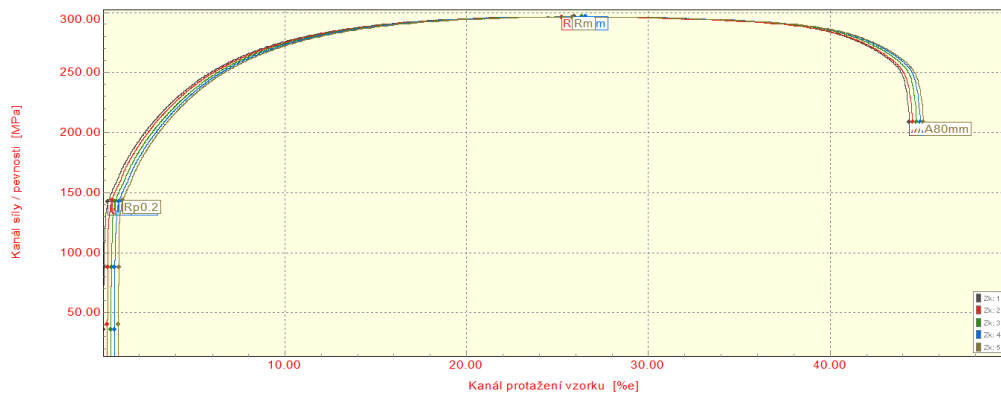
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 ZE 75/75 BP
Rozměry vzorku : [0,7 x 20] mm
Směr odebrání vzorku : 45°
Teplota : RT
Rychlost posuvu : 0,5 [15] mm/min.
Vypracoval : David Chmátal
Datum provedení testu : 18.1.2023
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	0.70	20.10	142.5	296.4	25.78	44.26
2	0.70	20.10	143.4	296.2	24.88	44.24
3	0.70	20.10	142.5	296.4	25.78	44.26
4	0.70	20.10	142.5	296.4	25.78	44.26
5	0.70	20.10	143.4	296.2	24.88	44.24

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	0.70	20.10	142.8	296.3	25.42	44.25
Směrodatná odchylka	0.00	0.00	0.5	0.1	0.49	0.01
Minimální hodnota	0.70	20.10	142.5	296.2	24.88	44.24
Maximální hodnota	0.70	20.10	143.4	296.4	25.78	44.26



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

6. Statická zkouška tahem DC05 směr 90°

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

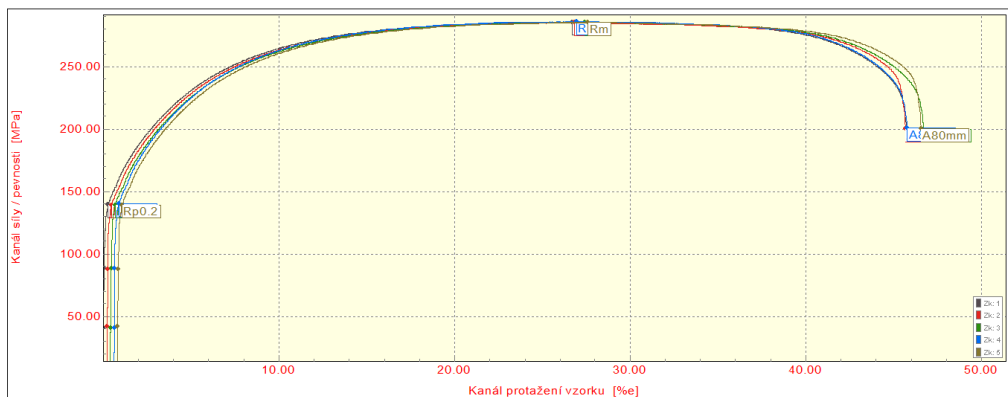
VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 ZE 75/75 BP
Rozměry vzorku : [0,7 x 20] mm
Směr odebrání vzorku : 90°
Teplota : RT
Rychlost posuvu : 0,5 [15] mm/min.
Vypracoval : David Chmátal
Datum provedení testu : 18.1.2023
Pozn. :

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	0.70	20.10	139.7	285.6	26.50	45.61
2	0.70	20.14	139.3	285.1	26.45	45.36
3	0.70	20.12	139.3	285.3	26.84	46.18
4	0.70	20.07	140.0	286.0	26.17	45.04
5	0.70	20.13	139.2	285.3	26.62	45.65

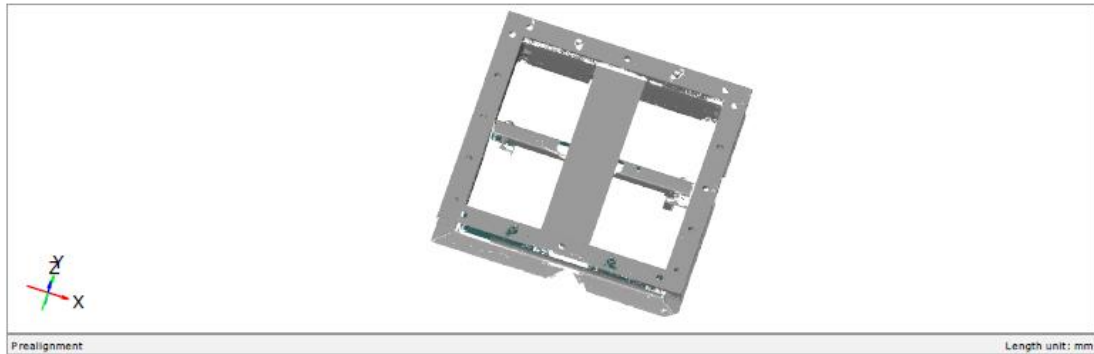
Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	0.70	20.11	139.5	285.5	26.52	45.57
Směrodatná odchylka	0.00	0.03	0.3	0.3	0.24	0.42
Minimální hodnota	0.70	20.07	139.2	285.1	26.17	45.04
Maximální hodnota	0.70	20.14	140.0	286.0	26.84	46.18



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCÍ
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

7. Inspekce Sika Power 492

Inspekce



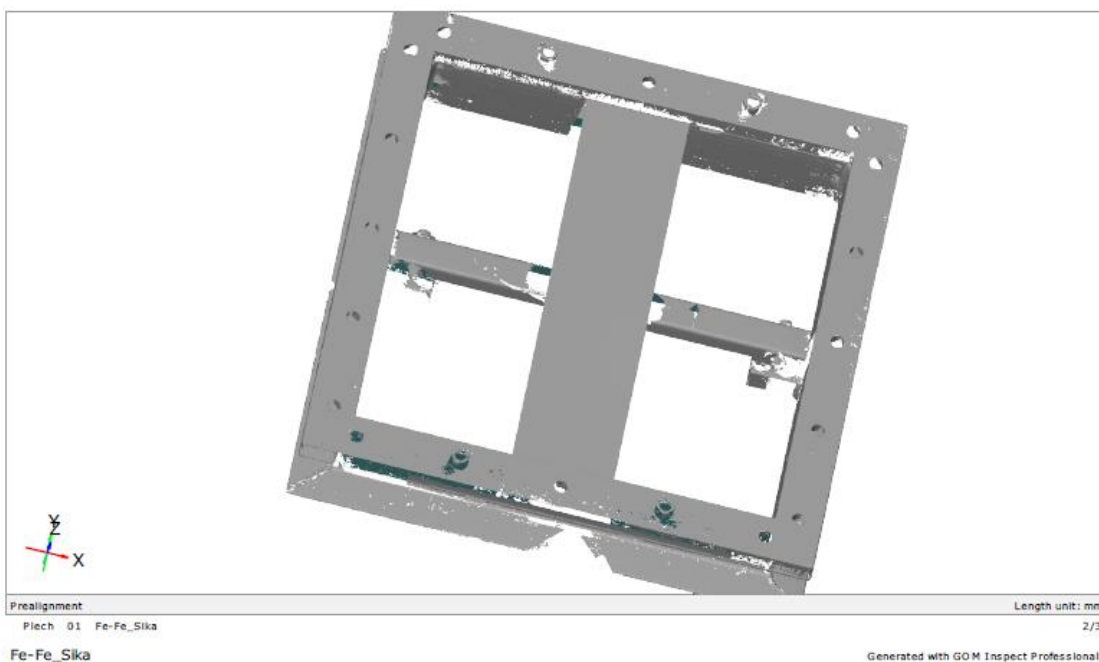
Inspector: Mendřický Radomír	Part: Plech
Company: Technická univerzita v Liberci	Part no.: 01
Department: www.ksa.tul.cz	Version: Fe-Fe_Sika
Location: Liberec	Charge no.:
Date: 14.03.2023	System: GOM Inspect Professional
Project:	

Plech_01_Fe-Fe_Sika
Fe-Fe_Sika

1/3
Generated with GOM Inspect Professional

8. Po tepelné úpravě Sika Power 492

Po tepelné úpravě

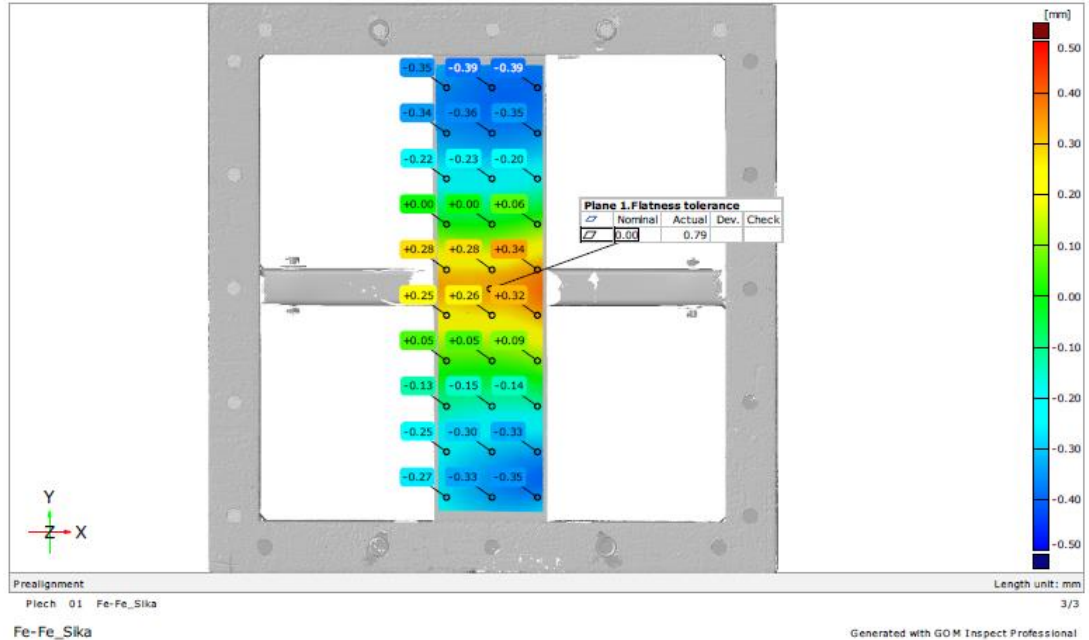


Plech_01_Fe-Fe_Sika
Fe-Fe_Sika

2/3
Generated with GOM Inspect Professional

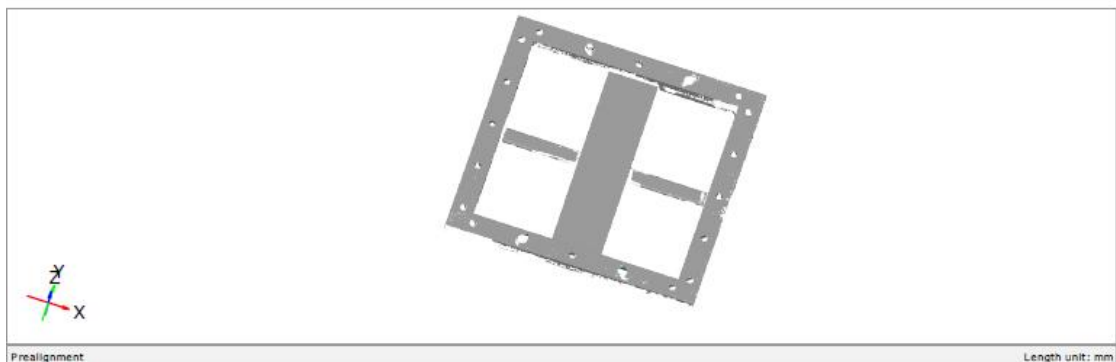
9. Rovinnost Sika Power 492

Rovinnost



10. Inspekce Teroson RB 3220

Inspekce

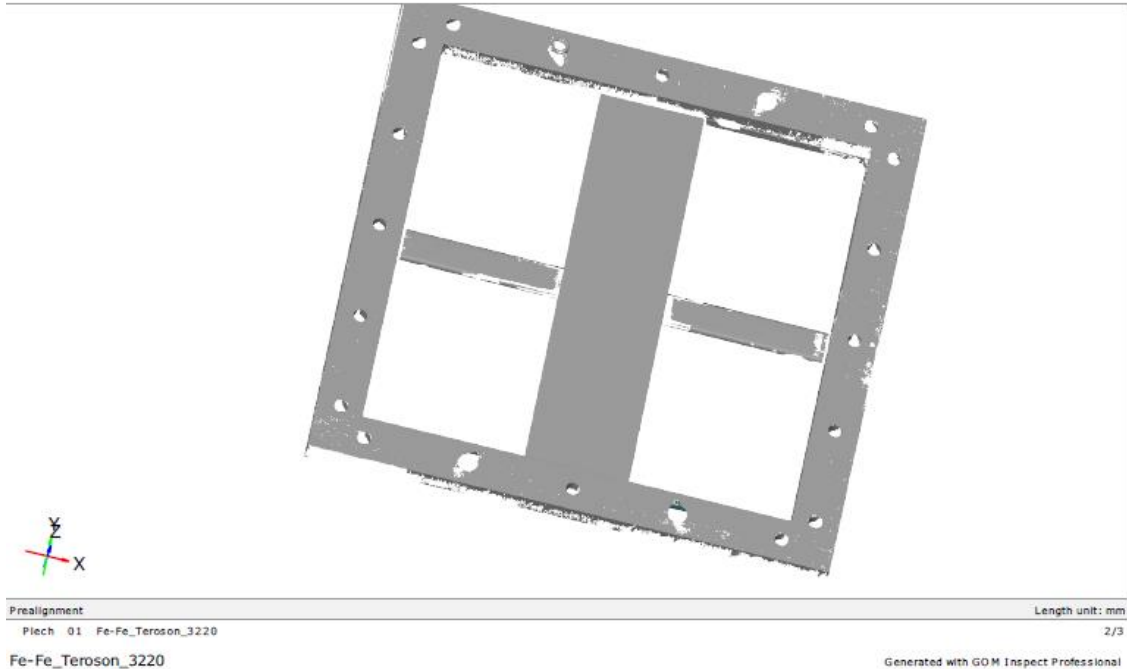


Inspector: Mendřický Radomír
Company: Technická univerzita v Liberci
Department: www.ksa.tul.cz
Location: Liberec
Date: 09.03.2023
Project:

Part: Plech
Part no.: 01
Version: Fe-Fe_Teroson_3220
Charge no.:
System: GOM Inspect Professional

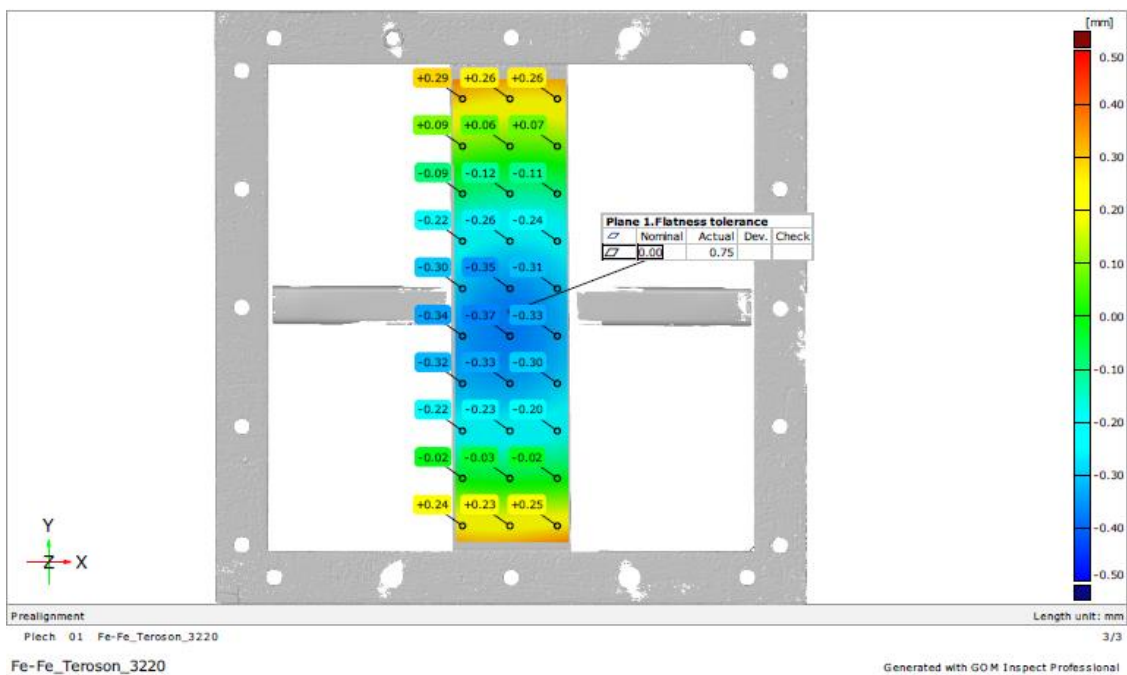
11. Po tepelné úpravě Teroson RB 3220

Po tepelné úpravě



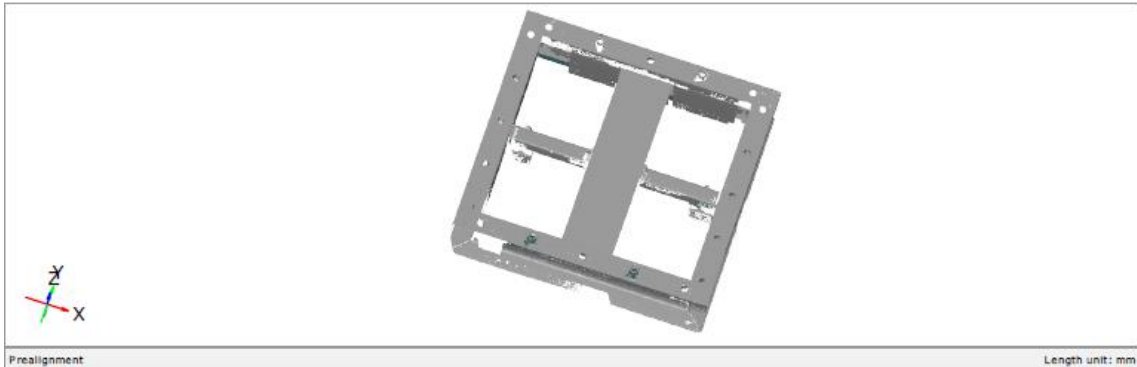
12. Rovinnost Teroson RB 3220

Rovinnost



13. Inspekce Teroson RB 3266

Inspekce



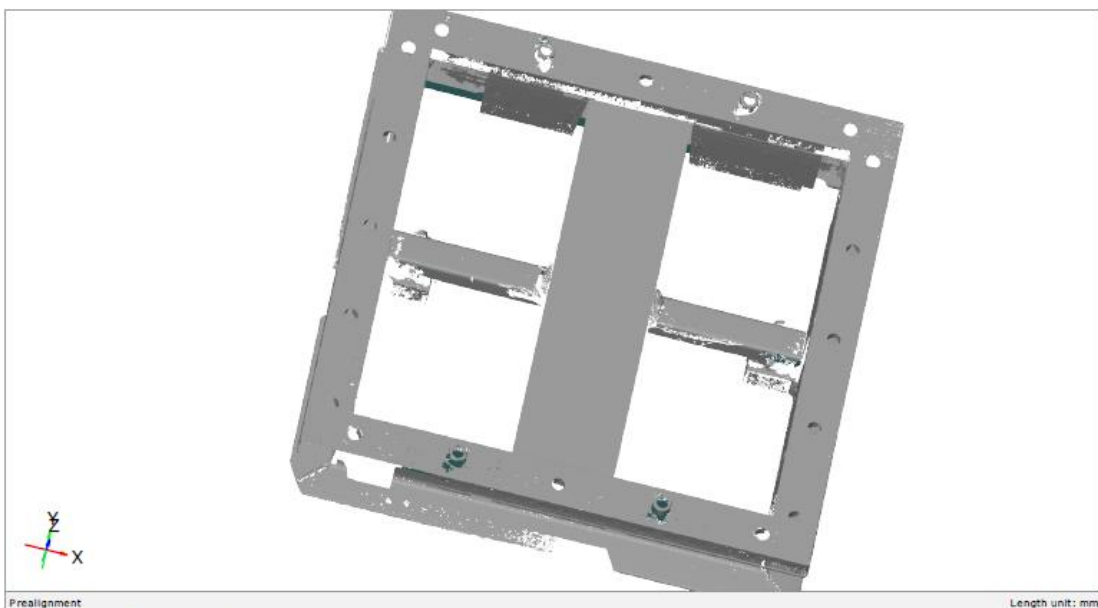
Inspector: Mendřický Radomír	Part: Plech
Company: Technická univerzita v Liberci	Part no.: 01
Department: www.ksa.tul.cz	Version: Fe-Fe_Teroson_3266
Location: Liberec	Charge no.:
Date: 09.03.2023	System: GOM Inspect Professional
Project:	

Plech_01_Fe-Fe_Teroson_3266
Fe-Fe_Teroson_3266

1/3
Generated with GOM Inspect Professional

14. Po tepelné úpravě Teroson RB 3266

Po tepelné úpravě

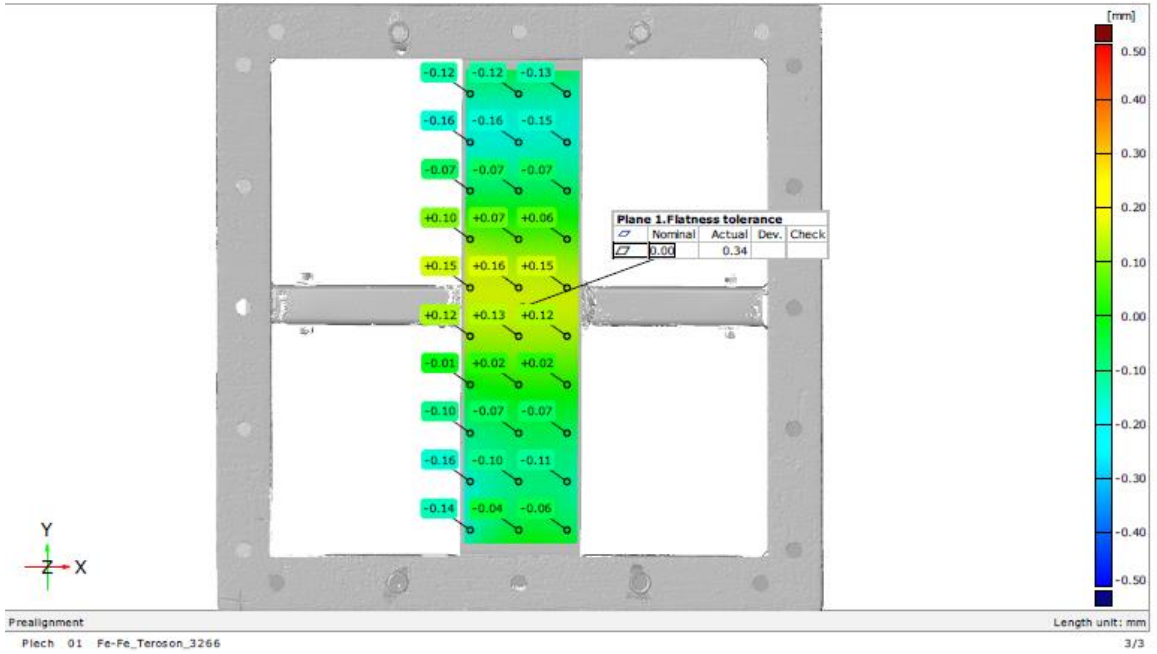


Plech_01_Fe-Fe_Teroson_3266
Fe-Fe_Teroson_3266

2/3
Generated with GOM Inspect Professional

15. Rovinnost Teroson RB 3266

Rovinnost



16. Materiálový list lepidla Sika Power 492

Product Data Sheet
Version 4 (04 / 2010)

SikaPower®-492G

Semi crash resistant hem flange adhesive

Technical Product Data

Chemical base	Epoxy hybrid
Color (CQP 001)	black
Hazard designation	Xi, N
Non-volatile compounds (CQP 576)	> 99 %
Density before / after curing (CQP 576)	1.30 / 1.35 kg/l approx.
Application temperature	50 - 60°C (nozzle)
Viscosity, 50°C, oscillation 5Hz, P/P 25 mm, 1 mm gap (CQP 584-1)	1000 Pa·s approx.
Curing time / substrate temperature	20 min / 175°C
Lap shear strength ² , at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	20 MPa approx.
Lap shear strength ² , -30°C / +80°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	22 / 15 MPa approx.
Lap shear strength ² , 20' 160°C / 40' 200°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	19 / 18 MPa approx.
Lap shear strength ³ , 1.5 mm metal sheet, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	30 MPa approx.
Dynamic resistance to cleavage ⁴ (CQP 580-3,-6 / ISO 11343)	30 N/mm approx.
T-Peel strength ⁵ (CQP 580-2,-6 / ISO 11339)	9 N/mm approx.
Tensile strength ⁵ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	30 MPa approx.
Elongation at break ⁵ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	8% approx.
Glass transition temperature, DMTA (CQP 509 / DIN EN ISO 6721, EN 61006)	105°C approx.
Shelf life, at 23°C (CQP 584-1)	9 months

¹) CQP = Corporate Quality Procedures

²) DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

³) H320 ZE 50/50 1.5 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

⁴) DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 20 x 30 x 0.3 mm; impact speed: 2.0 m/s.

⁵) DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer 25 x 100 x 0.3 mm; rate of extension: 100 mm/min.

⁶) Rate of extension: 2 mm/min.

Description

SikaPower®-492G is a one-part, warm-applied, heat-curing high-structural, impact modified adhesive based on epoxy.

SikaPower®-492G is designed for sheet metal assembly work in the body shop and is cured with heat, e.g. in the paint oven, to form a high-performance thermoset.

SikaPower®-492G is manufactured in accordance with ISO 9001/14001 quality assurance system and with the Responsible Care program.

Product Benefits

- One-part
- High strength
- Adheres well to oily substrates
- Very high resistance to washing out
- Suitable for joining different metals
- Contains fine glass beads
- Distortion-free joining
- Provides protection against corrosion
- No damage to substrates
- Contains no solvents, PVC or isocyanates

Areas of Application

SikaPower®-492G is suitable for high structural bonding of different types of metal. As an adhesive product it is designed for use as a hem flange bonding adhesive. The glass beads contained in the adhesive provide a uniform layer of adhesive in the gap and help to reduce excessive material squeeze out. The bonding of oily substrates (standard anti-corrosion treatment and deep drawing oils, approx. 3 g/m²) is possible because of the oil uptake during the heat curing that is an essential part of the process.

Automotive



SikaPower®-492G 1 / 2

Method of Application

SikaPower®-492G is applied in bead form with a recommended diameter of 1 to 3 mm. SikaPower®-492G is filtered with a mesh size of 300 µm before packaging.

Because the viscosity is temperature-dependent (see Fig. 1) all parts of the application system that are in contact with the adhesive must be heated. We recommend phased temperature increase from 40°C at the follower plate to 55°C at the application unit (nozzle). To prolong the life of the packings and facilitate removal of the cut foil disk we strongly recommend a preheating of the new drum for 15 minutes. This will make it easier to remove the foil. During longer breaks (e.g. over night or at the weekend) the equipment must be cooled down to ambient temperature and switched-off and the system (pump and dosage unit) depressurized.

The glass beads contained in the adhesive do not affect the application with standard application systems.

The time between application and curing must be as short as possible, since any uptake of moisture in the interim (climate-dependent) can cause formation of blisters during heat curing. As a guide to process planning, blister formation was not detected after conditioning of uncured parts at 23°C and 80% relative humidity in joined state for two weeks, a drop in dynamic resistance to cleavage was not detected even after four weeks. However, if suitable conditions cannot be guaranteed, pre-curing for 15 minutes at 160°C (substrate temperature) is necessary.

For advice on project-specific application techniques please contact the Corporate System Engineering department (Sika Services AG). For advice on suitable applications (Technical Service) please contact Sika Automotive GmbH.

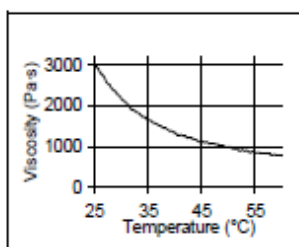


Figure 1: Viscosity as a function of temperature (Equipment: Physica)

Cure Mechanism

SikaPower®-492G is cured by heat. The cure-rate depends both on temperature and elapsed time. The most suitable heat sources are convection ovens. The maximum temperature must not exceed 220°C.

Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheet
- Pump specification

Packaging Information

Cartridges	300 ml
Hobcock ¹⁾	23 l
Hobcock	50 l
Drum	195 l

¹⁾ 280 mm diameter

Value Base

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Local Restrictions

Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of the chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its product. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Further information available at:
www.sika.ch
www.sika.com

Sika Automotive GmbH
Reichsbahnstraße 99
D-22525 Hamburg
Germany
Tel.+49405400-0
Fax+494054002-241



SikaPower®-492G 2 / 2

17. Materiálový list lepidla Teroson RB 3220

Technisches Datenblatt

TEROSON®

TEROSON RB 3220

April 2018

PRODUKTBE SCHREIBUNG

Technologie	Kautschuk
Produktart	Unterfütterungsklebstoff

TEROSON RB 3220 ist ein wärnehärtender und lösemittelfreier 1-Komponenten-Dichtstoff auf Kautschukbasis. Aufgrund der speziellen Viskosität ist das Material standfest und gegenüber den Vorbehandlungsbädern der Automobilindustrie auswaschbeständig. TEROSON RB 3220 haftet gut auf beöilten Blechen, wie z.B. Aluminiumlegierungen, verzinkten Oberflächen und ZM Oberflächen. Das Material ist flexibel und unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen. Bei Temperaturen oberhalb 140 °C vernetzt TEROSON RB 3220 chemisch. Aufgrund der guten Verträglichkeit mit KTL Lacken, wird ein sicherer Korrosionsschutz, selbst an Grenzflächen gewährleistet. TEROSON RB 3220 kann nach der Aushärtung überlackiert werden.

ANWENDUNG

TEROSON RB 3220 wird als Unterfütterer im Karosseriebau eingesetzt. Haupteinsatzbereiche sind Motorhauben und Heckklappen. Es wird für Anwendungen empfohlen, bei denen gute Auswaschbeständigkeiten ohne Vorhärtung sowie ein hohes Maß an Elastizität über ein weites Temperaturfenster gefordert werden.

TECHNISCHE DATEN

Ungehärtet	
Farbe	schwarz
Dichte	ca. 1,5 g/cm ³
Konsistenz	pastös
Trockenrückstand	> 99 %
Viskosität (DIN 54458)	ca. 350 Pa.s
Equipment	P/P 25 mm
Frequenz	10 Hz
Deformation	10 %
Temperatur	45 °C
Ausgehärtet (25 min. bei 175 °C)	
Expansion	ca. 15 %
Zugscherfestigkeit (DIN EN 1465)	ca. 1,5 MPa
Schichtstärke	2 mm
Klebefläche	25 x 20 mm
Substrat	HDG/EGS 0.75 mm
Härte nach Shore A (DIN 53505)	55 bis 60
Temperaturstabilität kurzfristig (bis 1 h)	200 °C

Gebrauchstemperatur -40 bis 90 °C

VORBEMERKUNG

Vor Beginn der Anwendung ist es erforderlich, sich anhand des Sicherheitsdatenblattes über Vorsichtsmaßnahmen und Sicherheitsratschläge zu informieren. Auch bei nicht kennzeichnungspflichtigen Produkten sind die bei chemischen Erzeugnissen üblichen Sicherheitsmaßnahmen zu beachten.

VERARBEITUNG

TEROSON RB 3220 wird aus Hobbocks oder Fässern mit Hilfe von Hochdruckpumpen mit einem Übersetzungsverhältnis von mindestens 50:1 verarbeitet. Für die besten Anwendungsergebnisse wird der Einsatz von volumenkontrollierten Dosierern empfohlen. Die beheizte Verarbeitungspistole kann entweder manuell oder auf einer festen Spannvorrichtung angewendet werden. Häufiger wird ein automatisches Verarbeitungssystem angeschlossen (Roboter, CNC). Bei Produktionsunterbrechungen von mehr als 1 Stunde, empfehlen wir, die Heizung abzuschalten. Bei einer Unterbrechung von mehr als 15 Minuten, sollte die Anlage drucklos geschaltet werden. Die Temperaturführung sollte an unabhängig voneinander regelbaren Heizungen so eingestellt werden, dass die niedrigste Temperatur an der Folgeplatte anliegt und die höchste an der Verarbeitungsdüse. Um eine optimale Benetzung der Substrate zu gewährleisten, sollte TEROSON RB 3220 bei erhöhten Temperaturen angewendet werden. Das Produkt hat eine offene Zeit im gefügten Zustand von mindestens 4 Wochen (Hallenlagerung bei maximal 30 °C und einer Luftfeuchtigkeit von maximal 70 %). Das Material wird direkt auf ölige Oberflächen appliziert, die mit einer Ölmenge von bis zu 3 g/m² beölt sein dürfen. Bei Bedarf informieren wir Sie gerne über geeignete Verarbeitungsanlagen.

Empfohlene Verarbeitungstemperatur:

Folgeplatte und Pumpe: 25 bis 35 °C
Applikationsdüse: 35 bis 80 °C

AUSHÄRTUNG

TEROSON RB 3220 härtet beim KTL-Ofendurchlauf aus, beispielsweise 15 Minuten bei 175 °C. Die minimal erforderlichen Aushärtungsbedingungen liegen bei 15 Minuten und 160 °C. Diese Angaben beziehen sich auf Objekttemperaturen.

REINIGUNG

Frisches, nicht polymerisiertes Material kann mit Hilfe von Ethylacetaten oder Benzin entfernt werden. Ausgehärteter Klebstoff kann nur noch mechanisch entfernt werden.



TEROSON RB 3220

April 2018

LAGERUNG

Frostempfindlich	nein
Empfohlene Lagertemperatur	5 bis 25 °C
Haltbarkeit	6 Monate

Haftungsausschluss**Hinweis:**

Die vorstehenden Angaben in diesem technischen Datenblatt (TDB), insbesondere Vorschläge für die Verarbeitung und den Einsatzbereich unserer Produkte, beruhen auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Auf Grund der unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten und der außerhalb unseres Einflussbereiches liegenden Einsatz- und Arbeitsbedingungen übernehmen wir keine Haftung für die Eignung unserer Produkte für die relevanten Produktionsverfahren unter den konkreten Arbeitsbedingungen sowie die beabsichtigten Verarbeitungszwecke und Ergebnisse. Um eine solche Eignung sicherzustellen empfehlen wir in jedem Fall ausreichende vorherige Eigenversuche und Tests.

Jede aus den Hinweisen in diesem technischen Datenblatt und jede aus sonstiger schriftlicher oder mündlicher Beratung für das vorliegende Produkt resultierende Haftung ist ausdrücklich ausgeschlossen, es sei denn, dass Individualvertraglich etwas anderes vereinbart wurde, ein Fall der Verletzung von Leib, Leben oder Gesundheit vorliegt, uns Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt oder eine Haftung nach zwingendem Produkthaftungsrecht besteht.

Bei Lieferung unserer Produkte durch Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS und Henkel France SA beachten Sie bitte zusätzlich folgendes:

Für den Fall, dass Henkel dennoch, aus welchem Rechtsgrund auch immer, in Anspruch genommen wird, ist die Haftung von Henkel in jedem Fall beschränkt auf den Wert der jeweils betroffenen Lieferung.

Bei Lieferung unserer Produkte durch Henkel Colombiana, S.A.S. findet folgendes Anwendung:

Die vorstehenden Angaben in diesem technischen Datenblatt (TDB), insbesondere Vorschläge für die Verarbeitung und den Einsatzbereich unserer Produkte, beruhen auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Wir übernehmen keine Haftung für die Eignung unserer Produkte für die relevanten Produktionsverfahren unter den konkreten Arbeitsbedingungen sowie die beabsichtigten Verarbeitungszwecke und Ergebnisse. Um eine solche Eignung sicherzustellen empfehlen wir in jedem Fall ausreichende vorherige Eigenversuche und Tests.

Jede aus den Hinweisen in diesem technischen Datenblatt und jede aus sonstiger schriftlicher oder mündlicher Beratung für das vorliegende Produkt resultierende Haftung ist ausdrücklich ausgeschlossen, es sei denn, dass Individualvertraglich etwas anderes vereinbart wurde, ein Fall der Verletzung von Leib, Leben oder Gesundheit vorliegt, uns Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt oder eine Haftung nach zwingendem Produkthaftungsrecht besteht.

Bei Lieferung unserer Produkte durch Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc. oder Henkel Canada Corporation, findet folgendes Anwendung:

Die hierin enthaltenen Daten dienen lediglich zur Information und gelten nach bestem Wissen als zuverlässig. Wir können jedoch keine Haftung für Ergebnisse übernehmen, die von anderen erzielt wurden, über deren Methoden wir keine Kontrolle haben. Der Anwender selbst ist dafür verantwortlich, die Eignung von hierin erwähnten Produktionsmethoden für seine Zwecke festzustellen und Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, die zum Schutz von Sachen und Personen vor den Gefahren angezeigt wären, die möglicherweise bei der Handhabung und dem Gebrauch dieser Produkte auftreten. Dementsprechend lehnt die Firma Henkel im besonderen jede aus dem Verkauf oder Gebrauch von Produkten der Firma Henkel entstehende ausdrücklich oder stillschweigend gewährte Garantie ab, einschließlich aller Gewährleistungspflichten oder Eignungsgarantien für einen bestimmten Zweck. Die Firma Henkel lehnt im besonderen jede Haftung für Folgeschäden oder mittelbare Schäden jeder Art ab, einschließlich entgangener Gewinne.

Die Tatsache, dass hier verschiedene Verfahren oder Zusammensetzungen erörtert werden, soll nicht zum Ausdruck bringen, dass diese nicht durch Patente für andere geschützt sind, bzw. unter Patenten der Firma Henkel lizenziert sind, die solche Verfahren oder Zusammensetzungen abdecken. Wir empfehlen jedem Interessenten, die von ihm beabsichtigte Anwendung vor dem serienmäßigen Einsatz zu testen und dabei diese Daten als Anleitung zu benutzen. Dieses Produkt kann durch eines oder mehrere in- oder ausländische Patente oder Patentanmeldungen geschützt sein.

Verwendung von Warenzeichen: Sofern nicht anderweitig ausgewiesen sind alle in diesem Dokument genannten Marken solche der Henkel Corporation in den USA und in anderen Ländern.

Henkel AG & Co. KGaA

D-40191 Düsseldorf, Germany

Telefon: +49-211-797-0

www.henkel.com

Henkel Central Eastern Europe GmbH

A-1030 Wien, Austria

Telefon: +43-1711-040

www.henkel.com

Henkel & Cie AG

CH-4133 Pratteln, Switzerland

Telefon: +41-61-825-7000

www.henkel.com



18. Materiálový list lepidla Teroson RB 3266

Technical Data Sheet

TEROSON®

TEROSON RB 3266

May 2016

PRODUCT DESCRIPTION

Technology	Rubber
Product Type	Antiflutter Adhesive
Additional Information	very soft

TEROSON RB 3266 is a heat curing, solvent free, one component adhesive, based on rubbers. Special viscosity of the product leads to an excellent sag resistance and makes it wash-off resistant against aqueous cleaning and pretreatment agents. Teroson RB 3266 adheres well to oily steel sheets, aluminum and zinc coated surfaces. The cured material shows a foamy structure, is highly flexible and little dependent of changes in temperature. Teroson RB 3266 chemically cross-links at temperatures above 140 °C. Due to the good compatibility to E-coat paint it offers a safe corrosion protection even at boundary areas. Teroson RB 3266 can be painted after curing.

APPLICATION AREAS

TEROSON RB 3266 is used in the automotive body shop and shows good adhesion on oily surfaces. It is specially designed as soft antiflutter to avoid read-through effects even at sensitive surfaces. It is recommended for use, when wash-off resistance must be obtained without pre-gelling or pre-curing, and where a high degree of elasticity is required over a wide temperature range.

TECHNICAL DATA (Typical Test Results)

Uncured

Colour	black
Density	approx. 1.45 g/cm ³
Consistency	pasty
Viscosity (DIN 54458)	260 Pa.s
Equipment	P/P 25 mm
Frequency	10 Hz
Deformation	10 %
Temperature	45 °C

Cured (25 min. at 175 °C)

Expansion rate	approx. 65 %
Shear strength (DIN EN 1465)	approx. 0.25 MPa
bonding area	25 x 20 mm
layer thickness	2 mm
substrate	HDG / EGS 0.75 mm
Shore A hardness (DIN 53505)	approx. 15
Temperature resistance	
short exposure (up to 1 h)	200°C
In service temperature range	-40 to 80 °C

PRELIMINARY STATEMENT

Prior to application it is necessary to read the **Safety Data Sheet** for information about precautionary measures and safety recommendations. Also, for chemical products exempt from compulsory labeling, the relevant precautions should always be observed.

APPLICATION

TEROSON RB 3266 is applied from pails or drums using high pressure pumps with a compression ratio minimum 50:1. For the best application the use of volume controlled dispensers is preferred. The heated application pistol can be used either manually or on a fixed jig. More commonly is attached to an automatic application system (robot, CNC). It is recommended to switch off heating during a shutdown of more than 1 hour. The pressure should be switched off after 15 minutes of non-production. Independent heating circuits should have the lowest temperature at the follower plate and the highest temperature at the application nozzle. To ensure an optimal wetting to the substrate Teroson RB 3266 should be applied at elevated temperatures. The material is applied directly to oily sheet metal no more than 3 g/m². If required, we will provide you with the additional information on suitable application equipment.

Recommended material temperature:

Follower plate and pump:	15 to 35 °C
Temperature at nozzle:	35 to 60 °C

CURING

TEROSON RB 3266 is cured while passing the EC oven, e.g. 15 minutes at 175 °C. The minimum curing cycle is 12 min at 165 °C. These are effective metal temperatures.

CLEANING

Fresh, uncured material can be removed with the aid of ethylacetate or gasoline. Cured adhesive can only be removed mechanically.

STORAGE

Frost sensitive	no
Recommended storage temperature	5 to 25 °C
Shelf life	6 months



TEROSON®**TEROSON RB 3266**

May 2016

Disclaimer**Note:**

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA please additionally note the following:

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc., or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Henkel AG & Co. KGaA

D-40191 Düsseldorf, Germany

Phone: +49-211-797-0

www.henkel.com**Henkel Central Eastern Europe GmbH**

A-1030 Wien, Austria

Phone: +43-1711-040

www.henkel.com**Henkel & Cie AG**

CH-4133 Pratteln, Switzerland

Phone: +41-61-825-7000

www.henkel.com