VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

OPTIMALIZACE VÝROBNÍ A MONTÁŽNÍ TECHNOLOGIE VENTILOVÉHO ČEPU

OPTIMIZATION OF MANUFACTURING AND ASSEMBLING TECHNOLOGY OF THE VALVE BOLT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. ANDREA HROUZKOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. PAVEL DOLEŽAL, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Andrea Hrouzková

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Materiálové inženýrství (3911T011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Optimalizace výrobní a montážní technologie ventilového čepu

v anglickém jazyce:

Optimization of Manufacturing and Assembling Technology of the Valve Bolt

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hodnocení vlivu tepelného zpracování oceli na deformační vlastnosti dílce ventilového čepu při montážních procesech šroubování, kdy je využito plastické deformace povrchu k zajištění těsnosti. Posouzení dalších vlivů jako např. jakosti povrchu komponent, použitých procesních prostředků, technologických a konstrukčních parametrů při procesu momentového utahování - šroubování.

Cíle diplomové práce:

Posouzení vlivu chemicko-tepelného zpracování šroubovaného ventilového čepu na parametry montážního procesu. Návrh modifikace v oblasti chemicko-tepelného procesu, technologii, použití procesních prostředků s ohledem na konstrukci dílce pro zlepšení procesu šroubování a dodržení parametrů pro vznik a zajištění plastické deformace povrchu jako prostředku pro zajištění těsnosti. Kvantitativní hodnocení vstupního materiálu, chemicko-tepelného zpracování, povrchové jakosti dílce a analýza fyzikální podstaty montážního procesu - šroubování.

Seznam odborné literatury:

[1] ASM Handbook, Volume 14, Forming and Forging, 1996. ISBN 0-87170-007-7.
[2] ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering, 1994. ISBN 0-87170-377-7.
[3] KRAUS, V.: Povrchy a jejich úpravy. 1. vyd., Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2000, 218 s. ISBN 80-7082-668-1.
[4] HRUBÝ, V., TULKA, J., KADLEC, J.: Povrchové technologie. 1. vyd., Brno, Vojenská akademie, 1995, 120 s.
[5] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: Technologie tváření – Plošné a objemové tváření, VUT v Brně, CERM s. r. o. Brno, 2003, 170 str., ISBN 80-214-2340-4.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Doležal, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 21.11.2009

L.S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na studium vlivu výrobní a montážní technologie ventilového šroubu montovaného do dieslového vysokotlakého čerpadla CP3 ve firmě Bosch, u kterého byla zjištěna netěsnost. Jako experimentální materiál byly zvoleny tepelně nezpracované šrouby M16x1,5 vyrobené z materiálu 12 050. Byly vyrobeny skupiny vzorků ve dvou rozmezích tvrdostí. Experimentální stanovení optimálního rozmezí tvrdostí bylo posouzeno na základě výsledků ze šroubovacího procesu a stanoveny hodnoty plastické deformace těsnící plochy dané součástky. Experimentální část se dále zabývá analýzou dosedacích ploch na čerpadle a dané součásti, po provedení šroubovacího procesu. Do jisté míry je sledována i provedená povrchová úprava.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plastická deformace,tvrdost, šroubovací proces, vysokotlaké čerpadlo, ventilový šroub

ABSTRACT

The thesis aimed to study the impact of manufacturing and assembly technology, the valve bolt fitted to dieslového high pressure pump in the Bosch CP3, which has been found to leak. As experimental material was chosen heat treated bolts M16x1,5 made of material 12 050th. Groups of samples were produced in two ranges hardness. Experimental determination of the optimum range of hardness was assessed on the basis of the results of the process of the screw and set the value of plastic deformation of the sealing surfaces of the parts. Experimental section also deals with the analysis of bearing surfaces on the pump and the components, after the screw process. To some extent, is observed as surface treatment.

KEY WORDS

Plastic deformation, hardness, screw process, high pressure pump, valve bolt

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HROUZKOVÁ, A. *Optimalizace výrobní a montážní technologie ventilového čepu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 40 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Doležal, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím podkladů uvedených v seznamu literatury na základě konzultací pod vedením Ing. P. Doležala, Ph.D.

v Brně 28.5.2010 .....

Bc. Andrea Hrouzková

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Pavlu Doležalovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Děkuji také za pomoc na experimentální práci Petru Kružíkovi a dalším členům pracovního týmu ve firmě Bosch Diesel, Jihlava. V neposlední řadě patří toto poděkování firmě Bosch Diesel, Jihlava, za možnost zpracování diplomové práce. Děkuji rodičům za podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

1. ÚVOD…….. 1.
2. CÍLE PRÁCE……... 2.
3. TEORETICKÁ ČÁST…… 3.
3.1. Deformační chování materiálu……..…….. 3.
3.1.1. Plastická deformace z materiálového hlediska…… 3.
3.1.2. Plasticita z hlediska mechaniky těles……..... 4.
3.1.2. Rovnice teorie plasticity…….. 6.
3.1.3 Experimentální metody řešení deformace…….. 8.
3.2. Šroubové spojení……..... 10.
3.2.1 Výpočet zatížení šroubových spojů…….. 10.
3.2.2 Výpočtový model vzniklého napětí při šroubování …….. 12.
3.2.3 Pruty s náhlou změnou průřezu……..... 12.
3.2.4 Měrné tlaky v dosedací ploše šroubu…….. 13.
3.3 Funkce čerpadla a jeho součásti…….. 14.
3.3.1 Mechanické čerpadlo s axiálními písty……..... 14.
3.3.2 Mechanické čerpadlo s radiálními písty…… 15.
3.3.3 Vstřikovací systémy dodáváné firmou Bosch..... 16.
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST……..... 18.
4.1 Charakteristika řešeného problému……..... 18.
4.1.1 Podstata problematiky…….. 18.
4.1.2 Analýza vadných součásti…… 20.
4.2 Analýza problematiky a její řešení…….. 22.
4.2.1 Experimentální materiál…….. 22.
4.2.2 Metodická část práce…….. 24.
4.3 Výsledky experimentů……... 27.
4.3.1 Analýza experimentálního materiálu……... 27.
4.3.2 Výsledky z měření tvrdosti……... 28.
4.3.3 Výsledky hodnocení trvalého přetvoření…… 29.
4.3.4 Ošetření povrchu součásti – měření hmotnostního přírůstku……..... 30.
4.3.5 Výsledky šroubovacího testu…… 31.
4.3.6 Analýza dosedacích ploch před a po šroubování…….. 32.
5. DISKUZE VÝSLEDKŮ…… 34.
6. ZÁVĚRY…… 36.
7. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ…….. 37.
8. LITERATURA…….. 38.

1. ÚVOD

Současným trendem moderní výroby jakékoliv složitější strojní součásti je optimalizace výroby za účelem snížení nákladů na výrobu, ale zároveň udržení kvality výrobku. V dnešní době rozvoj automobilového průmyslu nemá tak lineární růst jako tomu bylo v letech minulých. I přesto společnost vyžaduje automobily o vysokých výkonech, bezpečné, levné a pokud možno s nízkou spotřebou paliva. Spotřeba paliva souvisí nejen s ekonomickým hlediskem, ale také vychází z potřeby šetření ropných zásob i s ohledem na životní prostředí. Jedním z aspektů, které hrají roli při spotřebě paliva je využití dosavadních systémů vstřikování paliva.

Dřívější vstřikovací zařízení motoru, pracovali na principu, vstřikování paliva pod tlakem, který vznikal v čerpadlech poháněných vačkami. Tento tlak byl závislý na otáčkách a množství paliva, mezi jednotlivými vstřiky tak vznikali malé tlaky. V současnosti se využívá jak v osobní, tak nákladní dopravě, radiálních pístových čerpadel s tzv. raily, na kterých je tlak trvalý a dosahuje se až hodnoty 2000bar. Tento tlak je regulován elektromagnetickým regulačním ventilem a celý proces vstřikování je řízen z centrální elektroniky. Zaručuje se tak velmi dobrá kvalita rozprášení, rovnoměrnější přerozdělení směsi pro jednotlivé válce, a tím snižování emisí ve výfuku a snížení hlučnosti motoru.

Obecně lze říct, že na zajištění spolehlivosti systému má vliv hned několik aspektů. Mimořádný význam má jak konstrukce čerpadla, tak kvalita materiálu jednotlivých součástek, jejich geometrie, ale také výrobní proces, kterým jsou součástky připravovány a kompletovány. Dosažení vysokých tlaků souvisí s komponentou čerpadla, ve kterém musí být všechny součásti spolehlivě sestaveny, aby nedocházelo ke snižování tlaku a k netěsnostem. Pro vyšší spolehlivost se také ve šroubovacím procesu přechází k technikám, které by měli vést ke zlepšení vlastností těsněných spojů, jako např. nové utahovací postupy (utahování na úhel), nebo vývoj hlav šroubů se speciální charakteristikou plastické deformace.

K plastické deformaci materiálu dochází po překročení hodnoty působícího napětí, které by vykazovalo ještě elastickou deformaci. Plastická deformace je většinou jevem nepříznivým v materiálových charakteristikách a většinou se snažíme, aby hodnota meze plastické deformace byla co nejnižší a nedocházelo tak k znehodnocování materiálu, popř. dané součásti. V některých případech je však nutné zajistit jistou hodnotu trvalého přetvoření, která by byla zárukou těsnosti.

Práce je zaměřena na komponentu (šroub M16x1,5) dieslového vysokotlakého čerpadla CP3. V práci by měl být zhodnocen vliv tepelného zpracování na mechanické vlastnosti a deformační chování materiálu, tak aby se zamezilo případným nechtěným otěrům materiálu a netěsnostem při montážních procesech. K zjištění deformace vzorku při montážním procesu bude využito šroubového procesu, který vychází z předloh pro šroubování v procesu výroby a z tohoto bude vyhodnocena hodnota trvalého přetvoření jednotlivých komponent. Pro zajištění požadované těsnosti by trvalé přetvoření dosedací plochy šroubu měla dosáhnout alespoň 20 µm. Experimentální činnost byla zpracována ve firmě Bosch Diesel s.r.o. Jihlava.

.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je hodnocení vlivu tepelného zpracování oceli na deformační vlastnosti dílce ventilového šroubu při montážních procesech šroubování, kdy je využito trvalého přetvoření dosedací plochy k zajištění těsnosti. Posouzení dalších vlivů jako např. jakosti povrchu komponent, použitých procesních prostředků, technologických a konstrukčních parametrů při procesu momentového utahování šroubováním.

Daný problém byl hodnocen z několika hledisek, které zahrnují řešení nejen z materiálového hlediska. Praktická část proto bude zaměřena na posouzení vlivu šroubovacího procesu na trvalé přetvoření komponenty. V teoretické části je literární rozbor dané problematiky.

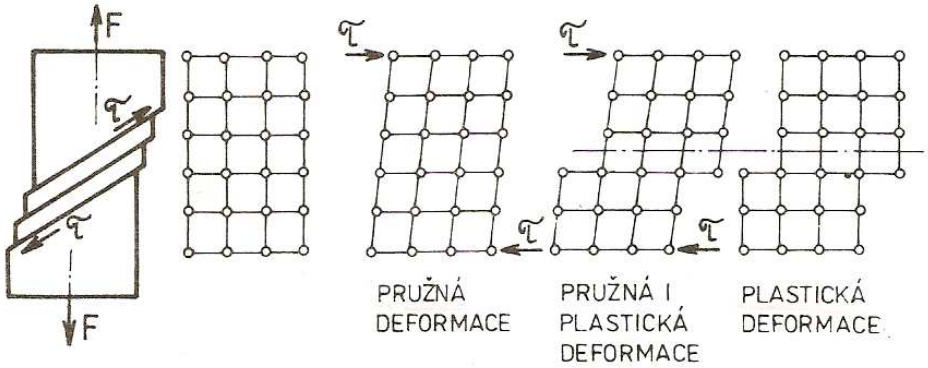
Cílem praktické části je tepelně zpracovat vzorky z uhlíkové oceli 12 050 o různých tvrdostech, aby mohli být provedeny analýzy vlivu šroubového procesu u většího rozmezí tvrdosti. Dále bude provedena metalografie na ventilovém šroubu dodávaného výrobcem. Pro zjištění deformačního chování, bude využito šroubovacího procesu. U šroubu budou posouzeny další vlivy, které by mohli vést k netěsnostem jako např. na postup praní, drsnosti dosedacích ploch, provedení povrchové úpravy „Gleitmo“, které by mohlo hrát roli při šroubovém procesu. U tělesa byla kontrolována čistota závitu, průměr závitu a dosedací plochy.

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1. Deformační chování materiálu

3.1.1. Plastická deformace z materiálového hlediska

Plastická deformace (obr. 3.1) je trvalá, nevratná změna materiálu, pro kterou platí zákon zachování objemu.

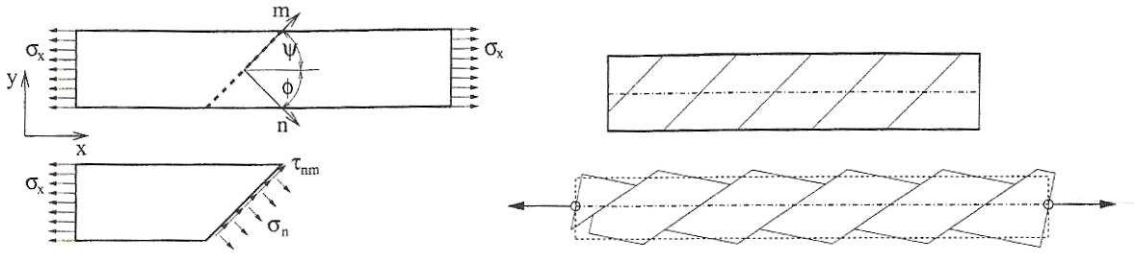


Obr. 3.1 Schéma pružné a plastické deformace monokrystalu kluzem [2]

Působí –li v určité krystalografické rovině a v určitém směru monokrystalu smykové napětí, dojde k vyvolání pohybu dislokací. Toto napětí lze vypočítat dle vztahu 3.1, který vyjadřuje tzv. Schmidův faktor. Pokud smykové napětí dosáhne kritické hodnoty τ_{kr} - kritické skluzové napětí, pak nastane plastická deformace monokrystalu [1].

$$\tau_{kr} = \sigma.\cos\phi.\cos\lambda \qquad (3.1)$$

Kde ϕ. je úhel mezi osami *x* a *n* a λ je úhel mezi osami *x* a *m*, σ je působící napětí, jak je patrné z obrázku 3.2



Obr. 3.2 Znázornění Schmidova faktoru [5]

K deformaci je nutná přítomnost čárových poruch – dislokací, které se mohou pohybovat při působení smykového napětí. Plastická deformace kovů tedy probíhá dvěma základními mechanismy buď skluzem dislokací nebo dvojčatěním. Pohyb dislokací nastane nejdříve v těch zrnech, jejichž mřížka je nejlépe orientována k působícímu maximálnímu smykovému napětí τ_{max} v rovnoběžném směru s Burgesovým vektorem. Při zatěžování jednoosým tlakem je dosaženo největšího smykové napětí pod úhlem 45°. Pro výpočet smykového lze využít vztahu (3.2) [1].

$$\tau_{max} = \frac{Re}{2} \tag{3.2}$$

Skluz se uskutečňuje při vzájemném pokluzu krystalografických rovin. Protože Burgersův vektor skluzových dislokací je vždy mřížkovým vektorem, posunují se atomy při skluzovém pohybu z jedné mřížkové polohy do sousední ekvivalentní polohy. To znamená, že oblast, ve které proběhl skluz, zůstává identická se zbývající částí krystalu nebo zrna. Naopak deformační dvojčata tvoří v původním zrně oblast krystalograficky stejnou avšak odlišně orientovanou[3].

Plastická deformace polykrystalu

Při vhodné orientaci polykrystalických zrn může dojít ke sklopení - natočení jedné části mřížky vůči druhé kolem roviny symetrie, kterému říkáme mechanické dvojčatění. Dvojčatěním dochází k příznivější orientaci skluzových systémů vzhledem k napětí τ_{max}. Při dalším zvýšení napětí se skluz a dvojčatění rozšíří na ostatní zrna polykrystalu. Plastická deformace vede ke vzniku anizotropního kovu s usměrněnými vlákny s tzv. deformační strukturou [4].

Při rozdělení zrn na jednotlivé bloky – subzrna, umožňuje přítomnost dislokací jejich vzájemný posuv a pootáčení. Vzniká mezibloková plastická deformace značných velikostí. Mezikrystalické plastické deformace vznikají vzájemným posuvem na hranicích zrn. Uplatnění tohoto mechanizmu je závislé na teplotě a pevnosti hranic zrn. Může dojít k předčasnému vyčerpání schopnosti plastické deformace a k mezikrystalickému zkřehnutí kovu [4].

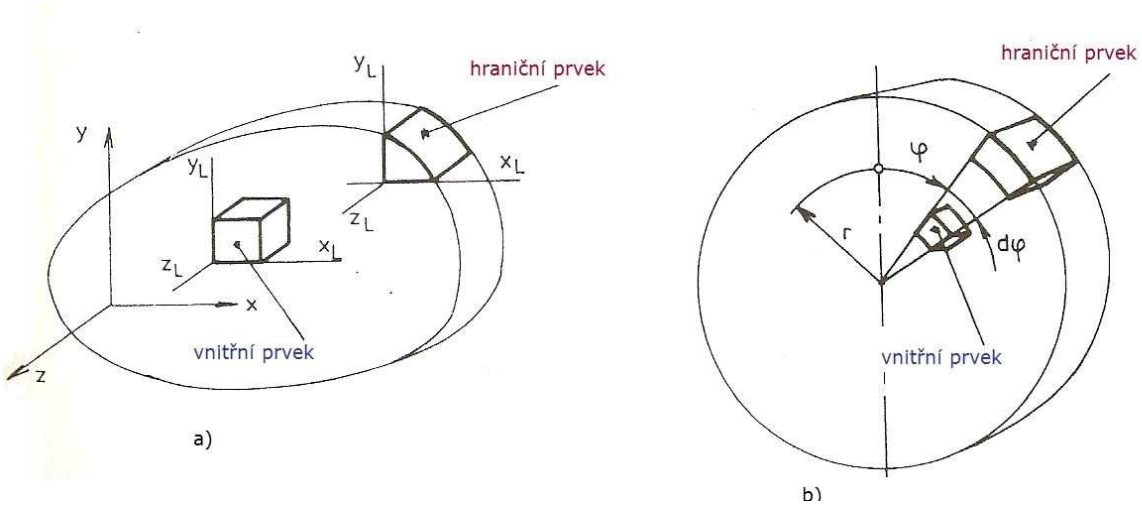
Velké plastické deformace je možno tímto mechanizmem dosáhnout pouze za podmínek, že [3]:

- mezikrystalický posuv je iniciačním předpokladem pro uskutečnění skluzu uvnitř zrn
- dochází k obnově plastických vlastností na hranicích zrn rekrystalizací při tváření za tepla a při malé deformační rychlosti

3.1.2. Plasticita z hlediska mechaniky těles

Hmotný objekt můžeme považovat za jakousi otevřenou nebo uzavřenou množinu jeho vnitřních bodů včetně hranice. Pak rozlišujeme vnitřní a hraniční prvky. Má-li těleso obecný tvar, pak mají vnitřní a hraniční prvek různý tvar. Existují však tělesa, jejichž tvar je takový, že ve vztahu k souřadnicovému systému je tvar vnitřních prvků shodný. Tento poznatek je patrný z obrázku 3.7 [7].

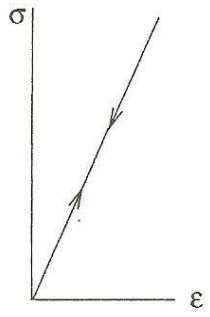
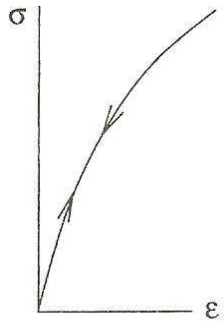
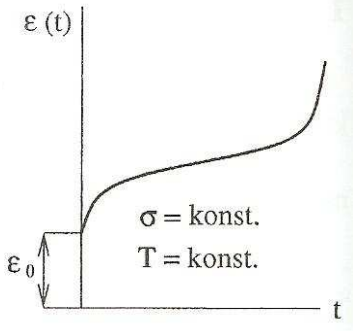
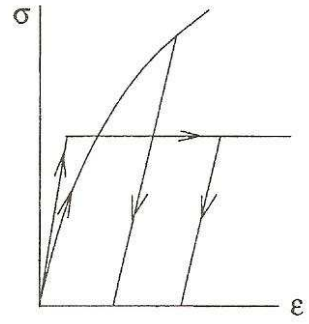
Působí-li na těleso síla, těleso se deformuje a v daných bodech vzniká napjatost. Teorie plasticity vychází z pozorování vlivů mezi deformací, vnějšími působícími vlivy a napjatostí v bodech tělesa. Aby byl předpoklad plastické deformace správný musíme vycházet z předpokladu, že těleso je homogenní – tzn. má stejné chemické složení a má stejné fyzikálně mechanické vlastnosti v celém objemu stejné [6].



Obr. 3.7 Těleso a) s neshodným vnitřním a hraničním prvkem b) se shodným hraničním a vnitřním prvkem [7]

Z mechanického hlediska lze chování těles a deformace rozdělit na pružné a plastické (tab. 3.1) [6]. Pružná přetvoření těles vznikají za normálních podmínek jen do jisté úrovně působícího napětí. Pružné přetvoření je charakterizováno vratností děje, oproti plastické deformaci, která je definována nevratností děje.

Tab. 3.1 Rozdělení elastické a plastické deformace [6]

Pružné - elastické		Trvalé – plastické	
Lineární	Nelineární	Nezávislé na čase	Závislé na čase
			

3.1.3. Rovnice teorie plasticity

Teorie plasticity se zabývá studiem přetvárných procesů, při kterých dochází ke vzniku trvalých deformací [5]. Obecně je plasticita charakterizována, jako schopnost materiálu deformovat se bez porušení. V teorii plastických deformací je předmětem zkoumání 3-D těleso matematicky zadané výchozím stavem [2].

Řešení plastické deformace tělesa vychází ze soustavy tří rovnic [6]:

1) diferenciální rovnice rovnováhy
2) rovnice přetvoření
3) fyzikální rovnice

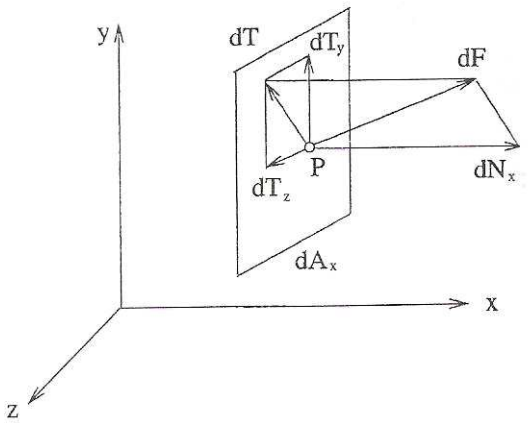
➢ **<u>Diferenciální rovnice rovnováhy</u>** = jsou spojeny s napjatostí materiálu

Napětí

Pokud na těleso v kartezské soustavě souřadnic x, y, z působí síla, pak intenzitu síly – napětí lze charakterizovat, jako element síly dF, působící na element plochy dS. Tento poznatek je patrný z rovnice (3.3)

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \qquad (3.3) \qquad\qquad \tau = \frac{dT}{dS} \qquad (3.4)$$

Je-li $\sigma > 0$ pak se jedná o tah, je-li $\sigma < 0$ pak o tlak. Bereme-li v potaz rovinu smyku, pak smykové napětí je charaktirizováno rovnicí (3.4), přičemž dT je síla působící ve smykové rovině a lze ji dále rozdělit na dvě složky, které jsou rovnoběžné s osou *y* a *z*, jak je možné vidět na obrázku 3.3. Z těchto poznatků vyplývá, že v obecném řezu tělesa působí tři složky napětí z toho jedna normálová a dvě smykové [6].



Obr. 3.3 Složky působících napětí [6]

Napjatost

Působí–li na těleso soustava osamělých sil, pak vzniká uvnitř hmotného 3-D tělesa napjatost. Rovnovážná soustava vnějších sil, vyvolává uvnitř tělesa napjatost, kterou v kartézské soustavě souřadnic x,y,z můžeme obecně popsat devíti složkami napětí: 3 normálovými σ_x, σ_y, σ_z a 6 smykovými $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}, \tau_{xz}, \tau_{zx}$. K popisu obecného stavu

napjatosti postačí tři normálové a tři sdružené smykové složky napětí. [2] Napjatost lze tedy zapsat tenzorem napětí (3.5)

$$T_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{pmatrix} \tag{3.5}$$

S ohledem na změnu objemu a změnu tvaru, lze tenzor napětí vyjádřit jako součet kulového tenzoru K_σ (je dán středním napětím rovnice (3.6) a způsobuje změnu objemu) a deviátoru napětí D_σ (je část napjatosti, která je příčinou změny tvaru), dle rovnice (3.7), (3.8) [6].

$$\sigma_s = \frac{1}{3}\left(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z\right) \tag{3.6}$$

$$T_\sigma = K_\sigma + D_\sigma \tag{3.7}$$

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_s & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_s & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_s \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_s & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma_s & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \sigma_s \end{vmatrix} \tag{3.8}$$

Grafické znázornění napjatosti

Důležitou vlastností tenzorů je možnost jejich znázornění v Mohrově rovině [7]. Diagram je charakterizován třemi kružnicemi, které udávají velikosti normálového napětí na průsečících s vodorovnou osou. Platí vztahy $\tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{xz}$ a dále je patrné z obrázku 3.5, že součet všech smykových napětí je roven 0.

- **<u>Rovnice přetvoření</u>**

Jsou spojeny s přetvořením materiálu, k němuž dochází po překročení meze kluzu. Platí zde zákon konst. objemu.

Tenzor deformace – deformace v bodě tělesa při malých přetvořeních ε je určena veličinami $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \frac{\gamma_{xy}}{2}, \frac{\gamma_{yz}}{2}, \frac{\gamma_{zx}}{2}$, přičemž γ je velikost příslušného zkosu a je definován, jako změna pravého úhlu původně vzájemně kolmých směrů [7], [10].

$$T_\varepsilon = \begin{vmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} d\varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & d\varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & d\varepsilon_3 \end{vmatrix} \tag{3.9}$$

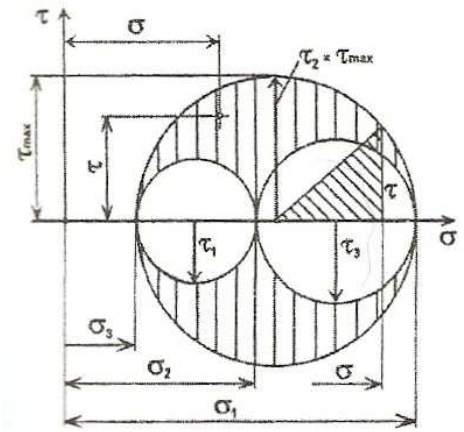
Deviátor deformace – je vyjádřen opět pomocí kulového deviátoru, ale jelikož platí zákon zachování objemu, proto deviátor deformace je roven tenzoru deformace, jak je patrné z rovnice (3.10) [2].

$$D_\varepsilon = T_\varepsilon \tag{3.10}$$

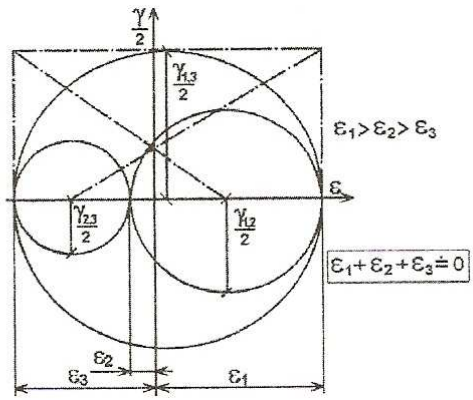
Grafické znázornění přetvoření

Velikost přetvoření lze určit graficky a to v podobě Mohrových kružnic. Jelikož u deformace platí zákon zachování konst. objemu a tenzor je roven deviátoru deformace, pak

svislá souřadná osa $\gamma/2$ vždy protíná obraz Mohrova diagramu. Poloha této souřadné osy se určí graficky, jak je patrné na obrázku 3.5 [7], [2].



Obr. 3.5 Mohrovy kružnice napětí [2]



Obr. 3.6 Mohrovy kružnice deformace [2]

- **Fyzikální rovnice**

Vyjadřují souvislost mezi napětím a deformací a rychlostí deformace. V oblasti pružných deformací platí Hookův zákon. V oblasti plastické deformace není obecná teorie plasticity definována. Jsou stanoveny pouze teorie plasticity, které se liší ve vyjádření modulu plasticity [2],[3]:

- teorie malých pružně plastických deformací
- Saint Venant – Levy –Misesova teorie plastického tečení bez zpevnění
- Prandtl- Reusova teorie
- Pragerova teorie

3.1.4 Experimentální metody řešení deformace

K řešení deformace je možné využít hned několika metod při řešení přetvárných procesů a obecně deformace materiálu, v mé práci se omezím pouze na jednu metodu, jelikož by mohla posloužit i k řešení problematiky v experimentální části.

Metoda zjišťování tvrdostí [2]

Podle Smirnova – Aljajeva je jednoznačná závislost mezi tvrdostí deformovaného kovu a efektivním napětím, které není závislé na schématu napjatosti. Zjistíme-li rozložení tvrdosti například v osovém řezu deformovaného tělesa, můžeme z toho určit rozložení deformací, a tím i efektivního napětí. Proto se metoda zjišťování tvrdosti stala efektivní metodou analýzy technologií tváření za studena [2].

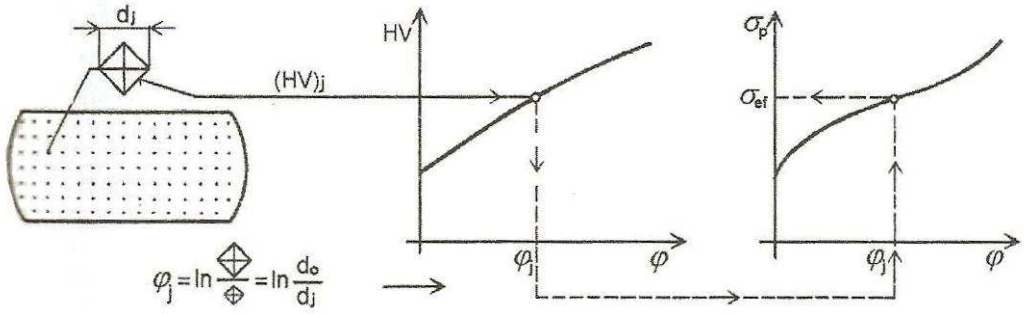
Tvrdost zpravidla podle Vickerse HV se měří na metalografickém výbrusu osového průřezu tělesa po deformaci. Dostatečným opakováním na více vzorcích a statickým zpracováním lze vyloučit velké chyby. Výchozí tvrdost před deformací lze měřit na vzorcích bez primárního porušení. V jednotlivých bodech zvolené sítě viz. obrázek 3.6, na metalografickém vzorku se měří tvrdost a velikost vtisku. Při přetvoření tělesa se současně měří závislost tvářecí síly na dráze a vyhodnocuje se křivka přirozeného přetvárného odporu [2].

Podmínky plasticity při jednoosém stavu napjatosti platí 3.11 a 3.12, a proto je z 3.6 zřejmé i stanovení hodnoty efektivního napětí.

$$\sigma_{ef} = \sigma_1 = \sigma_p \tag{3.11}$$

Experimentálně získané závislosti: $\sigma_p = \sigma_{ef} = \sigma(\varphi, T = konst.; \dot{\varphi} = konst.)$ (3.12)

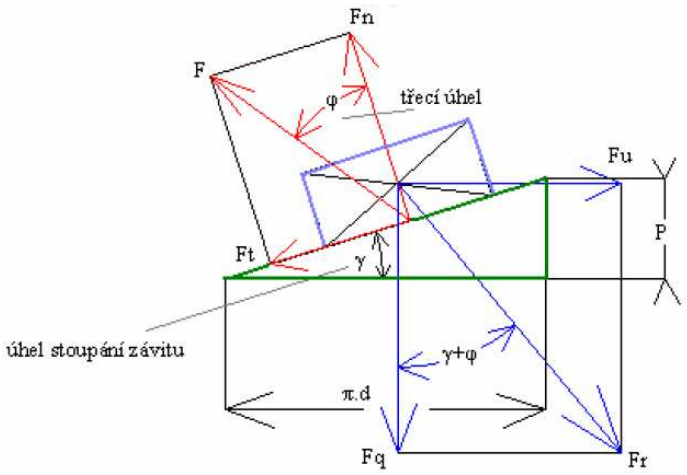
a $HV = f(\varphi)$ pro jednoosé stavy napjatosti jsou dostatečné pro stanovení hledané závislosti [2].



Obr. 3.6 vyhodnocení efektivního napětí [2]

3.2. Šroubové spojení

Šroub je nejběžnější používaný prvek rozebíratelného spojení. Je to závitový spojovací, nebo upevňovací prvek, složený z válcového nebo kónického dříku a hlavy šroubu. Na dříku je obvykle šroubově navinutý závit. Závit se lícuje s komplementární šroubovicí v materiálu, do kterého se šroub zašroubovává. Závit může být v předvrtané díře již vyroben a nebo se šroub přímo v díře závit vyřezává při šroubování. Hlava je speciálně tvarovaná, tak aby bylo možné použít šroubováku, nebo klíče, k utahování, nebo uvolnění šroubu. Hlava zastavuje šroub po jeho úplném zašroubování do materiálu, opírá se o materiál protikusu a vyvíjí permanentní tlak na spojení nebo upevnění. Přítlak hlavy na opěrné ploše hlavy šroubu odpovídá utahovacímu momentu, který je nutné použít pro zašroubování [11].



Obr. 3.8 Rozložení sil ve šroubovém spoji [12]

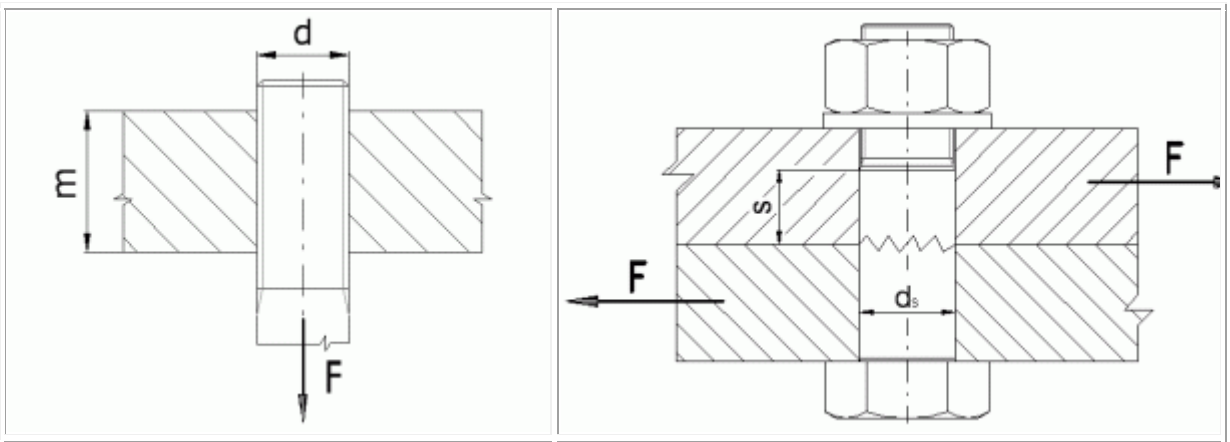
Ke kontrolování šroubů může být využito namáhání tahem, krutem, opotřebení pod hlavou šroubu, nebo se kontroluje otlačení mezi šroubem a maticí. K porušení tzv. střihu může dojít i v kontaktu závitů. Pokud je šroub zakalen a matice nikoliv potom ji takový šroub při zvýšeném namáhání ustřihne [12]. Dále může nastat případ, kdy dosedací plocha šroubu má menší tvrdost, než plocha do které je šroub zašroubován, dochází k plastické deformaci na šroubu. V době utahování se k prostému kolmému namáhání přidružuje i namáhání smykem.

3.2.1 Výpočet zatížení šroubových spojů

Pro výpočet je nutné určit způsob zatížení šroubového spoje. Jsou dva základní typy namáhání [13]:

- šroubové spoje zatížené silou v ose šroubu
- zatížené silou kolmou k ose šroubu.

Dále se přihlíží k přídavným zatížením u šroubů utahovaných v zatíženém stavu nebo u spojů s předpětím. Při zatížení v ose šroubu (obr. 3.9) se počítá se zatížením na tah a na otlačení v závitech matice. Naopak u šroubů zatížených kolmo k ose (obr. 3.9) se počítá na střih a na otlačení dříku [13].



Spoj zatížený v ose šroubu	Spoj zatížený kolmo k ose šroubu

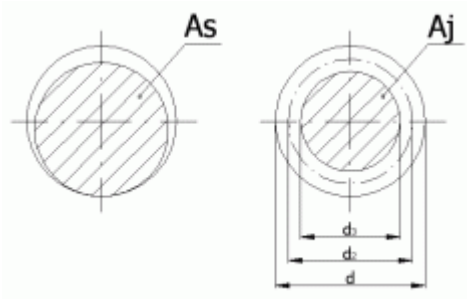
Obr. 3.9 Namáhání šroubového spoje [13]

Šroub zatížený osovou silou [13]:

Pro výpočet zatížení je nutné zvolit materiál šroubu i matice a zjištění jeho Re z tabulky mechanických vlastností. Je nutné znát dovolená napětí podle typu namáhání z příslušných tabulek. Vypočet jmenovitého výpočtového průřezu se provede výpočet As [cm^2] a Aj [cm^2] podle rovnice (3.13), (3.14) [13]:

$$A_s = \frac{F}{\sigma_D} = \frac{\pi}{4}.\left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2 \qquad (3.13)$$

$$Aj = \frac{\pi.d_3^{\,2}}{4}. \qquad (3.14)$$



Obr. 3.10 – průřezy šroubů [13]

Z tabulek se určí nejbližší vyšší normalizovaný průřez šroubu a přiřadíme ke šroubu matici. Pokud je normalizovaná, přiřadíme ji podle norem (např. ISO 4032). Pokud je nenormalizovaná, musí se zvolit dovolený tlak v závitech podle příslušné tabulky a vypočítáme počet závitů *z* a výšku matice, kde P je stoupání závitu [13] :

$$z = \frac{F}{\pi.d_2.H_1.p_D} \qquad (3.15)$$

$$m = z..P \qquad (3.16)$$

$$\mathrm{H}_1 = (d - d_3)/2 \qquad (3.17)$$

Šroub zatížený silou kolmou k ose šroubu:

Opět si nejdříve zvolíme materiál šroubu a dovolené napětí ve střihu z příslušných tabulek Dovolené smykové napětí pro litinu je předepsáno $\tau_D \approx 0{,}6$ Rm a 0,8 ÷ 1 Re pro ocel. Spočítá se průměr dříku šroubu podle následujících pevnostních rovnic (3.18) (3.19) [13]:

$$\tau_s = \frac{F}{\frac{\pi . d_s^{\,2}}{4}} \leq \tau_D \qquad (3.18)$$

$$p = \frac{F}{s_{\min} . d_s} \leq p_D \qquad (3.19)$$

3.2.2 Výpočtový model vzniklého napětí při šroubování

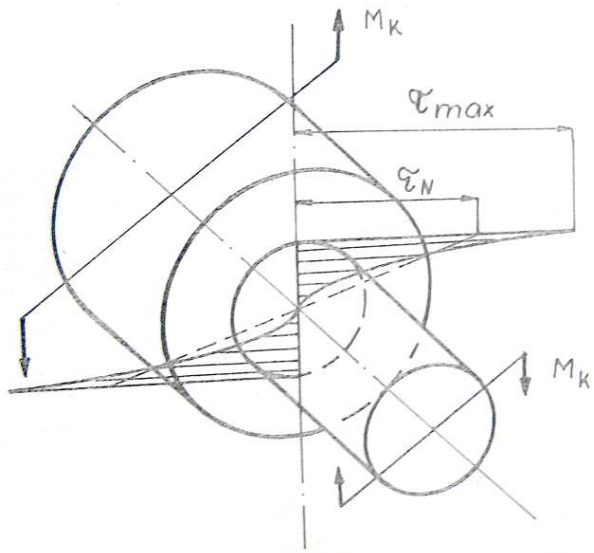
Součástka je namáhána na prostý krut, pokud součástku nahradíme modelem prutu kruhového průřezu, pak příčný průřez přímého kruhového prutu je namáhán prostým krutem, jestli výsledným vnitřním účinkem působícím v průřezu je silová dvojice, která leží v rovině příčného průřezu a platí pracovní hypotéza pro stanovení napjatosti, která vychází z experimentálně ověřených poznatků [14]:

- rovinné řezy kolmě na osu prutu, zůstávají rovinnými a kolmými i po deformaci a jejich původní vzájemná vzdálenost se nemění
- příčné průřezy se vůči sobě pouze natáčí kolem osy přímého řezu
- radiální paprsky příčného průřezu zůstávají přímými i po deformaci

Uvažujeme prut v globálním soustředném systému o (x, y, z): Osa x prochází těžištěm průřezu. Poloměr prutu je r, na koncích je zatížený silovými dvojicemi M_K ležícími v rovinách kolmých na osu prutu. Polární moment setrvačnosti je rozdíl polárních momentů setrvačnosti průřezu D a d. Jelikož polární moment setrvačnosti celku je dán integrálem, tedy polární moment setrvačnosti celku je dán součtem polárních momentů setrvačnosti jeho částí [14].

3.2.3 Pruty s náhlou změnou průřezu

Tyto pruty (obr.3.11) vykazují v místě těchto změn značné odchylky, od pracovní hypotézy prostého krutu a to zejména v předpokladech o přímosti radiálních paprsků a rovinnosti přímých řezů. Na napjatost jíž lze považovat za lokání veličinu, mají náhlé (lokální) změny průřezu značný vliv. V blízkém okolí vrubu vzniká složitý stav napjatosti. V technické praxi pracujeme s náhradním předpokladem, že v místě přechodu, tj. vrubu vzniká pouze lokální zvýšení napětí : $\tau_{\max} = \alpha . \tau_{nom}$ (3.20), které určujeme jako α násobek nominálního napětí τ_{nom}, vypočítáme běžným způsobem. Součinitele tvaru α se urči z tabulek, publikovaných v odborné literatuře [14].



Obr. 3.11 Prut se změnou průřezu [14]

Na přetvoření prutů mají celkem významný vliv místní, náhlé změny průřezu. To znamená, že pro výpočet úhlu natočení můžeme užít vztah dle rovnice (3.21) [14].

$$\varphi = \int_0^l \frac{M_K}{G.J_P} dx \tag{3.21}$$

3.2.4 Měrné tlaky v dosedací ploše šroubu

Z provozních zkušeností je zřejmé, že k uvolnění šroubového spoje nedochází povolením šroubu, matice, nebo deformacemi na závitu, ale poklesem předpětí v dosedacích plochách. Tento pokles je způsoben plastickou deformací povrchových vrstev. Při procesu utahování vzniká v dosedacích plochách vysoký měrný tlak, který může v poslední fázi, způsobit zadření. Zadření by mohlo být způsobeno nevhodnou volbou materiálu (šroubu, nebo matice) a nebo nevhodným mazáním spoje. To může vést k navýšení velikosti utahovacího momentu a možnosti vzniku přídavného ohybového momentu způsobený poškozením v dosedacích plochách. [22].

Po dokončení utahovacího procesu dochází v dosedací ploše šroubu k plastické deformaci, jak již bylo zmíněno. Během pracovní doby, kdy je šroub utažen, bude deformace pokračovat, tím může dojít k tzv. tečení materiálu za studena, s tímto jevem je spojen pokles předpětí a nárůst deformace. Proto je vhodné volit určitou přípustnou hodnotu měrného tlaku. Měrný tlak je závislý ještě na jakosti a drsnosti svíraných ploch [22].

Pod hlavou šroubu dochází ke zpevnění dosedacích ploch. Plastickým přetvořením stykové plochy vznikne v sevřených částech zpevnění za studena, které dovolí vyšší měrný tlak, než je původní mez kluzu materiálu svíraných částí, aniž by došlo k neúměrně velkému tečení materiálu. Junker aplikoval tyto poznatky a na základě svých laboratorních zkoušek prokázal nerovnoměrnost zpevnění, v oblasti dosedací plochy [22].

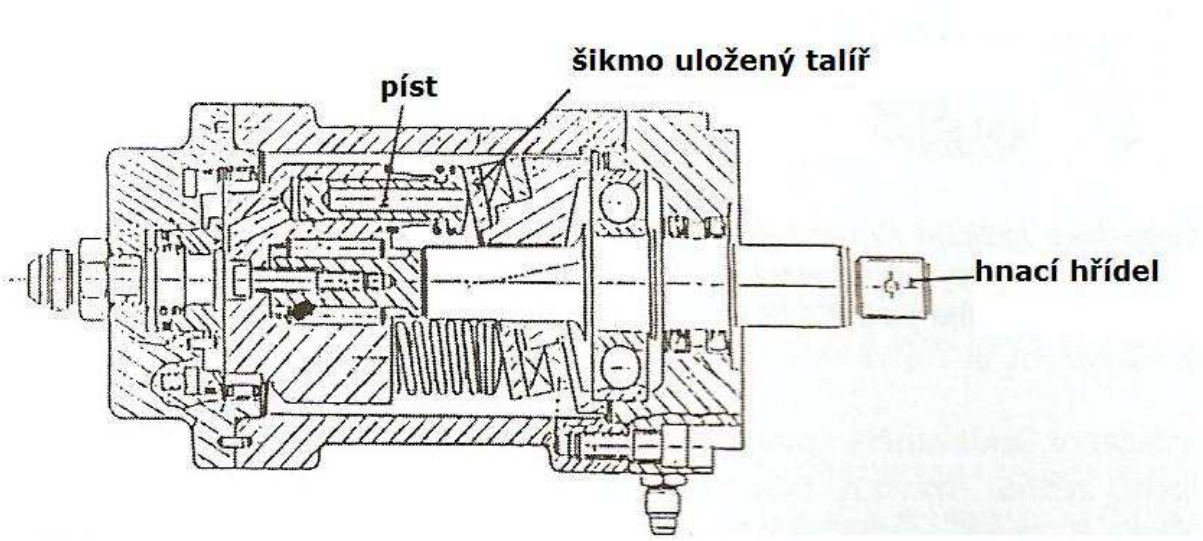
3.3 Funkce čerpadla a jeho součásti [16]

U soustav vysokotlakého přímého vstřikování nafty do spalovacího prostoru je používáno čerpadel poháněných od klikové nebo vačkové hřídele motoru. Tato čerpadla mají dodávat palivu tlak až 1800bar, který je potřebný pro vstřikování paliva. Čerpadla vytvářejí vysoký tlak posouváním pístu ve válcích čerpadla. Posuv pístu vzhledem k ose čerpadla je buď axiální nebo radiální.

3.3.1 Mechanické čerpadlo s axiálními písty

U axiálního čerpadla se písty ve válci přesouvají při otáčení hřídele čerpadla šikmo uloženým talířem. Talíř tlačí na píst proti své síle vratné pružiny. Během otáčky hřídele proběhne jak nasátí paliva do válce, tak jeho stlačení a přenos k regulátoru tlaku. Řez axiálním čerpadlem se třemi písty je na obrázku 3.12 [16].

V čerpadle je použito více článku pístu – válec, aby se tlak dodávaného paliva při posouvání pístu příliš neměnil. Palivo pro čerpadlo je z palivové nádrže čerpáno dvoustupňovým, elektromotorem poháněným, čerpadlem. Elektrické čerpadlo dodává palivu tlak, který je udržován na stálé hodnotě mechanickým regulátorem tlaku, který je připojen v nádrži paralelně k čerpadlu. Mezi nízkotlakým a vysokotlakým čerpadlem bývá zařazen palivový filtr, který odstraňuje nečistoty zbylé v palivu za nízkotlakým čerpadlem [16].



Obr. 3.12 Vysokotlaké axiální vícepístové čerpadlo s mechanickým pohonem [16]

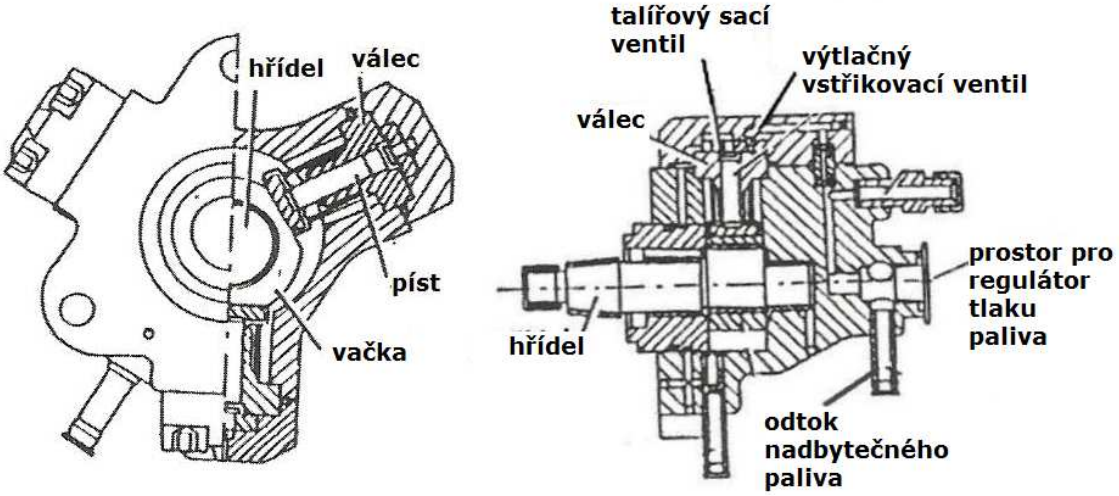
3.3.2 Mechanické čerpadlo s radiálními písty

U radiálního čerpadla jsou písty ovládány vačkami. Při otáčení hřídele čerpadla se posouvají a mění objem svého válce. Při zvětšování objemu se palivo do válce nasává, při zmenšování objemu je z válce vytlačováno k regulátoru tlaku. Rovněž u těchto čerpadel se musí potlačit kolísání výstupního tlak [16].

Udržení změn výstupního tlaku čerpadla v přijatelném rozmezí se buď dosahuje použitím více článků píst – válec, nebo použitím profilu výstředníku, kterým se provede více zdvihů jednoho pístu během otáčky hřídele čerpadla. Optimální počet pístů z hlediska rozměru čerpadla a průběhu výstupního tlaku je roven třem [16].

Radiální čerpadlo s jedním článkem píst – válec je obvykle spojeno s řídícím ventilem pro regulaci množství dodávaného paliva (obr. 3.13). Jestliže se ventil regulace množství otevře před dokončením zdvihu pístu čerpadla k horní úvrati, klesne tlak v prostoru válce a palivo odtéká zpět do přítoku [16].

K nastavení dodávaného množství je ventil regulace od dolní úvrati pístu čerpadla až do určitého zdvihu uzavřen. Dosáhne – li se určitého tlaku v tlakovém zásobníku, ventil regulace se otevře a tlak se přestane zvyšovat. Maximální dodávané množství je závislé na otáčkách hřídele čerpadla, počtu vaček výstředníku a zdvihu pístu. Zpětný ventil mezi vysokotlakým prostorem čerpadla a tlakovým zásobníkem zabraňuje, aby při otevření ventilu došlo k poklesu tlaku [16].



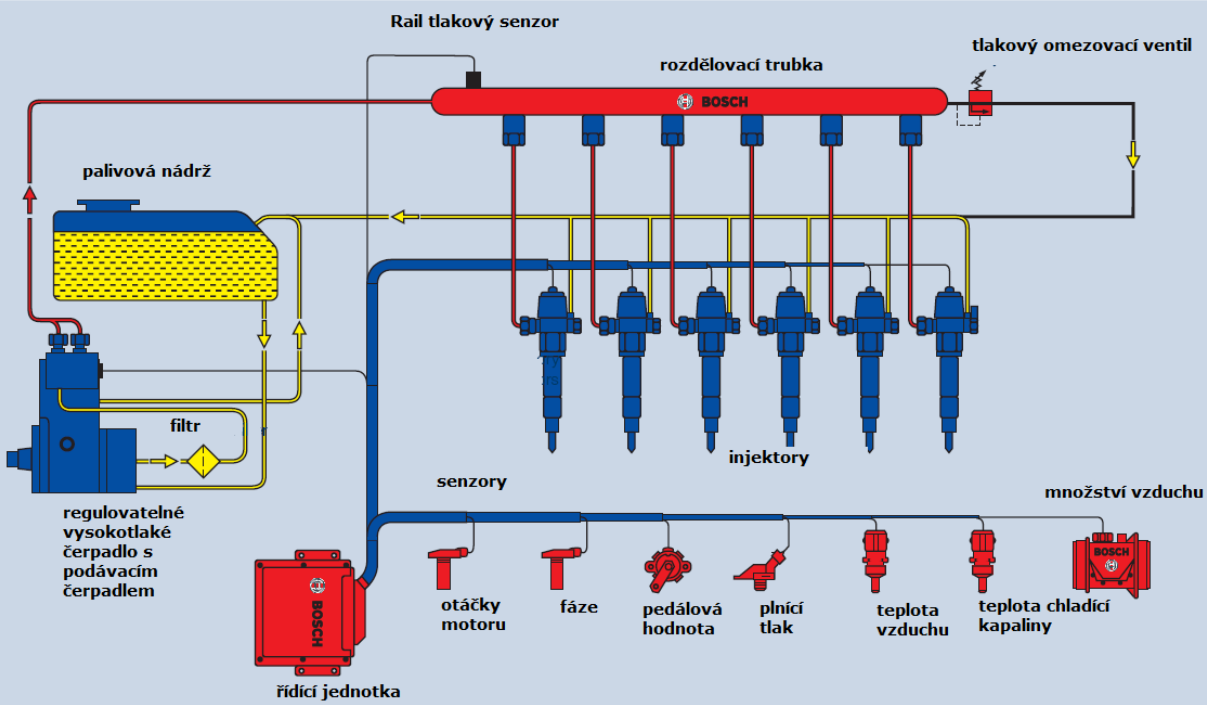
Obr. 3.13 Vysokotlaké radiální třípístové čerpadlo [16]

3.3.3 Vstřikovací systémy dodávané firmou Bosch

Výroba je zaměřena na komponenty palivového vstřikovacího systému Common Rail na obr. 3.14, které se používají při výrobě osobních a nákladních vozů. Hlavní komponenty systému Common Rail jsou patrné z obrázku 3.14 [17].

Výhody systému Common Rail oproti konvenčním systémům

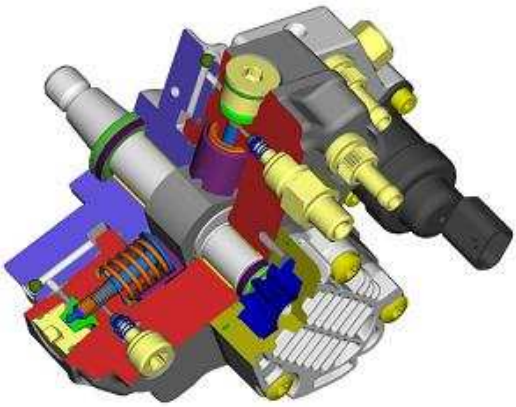
- Nízká spotřeba paliva
- Vyšší účinnost pracovního cyklu motoru
- Přesné vstřikování řízené pomocí elektromagnetických ventilů
- Optimalizace průběhu točivého momentu - zvýšení točivého momentu
- Korekce dávky paliva podle zatížení motoru
- Stálý vysoký tlak je příčinou lepšího rozptýlení směsi a tím lepšího hoření
- Tišší chod motoru
- Nižší emise
- Širší spektrum užití jak u osobních, tak nákladních vozů



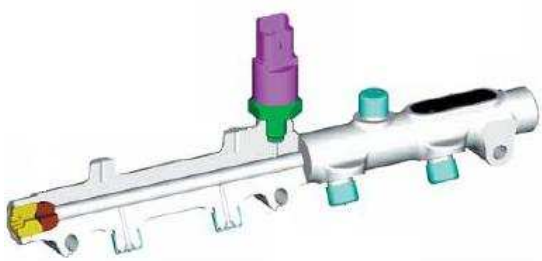
Obr. 3.16 Schéma vstřikovacího systému Common Rail [17]

Vysokotlaké čerpadlo (obr. 3.15) zajišťuje plnění railu dostatečným množstvím paliva při požadovaném tlaku v rozmezí na 1350 až 1800 bar. U první řady vysokotlaké čerpadlo CP1H pro Common Rail systémy je schopno vytvářet vstřikovací tlak až 1600bar, v poslední verzi Common Railu je to již tlak 2000bar. Tento vysoký tlak je potřebný pro vysoký výkon motorů při minimální spotřebě a minimálním množství výfukových plynů, čímž se šetří životní prostředí.

Rail (tlakový zásobník) na obázku 3.16, je spojovacím článkem mezi CR-čerpadlem a injektory. Rail je neustále natlakováný a slouží k zásobování vstřikovací jednotky a rozdělování paliva.



Obr. 3.15 Vysokotlaké čerpadlo CP3 [17]



Obr. 3.16 Tlakový zásobník - Rail[17]

Elektronicky řízené vstřikovače dodávají palivo do spalovacího prostoru motoru. Vstřikovací systémy BOSCH lze rozdělit na dvě skupiny. Jetronic a Motronic. Jetronic pouze řídí pouze vstřikování, Motronic řídí zapalování i vstřikování

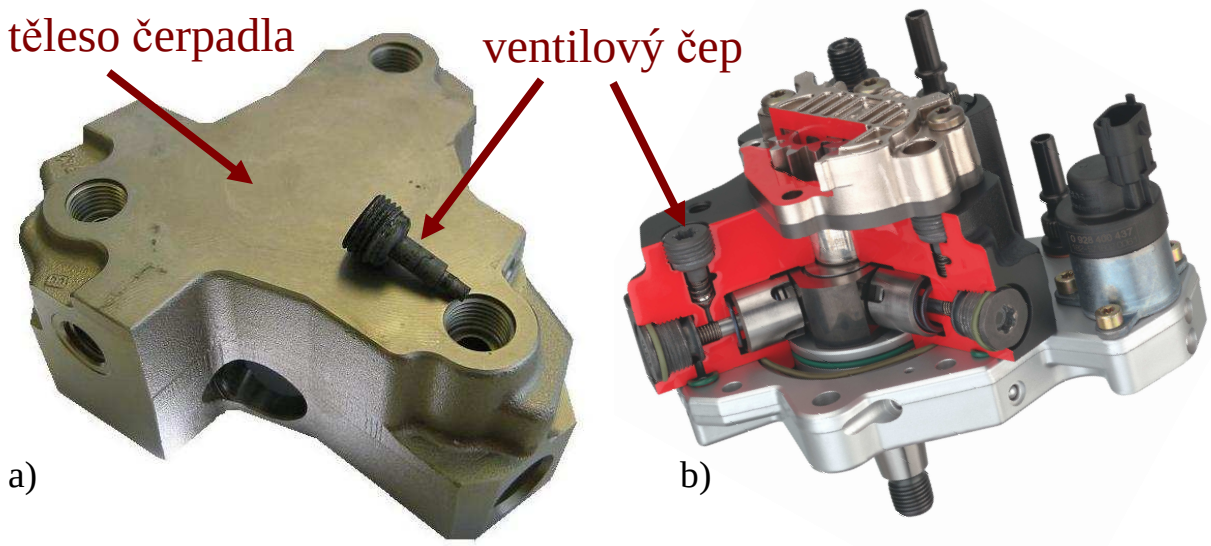
Řídící jednotka systému pracuje s informacemi o autě, palivu i řidiči. Řídí proces vstřikování a předepisuje počtem impulsních dávek magnetickému ventilu v injektoru počátek a konec vstřikovacího procesu. Řídící jednotka určuje množství vstřikovaného paliva [17].

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

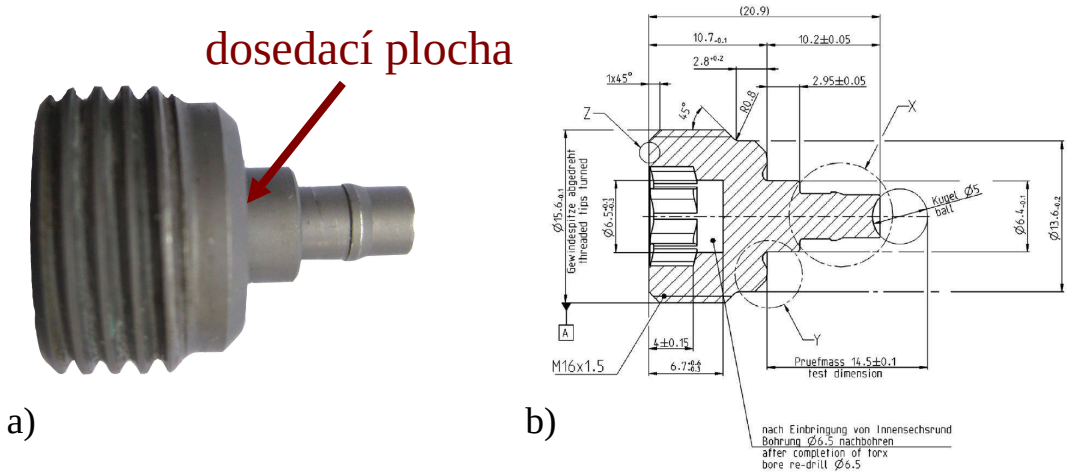
4.1 Charakteristika řešeného problému

4.1.1 Podstata problematiky

Experimentální část se zabývá bližším studiem součástky ventilového šroubu (výrobní označení „Ventilbolzen M16x1,5“), která je zašroubovávána do dílce čerpadla (viz obr. 4.1). Součástka ventilového šroubu slouží jako opěrná plocha pro kuličku ve vstřikovacím prostoru čerpadla CP3, proto je nutné zajistit dobrou těsnost dosedací plochy komponenty ventilového čepu (obr. 4.2) již při šroubovacím procesu. Šroubování je prováděno ve třech fázích. V první fázi dochází k utažení utahovacím momentem 54Nm nebo úhlem 12°, následuje povolení a ve třetí fázi je šroub utažen na hodnotu 17°. Šroubovacímu procesu předchází povrchová úprava za účelem snížení koeficientu tření v závitech. Tato součástka je vyrobena z materiálu jakosti 12 050 a dodávána firmou Messa, nebo Global již ve stavu po tepelném zpracování.



Obr. 4.1 Ventilový čep: a) před zašroubováním, b) po zašroubování v tělese čerpadla [17]

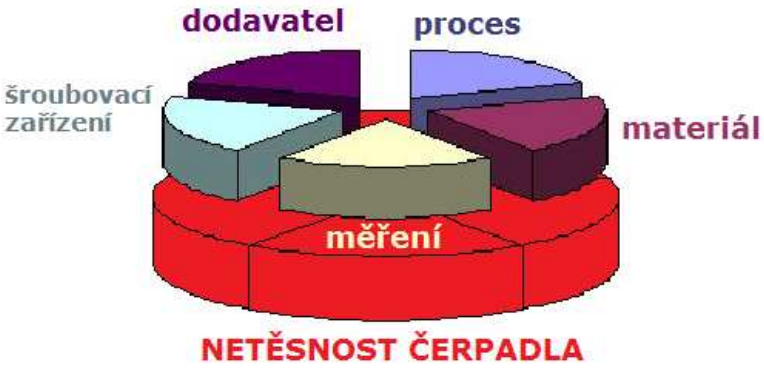


Obr. 4.2 Ventilový čep: a) dokumentace skutečného tvaru, b) výkresová dokumentace [21]

Ve firmě Bosch byl řešen problém netěsnosti čerpadla, který nastal u dvou odběratelů, automobilek Honda a Daimler. Problematika netěsnosti čerpadla byla řešena z pohledu pěti hledisek, jak je patrné na obrázku 4.3 a tabulky 4.1.

Výroba složitých dílců je spojena s několika kroky ve výrobě, a proto musí být bráno na zřetel hned několik aspektů, které by mohli být příčinou netěsnosti čerpadla CP3 (tab. 4.1). Přímo u této součástky je nutné se zaměřit jak na materiál šroubu, tak na materiál čerpadla, ale také např. na výrobní proces šroubování z hlediska přístroje i postupu a v neposlední řadě např. na způsob měření montovacích momentů a úhlu, nebo geometrii součásti.

Z materiálového hlediska bude tato práce zaměřena na analýzu tvrdosti součástky ventilového šroubu M16x1,5 a její vliv na velikost plastické deformace dosažené při šroubovém procesu. Dále posouzení přetvořených ploch a provedené povrchové úpravy na vzorcích dodaných firmou Messa a tepelně zpracovaných ve firmě Bosch.



Obr. 4.3 Možná hlediska netěsnosti čerpadla

Tab. 4.1 Podrobnější rozpis možných příčin netěsnosti čerpadla

Příčina netěsnosti čerpadla CP3	**Materiál**	Šrouby	Drsnost povrchu
			Parametry závitu
			Praní šroubu
			Plastická deformace
			Tvrdost
		Těleso	Praní tělesa
			Parametry závitu
			Dosedací plocha
			Nečistoty
	Měření	šroubovací hlavice	Měření momentu
			Měření úhlu
		měření netěsnosti	
	Stroj	seřízení šroubováků	Opotřebení nástroje
		měřící systémy na stroji	Výpadky stanice
			Přenos dat
	Proces	WAM x MAM	Tolerance úhlu a momentu
		Relaxace	
	Dodavatel	Dodávka	Provedení „Gleitma“
		dodavatelé Global a Messa	
		převoz šroubu	

4.1.2 Analýza vadných součásti

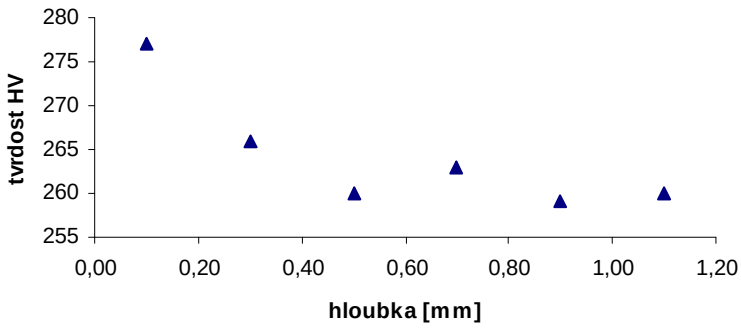
K měření byly využity součásti ventilového šroubu s výrobním označením „Ventilbolzen M16x1,5“, které byly příčinou netěsnosti vysokotlakého čerpadla u odběratele Honda a Daimler. Bylo provedeno měření tvrdosti na přístroji Wolpert Diatestor. Tvrdost je předepsána v interních předpisech v rozmezí 230 – 280HV. Další analýza vadných součástí se opírala o posouzení kvality povrchu součástky z hlediska drsnosti, která by měla dosahovat maximální hodnoty Rz = 2,5 [µm]. U obou vzorků byla dokumentována plastická deformace na dosedací ploše ventilového čepu.

Výsledky z měření tvrdosti

Tvrdost byla analyzována pouze na dvou vzorcích od odběratelů Honda a Daimler. Hodnota tvrdosti byla naměřena 6x na straně protilehlé od dosedací plochy vzorku. Z tabulky 4.2 je patrné, že oba vzorky překročily ve dvou případech předepsané rozmezí 230 - 280HV. Měření tvrdosti bylo doplněno o měření průběhu tvrdosti na podélném řezu jedné z pozorovaných komponent. Z měření vyplynulo, že tvrdost klesá od povrchu materiálu do jádra (obr. 4.4).

Tab. 4.2 Naměřené tvrdosti na povrchu vadných dílců

Odběratelé	Naměřená tvrdost HV30						Průměr
Honda 141	272	269	288	293	270	274	**277,7**
Dailmer 135	273	269	281	295	277	272	**277,8**



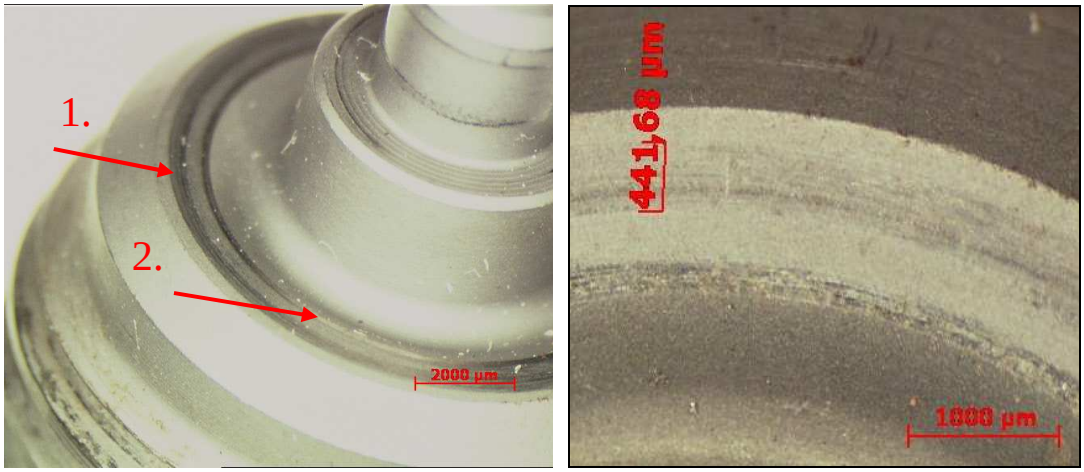
Obr. 4.4 Průběh tvrdosti od čela do jádra součásti

Výsledky analýza kvality povrchu

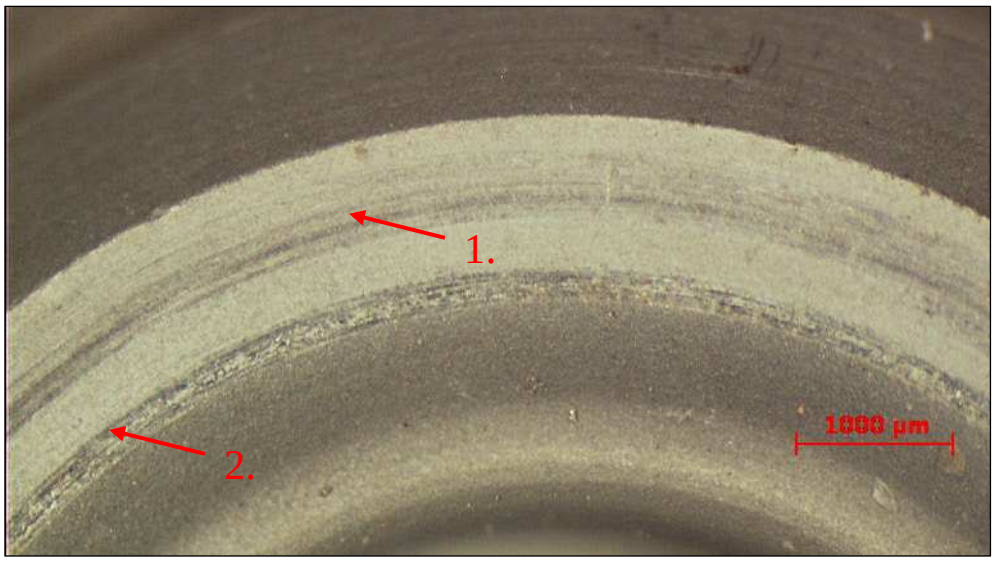
Pro posouzení jakosti povrchu komponent byla na vzorcích měřena drsnost povrchu. U jedné ze součástek ventilového čepu byla drsnost naměřena 1,6µm, u druhé součástky 1,8µm. Obě tyto hodnoty spadají do tolerovaného rozmezí drsností materiálu, tedy jakost povrchu ventilového čepu dosahovala požadované kvality.

Analýza dosedacích ploch po zašroubování

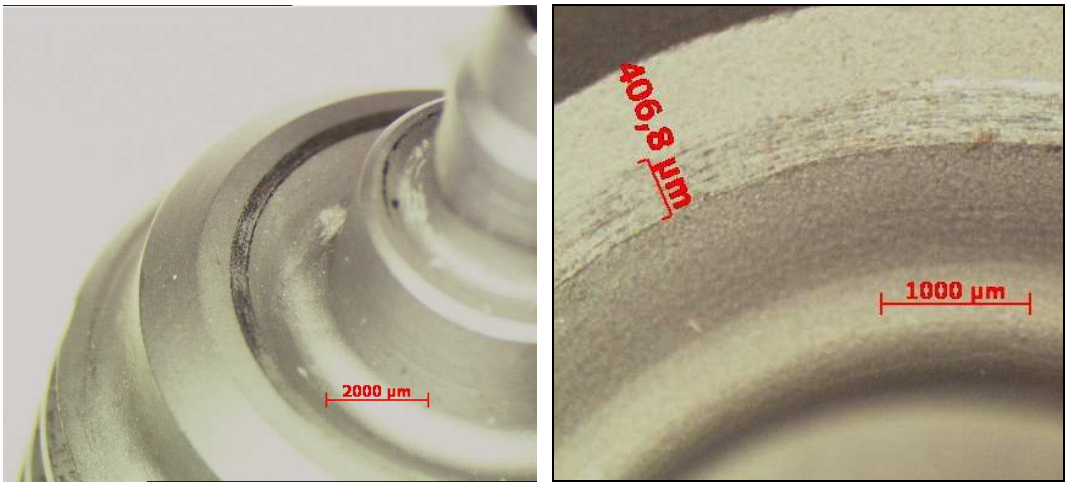
Jak je patrné na obrázcích 4.5 – 4.6 od odběratele Daimler byl vzorek přetvořen na dvou plochách první o velikosti 441µm oblast 1 obr. 4.6, oblast 2 o velikosti 232µm. U odběratele Honda se vyskytovala pouze jedna oblast trvalého přetvoření o velikosti 406,8 µm (obr. 4.7).



Obr. 4.5 Dosedací plocha ventilového šroubu, velikost přetvořené plochy – odběratel Daimler



Obr. 4.6 Dosedací plocha ventilového šroubu, detail přetvořené plochy – odběratel Daimler



Obr. 4.7 Dosedací plocha ventilového šroubu, velikost přetvoření – odběratel Honda

4.2 Analýza problematiky a její řešení

4.2.1 Experimentální materiál

Materiál součástky

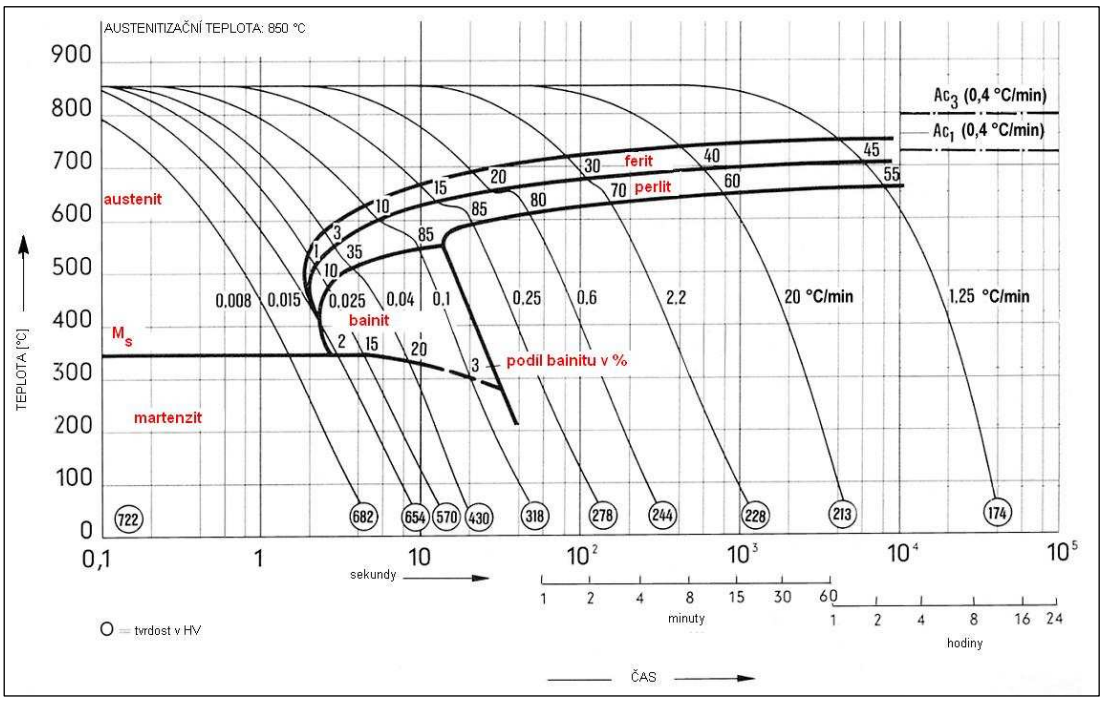
Ventilový šroub je vyroben z uhlíkové oceli jakosti 12 050 určené k zušlechťování a povrchovému kalení, dle normy ČSN 41 2050 [20]. Předepsané chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 12 050 jsou uvedeny v tabulkách 4.3 a 4.4. Pro pozorování struktury a určení mechanických vlastností byly použity vzorky od dodavatele Messa a tepelně zpracovány ve firmě Bosch. Vliv rychlosti ochlazování a koncentrace daných fází na tvrdost, při tepelném zpracování daného materiálu je patrný z obrázku 4.8.

Tab. 4.3 Předepsané chemické složení ložiskové oceli 12 050 [18]

Prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
Hmot. %	0,42 - 0,5	0,5 – 0,8	0,17-0,37	max 0, 25	max 0,3	max 0,3	max 0,04	max 0,04

Tab. 4.4 Předepsané mechanické vlastnosti oceli 12 050.6 [19]

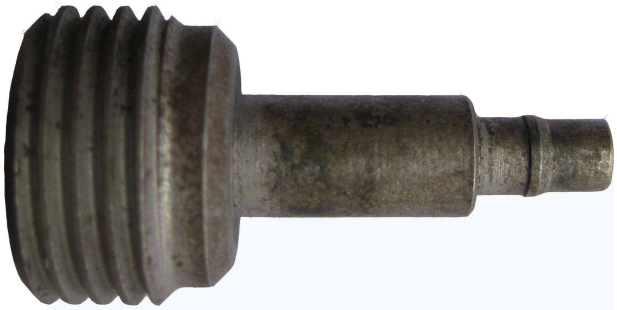
Mez kluzu	R_p 0,2	[MPa]	min. 390
Mez pevnosti	Rm	[Mpa]	640 - 780
Tažnost	A_5	[%]	min. 20
Tvrdost	HB	[-]	max. 253
Modul pružnosti v tahu	E	[GPa]	221
Modul pružnosti ve smyku	G	[GPa]	79



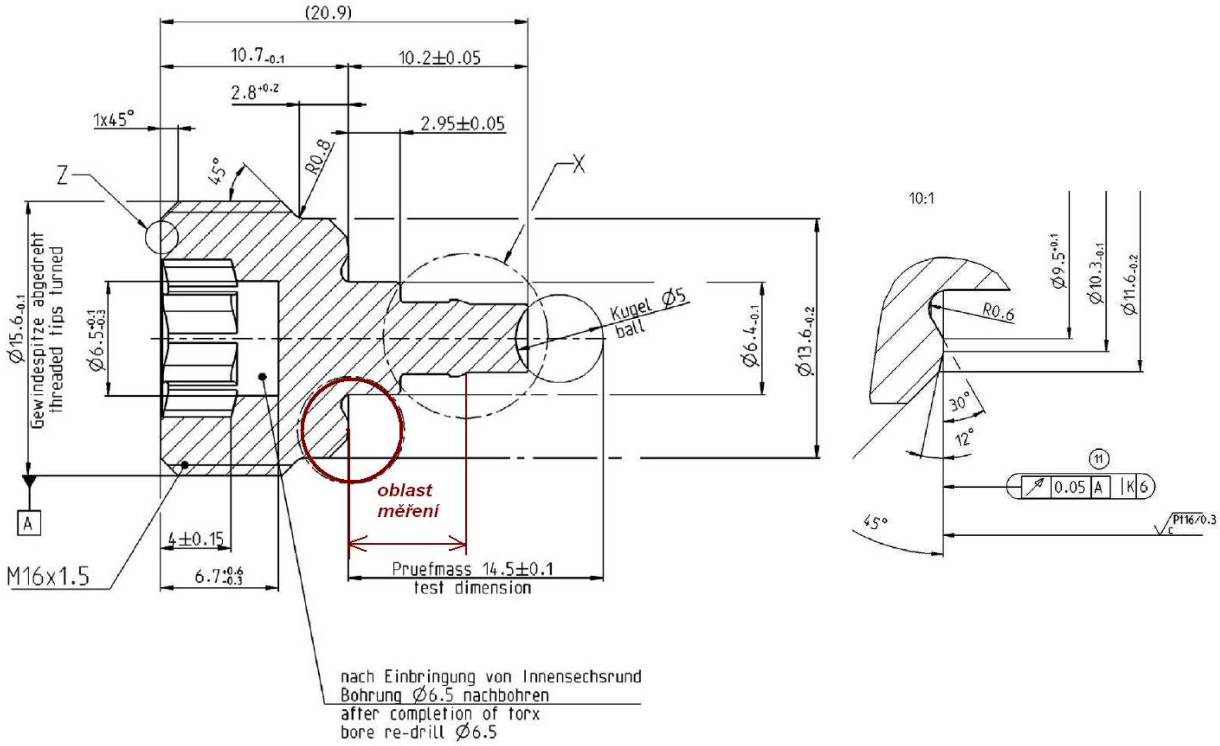
Obr. 4.8 ARA diagram materiálu 12 050 [18]

Výrobní parametry součástky ventilového šroubu

Skutečný tvar součásti ventilového šroubu je dokumentován na obrázku 4.9. Z výrobního výkresu (obr. 4.10 a, b) jsou patrné velmi malé tolerance 0,05mm velikosti u dosedací plochy součásti.



Obr. 4.9 Dokumentace skutečného tvaru ventilového šroubu – M16x1,5



a) b)

Obr. 4.10 Výkresová dokumentace M16x1,5 a) řez součásti, b) detail dosedací plochy [21]

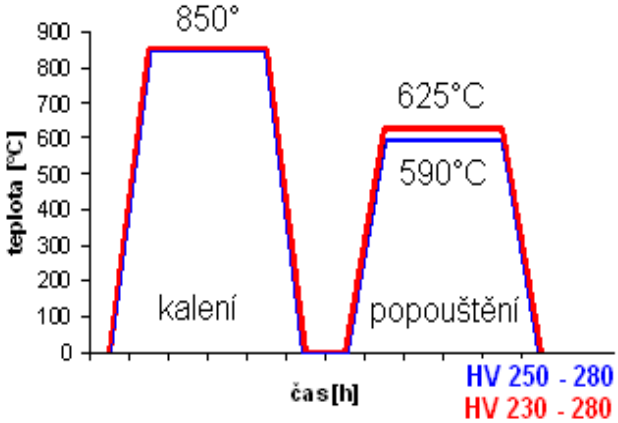
4.2.2 Metodická část práce

Tepelné zpracování ventilového šroubu

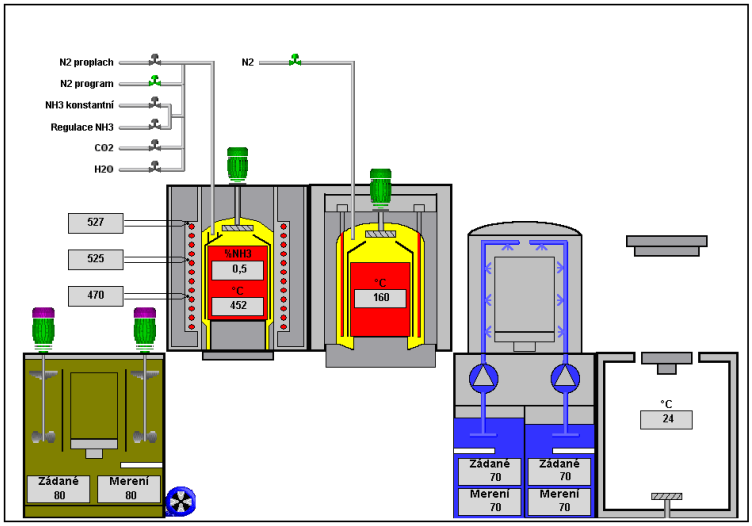
Vzorky ventilových šroubů byly tepelně zpracovány (TZ) zušlechtěním, tj. kalením a vysokoteplotním popouštěním ve víceúčelové peci. Schéma zařízení, ve kterém probíhalo tepelné zpracování je na obrázku 4.12. Vzorky byly rozděleny na dvě skupiny A, B a tepelně zpracovány tak, aby bylo dosaženo dvou rozmezí tvrdostí. V první skupině (skupina A) se mělo dosáhnout rozmezí tvrdosti dle Vickerse 230 – 250 HV30 a ve druhé skupině (skupina B) rozmezí tvrdosti 250 – 280 HV30. Kalení probíhalo u obou skupin ze stejné teploty 850°C do oleje. Popouštění probíhalo z teploty 625°C (skupina A) a z teploty 590°C (skupina B) na teplotu 450°C. Parametry tepelného zpracování jsou uvedeny v tabulce 4.5 a vliv TZ na tvrdost je patrný z obrázku 4.11.

Tab. 4.5 Způsob tepelného zpracování

	Kalení Teplota/doba výdrže [°C/h]	Tvrdost HV10 po kalení	Ochlazovací prostředí po kalení	**Popouštění** Teplota/doba výdrže [°C/h]	Tvrdost HV10 po popuštění	Ochlazovací prostředí po popouštění
Skupina A	850/1	> 450	olej	590/5	270 - 285	vzduch
Skupina B	850/1	> 450	olej	625/5	235 - 250	vzduch



Obr. 4.11 Schéma tepelného zpracování



Obr. 4.12 Schéma zařízení pro tepelné zpracování

Metalografické hodnocení experimentálního materiálu

Část vzorků ventilových šroubů, které nebyly podrobeny šroubovacímu procesu, byly rozřezány na přístroji Buehler Discoment ve směru příčném a podélném. Vzorky pro pozorování byly zalisovány na přístroji Buehler Simpliment 3000.

K broušení a leštění byl použit poloautomatický stroj Buehler Phoenix 4000. Broušení a leštění probíhalo dle standardních postupů pro přípravu vzorků. Broušení za mokra, přechodem od brusných papírů o hrubosti 120 µm – 1000µm k dolešťování za pomocí 9 µm a 3 µm diamantových past v suspenzi. Vzorek byl naleptán 3% Nitalem. Po naleptání vzorků byla struktura pozorována na metalografickém mikroskopu Axioplan 2 při použitém celkovém zvětšení 500x, 1000x a dokumentována digitální kamerou.

Práce byla zaměřena na stanovení rozmezí nejvhodnější tvrdosti ventilového šroubu po tepelném zpracování. Tvrdost vzorků dle Vickerse byla měřena na přístroji Wolpert Diatestor od firmy Probat, se zátěžnou silou 294,2N, dle normy [21]. Dle interních předpisů by se tvrdost dané součástky měla pohybovat v intervalu (230 – 280HV)

Ošetření povrchu součásti

Šroubovacímu procesu předcházela povrchová úprava za účelem snížení koeficientu tření v závitech. Na vzorky bylo za tímto účelem nanášeno „Gleitmo“. Jedná se o mazivo na bázi vody, které zasychá na vzduchu. Jde o směs vosku a rozpouštědel, obsahuje UV-přísadu pro kontrolu ošetření povrchů UV-zářením. Po vysušení součástek zůstává na povrchu čistý, neviditelný kluzný film, s dobrými mazacími účinky, které snižují tření. Koeficient tření by měl dle dokumentace dosahovat cca 0,12 [22].

Tento proces se prováděl ponořením dílců (při teplotě 90°C) do lázně a poté byly vzorky vysušeny. Ke kontrole nanášené vrstvy byl využit index hmotnostního přírůstku. Kvalita povlaku byla zkontrolována pod UV lampou.

Zkouška trvalého přetvoření

Tato zkouška se skládá ze dvou částí. Jedna část probíhala ještě před samotným procesem šroubování. V této části byla na vzorku změřena výška od čela šroubu po těsnící plochu (viz. obr. 4.10) ve čtyřech bodech. V druhé části byl vzorek zašroubován podle předpisů (viz tab 4.6) a spoj se nechal relaxovat. Po vyšroubování byla opět změřena výška na původních čtyřech bodech od čela k dosedací ploše. Rozdíl získaných hodnot výšek od čela šroubu k dosedací ploše před a po zašroubování se zprůměruje. Získaná hodnota je výsledkem trvalého přetvoření, které by mělo dosáhnout alespoň hodnoty 20 µm, aby byla zajištěna dostatečné přetvoření nutné pro těsnost dosedací plochy. Pokud by přetvoření kleslo pod tuto hodnotu, může dojít k netěsnostem. K měření výšky byl použit digitální mikrometr od firmy Mitutoyo.

Šroubovací test

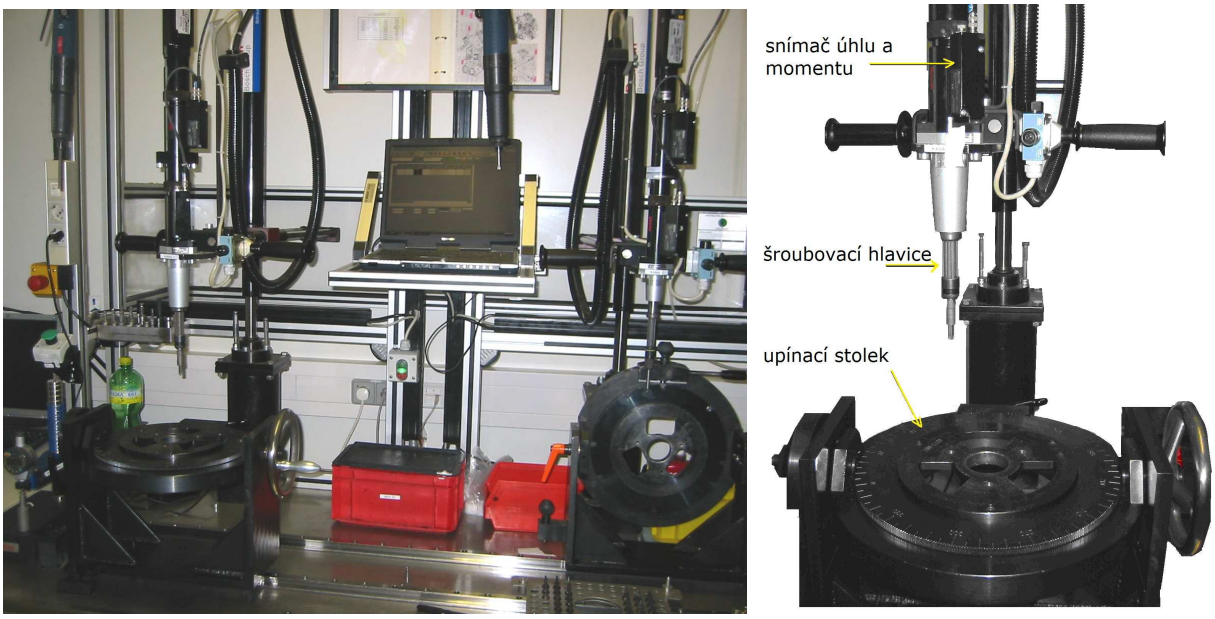
Tento proces je simulací skutečného šroubovacího procesu ventilového čepu do tělesa čerpadla. Parametry procesu jsou shodné s procesem, který je využíván na provozních linkách. Hodnoty utahovacích momentů a úhlů jsou v tabulce 4.6.

Šroubování ventilových čepů probíhalo na sestavě Rexroth Bosch 300 znázorněné na obrázku 4.13. Sestava se skládá z části, která slouží přímo k provedení šroubování, dále z otočného upínacího stolku, na který je přes přírubu připevněn dílec tělesa čerpadla a celý proces je vyhodnocen pomocí počítače. Šroubovací hlavice je poháněna motorkem a řízena

dvěma snímači momentu a úhlu utahování. Utahování probíhá s využitím utahovacího momentu a úhlu rotace tzv. utahování na úhel. Při procesu s řízeným utahovacím momentem a úhlem se šroub utáhne v první fázi definovaným nízkým utahovacím momentem (40 Nm). Následuje povolení a ve třetí fázi se šroub utáhne o určitou hodnotu úhlu rotace. Tím dojde k trvalému přetvoření materiálu.

Tab. 4.6 Parametry šroubovacího procesu

Součást M16x1,5		Řízení		Kontrola	
Šroubovací parametry	Otáčky [1/min]	Kroutící moment [N.m]	Úhel [°]	Kroutící moment [N.m]	Úhel [°]
Počáteční utažení	40	40	36	38 – 42	5- 35
Povolení	-40	-	90		80 -100
Koncové utažení	10	71	13	40 – 70	11 - 15

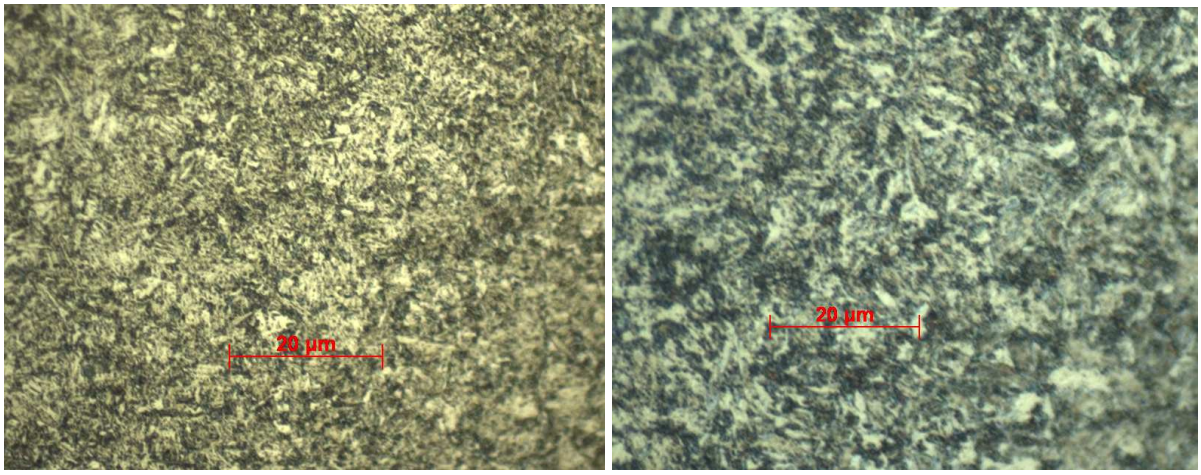


Obr. 4.13 Zařízení pro šroubovací proces

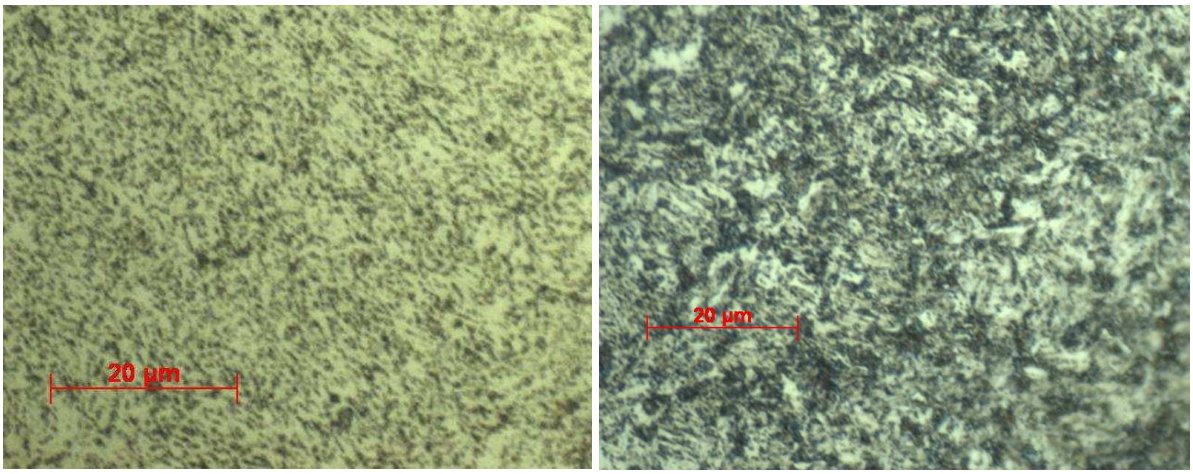
4.3 Výsledky experimentů

4.3.1 Analýza experimentálního materiálu

Základní struktura po tepelném zpracování byla pozorována na materiálu 12 050. Vzorky byly pozorovány jak v příčném, tak v podélném směru na mikroskopu ZEISS AXIOPLAN 2. Byl pozorován vzorek od dodavatele - firmy Messa, při celkovém zvětšení 500 a 1000x v naleptaném stavu. Pozorovaná struktura odpovídá vysoko popuštěnému martenzitu. Struktury v podélném a příčném jsou uvedeny na obrázcích 4.14 a 4.15.



Obr. 4.14 Mikrostruktura oceli 12 050 - podélný řez, Nital



Obr. 4.15 Mikrostruktura oceli 12 050 - příčný řez, Nital

4.3.2 Výsledky z měření tvrdosti

Vzorky byly tepelně zpracovány ve firmě Bosch (postupem uvedeným v kapitole 4.2.2). Celkem 140 vzorků bylo rozděleno na dvě skupiny A,B dle tvrdosti. Součásti tepelně zpracované na dolní mez tvrdosti firmou Bosch (A skupina) a součásti tepelně zpracované na horní mez tvrdosti firmou Bosch (B skupina)

1) Ve skupině A mělo být dosaženo po tepelném zpracování tvrdosti v rozmezí 230÷250 HV30. Po změření tvrdosti u všech 70 ti vzorků byly stanoveny tři šarže (označeny římským číslem I až III) v rozmezí tvrdostí: (235÷240; 241÷245; 246÷250 HV) z každé z nich bylo vybráno vždy 6 vzorků za účelem podrobení vzorků šroubovému procesu a změření trvalého přetvoření (viz. tab. 4.7)

2) Ve skupině B se tvrdost pohybovala po tepelném zpracování v rozmezí 250÷280HV30, opět tři šarže (taktéž označeny římským číslem IV až VI) byly vytvořeny v rozmezí tvrdostí (270÷275HV; 276÷280HV a 280÷285HV) i tyto vzorky byly podrobeny šroubovacímu procesu. Rozdělení vzorků podle skupin je blíže uvedeno v tabulce 4.8.

Tab. 4.7 Výsledky měření tvrdosti ventilového šroubu skupina A

Skupina A	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5	Vzorek 6
Šarže I 235 – 240 HV30	234	241	239	242	236	237
	238	237	233	240	234	235
	234	239	237	237	237	235
	235	237	240	238	239	240
Průměr	**235**	**239**	**237**	**239**	**237**	**237**
Šarže II 241 – 245 HV30	241	239	243	244	241	243
	242	241	245	245	239	248
	239	242	244	240	244	245
	244	237	237	241	242	243
Průměr	**242**	**240**	**242**	**243**	**242**	**245**
Šarže III 246 – 250 HV30	250	248	248	250	245	245
	249	248	249	252	247	249
	245	250	250	249	244	245
	244	246	250	250	246	247
Průměr	**247**	**248**	**249**	**250**	**246**	**247**

Tab. 4.8 Výsledky měření tvrdosti ventilového šroubu skupina B

Skupina B	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5	Vzorek 6
Šarže IV 270 – 275 HV30	270	271	273	273	275	270
	271	267	270	273	270	278
	269	274	270	270	272	275
	270	274	273	272	273	275
Průměr	**270**	**272**	**272**	**272**	**273**	**275**
Šarže V 276 – 280 HV30	281	279	280	281	280	283
	278	275	276	275	279	278
	276	276	278	280	278	278
	277	277	278	277	276	279
Průměr	**278**	**277**	**278**	**278**	**278**	**280**
Šarže VI 281 – 285 HV30	280	278	284	283	285	285
	278	284	286	284	285	279
	283	280	283	285	284	286
	281	280	287	281	286	287
Průměr	**281**	**281**	**285**	**283**	**285**	**284**

4.3.3 Výsledky hodnocení trvalého přetvoření

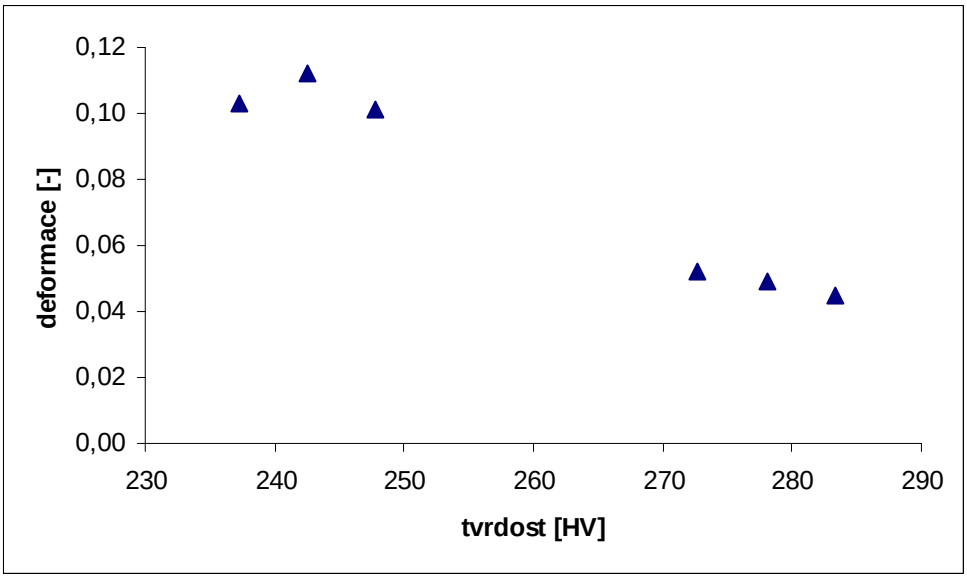
Část vybraných vzorků (dle tvrdosti) byla podrobena šroubovému procesu. Nejprve byla u vzorků změřena výška od čela po těsnící plochu, poté byly vzorky zašroubovány a byla vypočtena hodnota trvalého přetvoření (viz. tab. 4.9 a 4.10). Ze závislosti průměrné tvrdosti jednotlivých šarží vzorků a průměrných hodnot trvalého přetvoření na těsnících plochách vyplývá, že se zvyšující se tvrdostí klesá přetvoření materiálu. Odpor materiálu proti šroubovému procesu se snižoval, jak je patrné z obrázku 4.16 a naměřených hodnot v tabulce 4.11.

Tab. 4.9 Hodnoty přetvoření těsnící plochy ventilových šroubů ve skupině A

Skupina A	Deformace [-]					
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5	Vzorek 6
Šarže I 235 – 240 HV30	0,109	0,117	0,122	0,076	0,102	0,094
	0,106	0,110	0,112	0,077	0,099	0,098
	0,115	0,080	0,096	0,073	0,152	0,100
	0,105	0,095	0,108	0,074	0,152	0,097
Průměr	**0,109**	**0,101**	**0,110**	**0,075**	**0,126**	**0,097**
Šarže II 241 – 245 HV30	0,151	0,148	0,097	0,100	0,098	0,098
	0,150	0,149	0,099	0,099	0,097	0,099
	0,150	0,110	0,102	0,099	0,100	0,098
	0,150	0,098	0,096	0,097	0,099	0,099
Průměr	**0,150**	**0,126**	**0,099**	**0,099**	**0,099**	**0,099**
Šarže III 246 – 250 HV30	0,098	0,097	0,098	0,100	0,115	0,104
	0,099	0,097	0,100	0,100	0,101	0,109
	0,097	0,100	0,107	0,102	0,099	0,098
	0,096	0,097	0,108	0,100	0,097	0,108
Průměr	**0,098**	**0,098**	**0,103**	**0,101**	**0,103**	**0,105**

Tab. 4.10 Hodnoty přetvoření těsnící plochy ventilových šroubů ve skupině B

Skupina B	Deformace [-]					
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5	Vzorek 6
Šarže IV 270 – 275 HV30	0,049	0,053	0,054	0,052	0,050	0,051
	0,051	0,052	0,054	0,053	0,051	0,054
	0,053	0,051	0,051	0,052	0,049	0,050
	0,053	0,054	0,052	0,051	0,050	0,049
Průměr	**0,052**	**0,052**	**0,053**	**0,052**	**0,050**	**0,051**
Šarže V 276 – 280 HV30	0,052	0,049	0,045	0,053	0,049	0,053
	0,050	0,048	0,044	0,057	0,051	0,049
	0,050	0,001	0,044	0,050	0,055	0,054
	0,051	0,048	0,049	0,079	0,049	0,052
Průměr	**0,051**	**0,037**	**0,046**	**0,060**	**0,051**	**0,052**
Šarže VI 281 – 285 HV30	0,052	0,038	0,048	0,052	0,035	0,045
	0,050	0,045	0,061	0,050	0,046	0,050
	0,029	0,040	0,039	0,053	0,045	0,045
	0,033	0,053	0,041	0,049	0,041	0,045
Průměr	**0,041**	**0,044**	**0,047**	**0,051**	**0,042**	**0,046**



Obr. 4.16 Znázornění vlivu tvrdosti na průběh trvalého přetvoření

Tab. 4.11 Průměrné hodnoty tvrdosti a trvalého přetvoření

Průměrné hodnoty:	Skupina A			Skupina B		
	Šarže I 235 – 240 HV30	Šarže II 241 – 245 HV30	Šarže III 246 – 250 HV30	Šarže IV 270 – 275 HV30	Šarže V 276 – 280 HV30	Šarže VI 281 – 185 HV30
Deformace	0,103	0,112	0,101	0,052	0,049	0,045
Tvrdost	237,3	242,5	247,8	272,7	278,2	283,3

4.3.4 Ošetření povrchu součásti – měření hmotnostního přírůstku

Před samotnou povrchovou úpravou byly vzorky po skupinách zváženy před a po nanášení „Gleitma“. Hmotnostní přírůstek na vzorcích je patrný z tabulky 4.12, kdy m_1 je hmotnost šesti vzorků z jedné skupiny před provedením povrchové úpravy a m_2 charakterizuje hmotnost po provedené povrchové úpravě. Sloupec ▲m by mělo odpovídat vrstvě nanášené na vzorcích, tedy množství „Gleitma“.

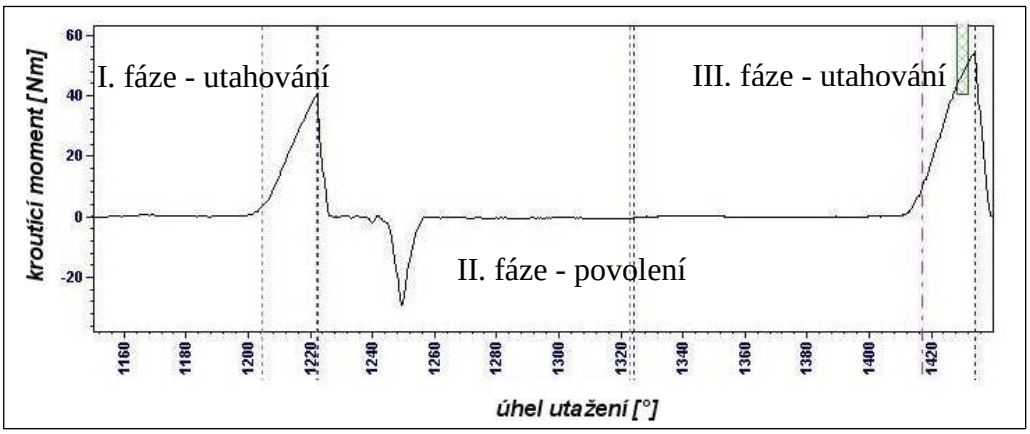
Tab. 4.12 Hmotnostní přírůstek při povrchové úpravě

Rozdělení vzorků		m_1	m_2	▲m
Skupina A	235 – 240HV	84,292	84,320	0,028
	241 – 245HV	85,988	86,028	0,040
	246 – 250HV	85,957	86,000	0,043
Skupina B	270 – 275HV	86,240	86,289	0,049
	276 – 280HV	86,149	86,190	0,041
	281 – 285HV	86,144	86,177	0,033

4.3.5 Výsledky šroubovacího testu

Celkem 36 vzorků po šesti skupinách tvrdosti označených římským písmem, bylo podrobeno šroubovému procesu, který simuloval skutečný montážní proces ve výrobě. Šroubování se skládá ze dvou kroků - utažení a povolení.

Samotný krok utahování dále probíhal ve třech fázích. V první fázi byla komponenta utažena momentem v rozmezí hodnot 40 – 70 Nm nebo úhlem 11- 38°. Poté následovalo povolení a druhá fáze opětovného utažení na moment v rozsahu 38 – 42Nm a úhel 6-25° (což je patrné z křivky utahování na obrázku 4.17). Výsledky utahovacího procesu, tj. hodnoty první a třetí fáze utahování, jsou uvedeny v tabulce 4.13.

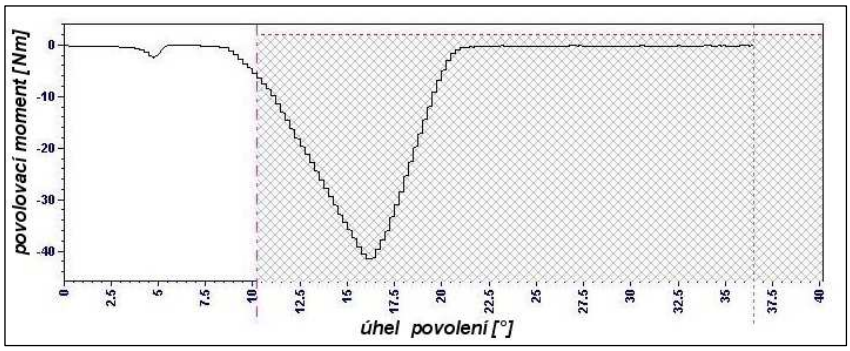


Obr. 4.17 Postup utahovacího procesu

Tab. 4.13 Naměřené hodnoty z jednotlivých fází utahovacího procesu

Skupina A	I. fáze - utahování		III.fáze - utahování		Skupina B	I.fáze - utahování		III.fáze - utahování	
Šarže I	moment [Nm]	úhel [°]	moment [Nm]	Úhel [°]	Šarže IV	moment [Nm]	úhel [°]	moment [Nm]	úhel [°]
1.	40,1	11	59,89	12,75	1.	40,1	11,5	54,1	13,25
2.	40,35	12	57,68	13	2.	40,21	15,75	52,3	13,5
3.	40,23	13	56,92	13	3.	40,3	15,5	53,52	13,5
4.	40,17	13,75	54,95	13,25	4.	40,12	16	51,61	13,5
5.	40,57	12,25	56,32	13,25	5.	40,1	15,75	51,72	13,5
6.	40,05	13,5	54,32	13,5	6.	40,05	15,5	52,07	13,5
Šarže II					**Šarže V**				
1.	40,37	12,75	57,17	13	1.	40,01	13	55,24	13
2.	40,19	12	59,18	13	2.	40,01	15,5	53,45	13,5
3.	40,26	13,5	56,48	13	3.	40,01	13,5	54,43	13,5
4.	40,53	13	58,72	12,75	4.	40,17	10,75	65,59	12,5
5.	40,32	13	54,28	13,5	5.	40,26	10,5	65,47	12,5
6.	40,26	12,5	57,1	13	6.	40,01	12,75	59,86	13
Šarže III					**Šarže VI**				
1.	40,01	13,75	52,48	13,25	1.	40,44	14	54,95	13,25
2.	40,44	13,75	54,68	13,25	2.	40,3	13	53,92	13,5
3.	40,23	14,25	54,3	13,25	3.	40,12	13,5	54,92	13,25
4.	40,39	11,5	60,28	12,75	4.	40,03	13,5	58,33	13
5.	40,59	10	65,72	12,25	5.	40,3	13,5	57,37	13
6.	40,24	11,25	60	13	6.	40,64	12,5	59,91	12,75

Povolení ventilových šroubů probíhalo již jen v jednom kroku. Dosažené hodnoty z povolovacího procesu jsou v tabulce 4.14. Při povolování dochází ke snižování kroutícího momentu, který je v tabulce charakterizován zápornou hodnotou. Tyto výsledky jsou patrné i z křivky (obr. 4.18), která klesá pod nulovou hodnotu kroutícího momentu.



Obr 4.18 Postup povolování ventilového šroubu

Tab. 4.14 Výsledky ze šroubového testu - krok povolení

Skupina A			Skupina B		
Šarže I	moment [Nm]	úhel [°]	**Šarže IV**	moment [Nm]	úhel [°]
1.	-41,53	9,75	1.	-41,01	10
2.	-39,06	9,83	2.	-45,75	9,96
3.	-39,97	9,25	3.	-42,26	9,75
4.	-36,06	8,75	4.	-33,36	11,12
5.	-36,48	8,5	5.	-34,72	10
6.	-37,19	8,5	6.	-31,83	9
Šarže II			**Šarže V**		
1.	-36,95	9,5	1.	-37,45	10,25
2.	-34,18	8,99	2.	-35,64	9,50
3.	-36,62	8,5	3.	-40,41	10,25
4.	-40,74	9,25	4.	-37,92	11
5.	-47,3	8,75	5.	-40,17	10,25
6.	-46,21	9	6.	-38,23	10
Šarže III			**Šarže VI**		
1.	-34,06	9	1.	-35,61	10
2.	-32,64	8,75	2.	-36,55	9,5
3.	-33,25	8,75	3.	-35,72	9,5
4.	-35,75	8,8	4.	-37,47	9,5
5.	-33,62	8,75	5.	-36,85	9,75
6.	-36,28	8,5	6.	-41,91	9,25

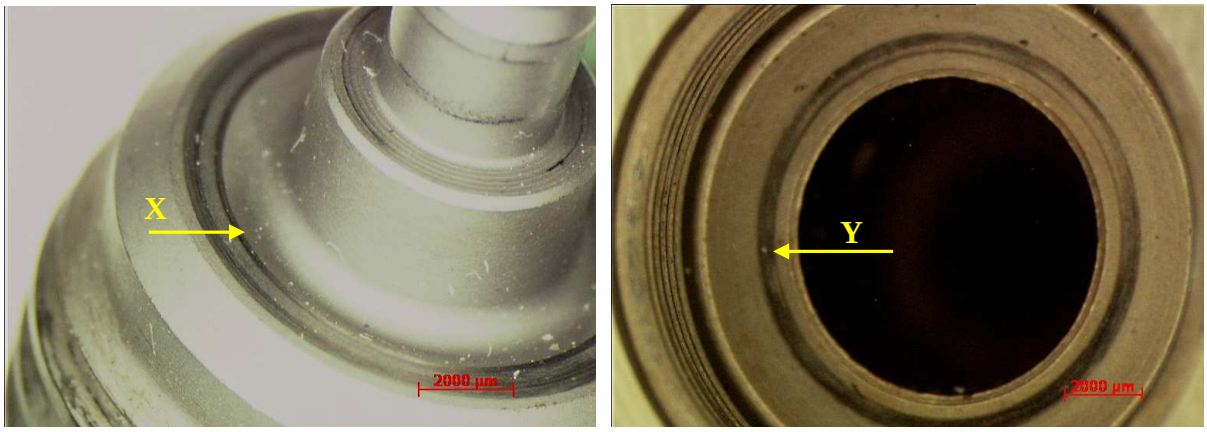
4.3.6 Analýza dosedacích ploch před a po šroubování

Po vyšroubování jsou patrná na dosedací ploše ventilového šroubu opotřebení způsobená plastickou deformací. Vliv šroubování je patrný i na dosedací ploše přímo v tělese čerpadla CP3, do kterého je dílec M16x1,5 umístěn.

U obou dílců byly tyto plochy dokumentovány vždy před a po zašroubování. Na obrázku 4.19 je nafocen výchozí stav. Z obrázku 4.20 je patrný vliv trvalého přetvoření (detail X a Y) jak u ventilového čepu, tak u tělesa. Velikost opotřebené plochy se pohybuje okolo 450 - 600μm. Na obrázku 4.21 je porovnání dosedacích ploch těles čerpadla po zašroubování vzorku z I. skupiny o nejnižší tvrdosti a na obr. 4.21 b) po zašroubování nejtvrdšího ventilového čepu z VI.skupiny.

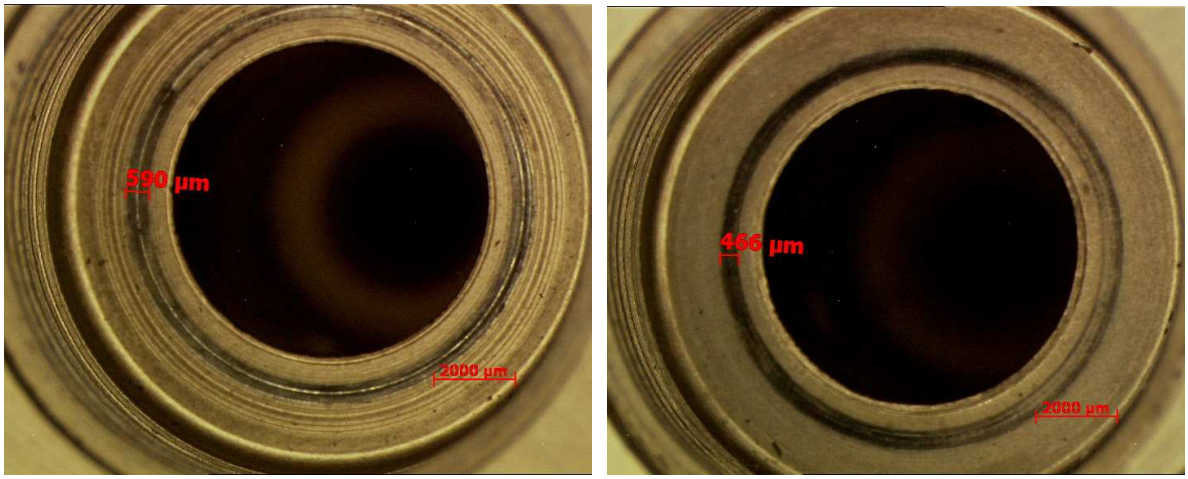
a) b)

Obr. 4.19 Dosedací plocha nezašroubovaného a) ventilového šroubu b) tělesa



a) b)

Obr. 4.20 Dosedací plocha u zašroubovaného a) ventilového šroubu b) tělesa



a) b)

Obr. 4.21 Dosedací plocha na tělese po zašroubování vzorku a) šarže I, b) šarže VI

5. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem práce bylo hodnocení vlivu tepelného zpracování oceli na deformační vlastnosti dílce ventilového šroubu při montážních procesu, kdy je využito trvalého přetvoření povrchu k zajištění těsnosti v systému čerpadla CP3. Problém je komplexního charakteru, který musí být posuzován z několika hledisek. První hledisko vychází již od jakosti daných komponent, dále závisí na montážním zařízení a způsobu měření procesu šroubování. V oblasti materiálového inženýrství se jedná o hodnocení kvality komponenty z hlediska jakosti materiálu, jeho tepelného zpracování a vlivu na tvrdost a plastickou deformaci dané komponenty „Ventilbolzen M16x1,5.

Problém netěsnosti nastal u dvou odběratelů firmy Bosch, a to u automobilky Honda a Daimler. Komponenty, které byly příčinou netěsnosti, byly podrobeny analýze povrchu těsnících ploch, měření tvrdosti a hodnocení drsnosti povrchu. Z výsledků měření tvrdosti na povrchu vyplynulo, že tvrdost u obou vzorků překročila ve dvou měřeních limitní hodnotu tvrdosti 280HV, ale průměrná hodnota měření tvrdosti byla v pořádku. Z měření průběhu tvrdosti na řezu komponenty je patrné, že tvrdost klesala od povrchu do jádra a tvrdost obou komponent byla tedy překročena pouze na povrchu součásti. Také byla provedena analýza jakosti povrchu. Naměřené hodnoty drsností obou ventilových šroubů byly pod hodnotou maximální předepsané drsnosti. Vliv trvalého přetvoření byl sledován na dosedacích plochách u obou vadných součástí. Na vzorku od odběratele Daimler bylo pozorováno nerovnoměrné trvalé přetvoření v podobě dvou opotřebení na těsnící ploše. U odběratele Honda, pouze jeden pás opotřebení. Z toho je možné se domnívat, že příčinou netěsnosti bylo v případě odběratele Daimler nerovnoměrné zatížení, nebo geometrické nepřesnosti daného dílce, které způsobilo vůli v závitu a vyosením došlo k nerovnoměrnému přetvoření V případě reklamované komponenty od odběratele Honda mohla být příčinou netěsnosti nedostatečně zdeformovaná plocha, tedy nízká hodnota přetvoření těsnící plochy ventilového šroubu.

Hlavní část experimentální práce byla zaměřena na vliv způsobu tepelného zpracování komponenty ventilového šroubu na výslednou tvrdost a velikost přetvoření těsnící plochy ventilového šroubu. Dané komponenty ventilového šroubu „Ventilbolzen M16x1,5“ byly tepelně zpracovány kalením a popouštěním přímo ve firmě Bosch.

Popuštěním na teplotu 625°bylo dosaženo u skupiny vzorků A tvrdosti v rozmezí 235 – 250HV. Snížením popouštěcí teploty na hodnotu 590°C u druhé série vzorků (skupina vzorků B) bylo dosaženo rozmezí tvrdosti 270 – 285HV. Metalografickým hodnocením bylo zjištěno, že při použití obou způsobů tepelného zpracování bylo dosaženo struktury tvořené vysokoteplotně popuštěným martenzitem a jistým podílem zbytkového austenitu.

Jeden z vedlejších vlivů, který by mohl mít vliv na těsnost je prováděná povrchová úprava ventilového šroubu před šroubovacím procesem. Z hodnot hmotností ventilových šroubů před a po povrchové úpravě, ze kterých byl stanoven hmotnostní přírůstek, vyplývá, že u většiny vzorků byl hmotnostní přírůstek přibližně stejný a dosahoval hodnoty cca 0,04g. Pouze v případě šarže vzorků I (skupiny A) a šarže vzorků VI. (skupiny B) bylo dosaženo nižších hmotnostních přírůstků, tedy hodnot 0,028g, resp. 0,033g.

V první fázi utahování byl dílec utažen na moment v rozmezí 40Nm, který odpovídal požadovanému momentu. V druhé fázi utažení byly všechny vzorky utaženy momentem v rozmezí 55 – 65Nm a úhlu 10°m. U žádného ze vzorků hodnoty utahovacího momentu a úhlu, dané předpisem pro utahování komponenty „Ventilbolzen M16x1,5“, nebyly překročeny.

Tvrdost materiálu je hlavním parametrem, který ovlivňuje výsledky trvalého přetvoření materiálu. Z naměřených výsledků vyplývá, že u vzorků ve skupině A se pohybovalo přetvoření dosedací plochy po zašroubování okolo 105 μm. U vzorků skupiny B

byla pozorována poloviční hodnota trvalého přetvoření, které s rostoucí tvrdostí klesalo až na hodnotu 42 μm. V obou případech bylo však dosaženo požadované minimální hodnoty (20 μm) trvalého přetvoření pro zaručení těsnosti. Z naměřených hodnot přetvoření ventilových šroubů vyplývá, že pokud bude povrchová tvrdost v rozmezí 235-280HV, bude zajištěna požadovaná hodnota přetvoření, tj. minimálně 20 μm.

6. ZÁVĚR

V práci byl hodnocen vliv tepelného zpracování komponenty „Ventilbolzen M16x1,5“ na trvalé přetvoření dosedací plochy při šroubovacím procesu této součástky do tělesa čerpadla CP3. Důvodem pro řešení této problematiky byla netěsnost čerpadla u dvou odběratelů. Z hlediska materiálového inženýrství byl problém zaměřen na dosažení požadované tvrdosti po tepelném zpracování a vliv tvrdosti na přetvoření součástky při šroubovacím testu. Tento test byl simulací šroubovacího procesu ve výrobě.

Reklamované vzorky od odběratelů Honda a Daimler byly podrobeny měření tvrdosti, jakosti povrchu a dokumentována dosedací plocha ventilových šroubů. Z výsledků tvrdosti vyplynulo, že v podpovrchové oblasti vzorků odpovídala tvrdost předepsané hodnotě. Na dokumentované dosedací ploše byla pouze u vzorku od odběratele Daimler pozorována nerovnoměrně opotřebená plocha, která mohla být způsobena nestejnoměrným zatížením nebo vůlí v závitu. Drsnost obou komponent splňovala předepsané hodnoty.

Pro experimentální část byla dodána sada ventilových šroubů. Tepelným zpracování byly připraveny vzorky o tvrdosti v rozmezí 230 – 250HV30 a 270 – 285HV30. Na tyto vzorky byla před šroubovacím testem nanášena povrchová vrstva „Gleitmo“. Na základě hodnocení hmotnostních přírůstků bylo zjištěno, že byla dosažena u všech vzorků přibližně stejná hodnota povrchové úpravy.

Ventilové šrouby s povrchovou úpravou byly dále podrobeny šroubovacímu testu. Výsledkem z této zkoušky byla velikost trvalého přetvoření. U 230 – 250HV30 bylo dosaženo průměrné hodnoty 0,105 μm. U 270 – 285HV30 klesla průměrná hodnota přetvoření přibližně na polovinu (0,045 μm). Obě skupiny tedy splnily dle interních předpisů požadovanou velikost přetvoření těsnící plochy (0,20 μm) pro zaručení těsnosti. U šroubovacího testu byl dále snímán moment utažení a utahovací úhel. Tyto obě veličiny jsou předepsány nornou v určitém intervalu hodnot, kterých musí být při montáži dosaženo. Toto bylo splněno i při testu na daných vzorcích a nebyly shledány žádné odchylky od naměřených hodnot.

Z naměřených hodnot trvalého přetvoření dosedací plochy ventilových šroubů vyplývá, že pokud bude povrchová tvrdost po tepelném zpracování v rozmezí 235-285HV, bude zajištěna požadovaná hodnota přetvoření dosedací plochy ventilového šroubu k zajištění těsnosti systému čerpadla CP3.

7. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

A	[%]	Tažnost
d_0	[mm]	Průměr zkušební tyče
l_0	[mm]	Délka zkušební tyče
S_0	[mm^2]	Plocha průřezu zkušební tyče
As	[cm^2]	Jmenovitý průměr
σ	[MPa]	Napětí
σ_{ef}	[MPa]	Efektivní napětí
T_ε	[-]	Tenzor deformace
ε	[-]	Poměrná deformace
τ	[MPa]	Smykové napětí
τ	[MPa]	Maximální smykové napětí
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_e	[MPa]	Výrazná mez kluzu
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu
Rz	[mm]	Maximální drsnost povrchu
F	[N]	Okamžitá síla
dF	[N]	Element síly
t	[h]	Čas
T	[°C]	Teplota
G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
Z	[%]	Kontrakce
p	[bar]	Tlak
HV	[-]	Tvrdost dle Vickerse
M_k	[Nm]	Utahovací moment
γ	[°]	Úhel natočení
P	[mm]	Stoupání závitu
De	[-]	Deviátor deformace
ARA		Anizotermický rozpad austenitu

8. LITERATURA

[1] PTÁČEK, L., a kolektiv. *Nauka o materiálu I.*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno. 2001, ISBN 80-7204-193-2

[2] FOREJT, M., PÍŠKA M.. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9,

[3] JANDOVÁ, D; ČEPERA, M; NOVÝ, Z. *Deformace oceli P -900 zastudena.* In JANDOVÁ, Dagmar . *Jandova.pdf*. [s.l.] : Materials Structure, vol. 5, no. 1, 1998. s. 10s. Dostupné z WWW: <http://www.xray.cz/ms/bul98-1/bul2a.pdf>.

[4] FOREJT, M. *Teorie tváření*. Brno : Nakladatelství vysokého učení technického v Brně, 1992. 167 s. ISBN 80-214-0415-9.

[5] JIRÁSEK, M., ZEMAN J., *Přetváření a porušování materiálů : dotvarování, plasticita, lom a poškození*. Nakladatelství ČVUT Praha, Praha. 2006,:. ISBN: 80-01-03555-7, 175 s.

[6] PLÁNIČKA, F., KULIŠ Z., *Základy teorie plasticity.* Nakladatelství ČVUT Praha. Praha. 2009, ISBN 978- 80-01-04225-0, 142 s

[7] ONDRÁČEK, E., VRBKA J., *Mechanika těles : pružnost a pevnost II.* Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno., 2002, ISBN: 80-214-3260-8

[8] JOPEK, M., *Modelování mechanického chování ocelí za vyšších rychlostí deformace.* Brno, VUT FSI, 2003, ISBN: 80-214-2437-0, 201 s.

[9] PUCHMAJER, P., *Pružnost a pevnost.* Vydavatelství ČVUT, Praha. 2005, ISBN: 80-01-03244-2, 143 s

[10] Macura P., *Experimentální metody v pružnosti a plasticitě* . Vydavatelství VŠB-Technická univerzita, Ostrava 2001. ISBN: 80-7078-934-4., 106 s

[11] BEŇO, L., *Materiály a základní strojní součásti: studijní modul 6*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno. 2004., ISBN: 80-7204-352-8 . 274 s.

[12] HEJCMAN, M. *Vybrané okruhy pro přípravu ke státní závěrečné zkoušce [online]*. Liberec: [s.n.], 2006 [cit. 2010-05-20]. Části strojů,. Dostupné z www: <http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/VYBRANE_OKRUHY.pdf >.

[13] TAUCHMAN, J. Sroubovespoje.kvalitne.cz *[online]*. 2006 [cit. 2010-05-20]. Šroubové spoje. Dostupné z WWW: <http://sroubovespoje.kvalitne.cz/>.

[14] Pružnost a pevnost I. VUT Brno : SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1980. 272 s. 411-33982

[15] KAMEŠ, J., *Spalovací motorová vozidla, část: Spalovací motory.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2002. 109s. ISBN :80-213-0895-8.

[16] FERENC, B., *Spalovací motory : karburátory a vstřikování paliva.* Vydavatelství Computer Press. Praha 2004, ISBN: 80-251-0207-6 .

[17] *Panel 04 zakaznik.qxd* [online]. 2005. Bosch Diesel s.r.o. Jihlava : [s.n.], 2005 [cit. 2010-20-05]. Dostupné z WWW: <http://www.bosch.cz/content/language1/html/2927.htm>.

[18] ČSN 41 2050. Ocel *12 050*. [s.l.]: Úřad pro normalizaci a měření, 2.1994. 16 s.

[19] FÜRBACHER, I. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: Svazek 2*. Praha: Dashöfer, 1998.

[20] Norma ČSN EN ISO 6507-1část. Kovové materiály, zkouška tvrdosti podle Brinella, Vickerse, Rockwella

[21] BOSCH NORM 5974 56. *Vergütungsstahl : Sondergüte für druckdichte Bauteile*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 4 s.

[22] *Hazmioil* [online]. 2000. Tábor : 2000 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.hazmioil.cz/PI/PI-L5-0334.pdf>.

[23] SÝKORA J., JEDOVNICKÝ, B., *Šrouby a matice. Díl 2, Vliv tvarů a rozměrů na únosnost šroubového spoje*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1987. 136 s. Sign: 4-0916.226,2