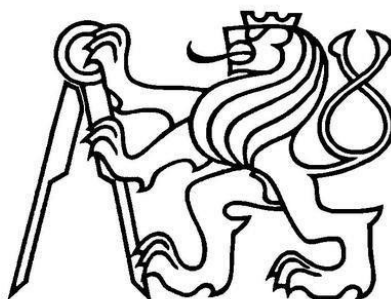


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Technical University in Prague



Ústav materiálového inženýrství

Příčiny snížené životnosti komponent vstřikovacího lisu

Causes of reduce life of injection molding components

Studijní program: Výroba ve strojírenství

Obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Autor: Jana Vávrová

červenec 2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Cejp, Csc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vávrová** Jméno: **Jana** Osobní číslo: **438575**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav materiálového inženýrství**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Příčiny snížené životnosti komponent vstřikovacího lisu.

Název bakalářské práce anglicky:

Causes of reduced life of injection molding components.

Pokyny pro vypracování:

Zhodnotit poškození komponent vstřikovacího systému na výrobu těsnících hřídelových kroužků ze syntetického kaučuku. Studijní a rešeršní činnost zaměřit na opotřebení a na vstřikování polymerů. Seznámení se zařízením firmy Freudenberg, sestavení a provedení experimentálního programu. Diskuse naměřených hodnot, závěry.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ZEMAN, L.: Vstřikování plastů, BEN-technická literatura, PRAHA 2009
- [2] SUCHÁNEK, J.-KUKLÍK, V.-ZDRAVECKÁ, E.: Abrazivní opotřebení materiálu, nakladatelství ČVUT, 2007.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Cejp, CSc., ústav materiálového inženýrství FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

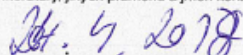

doc. Ing. Jiří Cejp, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce


prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.


Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma: „Příčiny snížené životnosti komponent vstřikovacího lisu“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jiřího Cejpa, Csc, s použitím literatury a pramenů uvedených v seznamu na konci bakalářské práce.

V Praze dne 26. 7 .2018

.....

Vávrová Jana

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce . Ing. Jiřímu Cejpovi, Csc za vedení při vypracování bakalářské práce, poskytnutí cenných rad, odborné literatury i za jeho trpělivost. Poděkování patří také řediteli společnosti Freudenberg Sealing Technologies s. r. o. , Michaeli Peklovi, bez kterého by nebyla možná realizace této práce. Zároveň bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu při studiu.

Anotace

Cílem bakalářské práce je najít příčinu výrazného abrazivního opotřebení komponent vstřikovacího lisu, které má za následek špatnou funkčnost vstřikovacího systému a následné lisování zmetkových kusů simmeringů. Úvodní část práce je zaměřena na vstřikování polymerů, na vstřikovací systémy a na materiály používané na výrobu těsnících kroužků. Pozornost je věnována i opotřebení materiálu a základním typům korozivzdorných ocelí. Vlastní experimentální program pak řeší poškození kritického dílce (Cold Tube Runner) abrazivním opotřebením a nachází příčinu zrychlené degradace jeho povrchu v nevhodném tepelném zpracování materiálu. Jako možné řešení je navrhován jiný typ materiálu komponent.

Klíčová slova: simmering, vstřikování plastů, abrazivní opotřebení, tvrdost

Annotation

The aim of bachelor thesis is finding the cause of marked abrasive wear of injection molding component, which result in poor functionality of the injection system and subsequent pressing of waste pieces of simmerring. The intrudictory part is focused on injection molding of polymers, injection system and materials used for the production of sealing rings. Attention is paid also to material wear and basic types of stainless steels. The experimental program then solves damage of the Cold Tube Runner by abrasive wear and finds the causes of the accelerated degradation of its surface in inappropriate heat treatment of the materials. As a possible solution another type of component material is proposed.

Keywords: simmering, injection molding, abrasive wear, hardness

Obsah

1	Úvod	8
2	Společnost Freudenberg	8
2.1	Výrobní zařízení a výrobky firmy	8
2.2	Freudenberg sealing technologies s. r. o.....	8
2.3	Cold Tube Runner (CTR)	9
3	Lisování technické pryže.....	10
3.1	Vstřikování (Injection moulding)	11
3.2	Materiály pro vstřikování	11
3.2.1	Kaučuk	11
3.2.2	Přísady do kaučukových směsí	13
4	Korozivzdorné oceli	16
4.1	Rozdělení korozivzdorných ocelí dle struktury.....	16
4.1.1	Austenitická struktura	17
4.1.2	Feritická struktura	17
4.1.3	Martenzitická struktura.....	18
4.1.4	Dvoufázové struktury	18
4.1.5	Precipitačně vytvrditelné oceli	19
4.2	Kalitelná chromová ocel – x46cr13	19
5	Opotřebení	20
5.1	Adhezivní opotřebení	20
5.2	Erozivní opotřebení	21
5.3	Kavitační opotřebení	21
5.4	Únavové opotřebení.....	21
5.5	Vibrační opotřebení.....	21
5.6	Abrazivní opotřebení.....	22
5.7	Abrazivní opotřebení komponentů Cold tube runner.....	24
6	Experimentální část	24
6.1	Experimentální materiál	24
6.2	Experimentální metody	26
6.2.1	Měření tvrdosti.....	26
6.2.2	Kontrola geometrie	26

6.2.3	Metalografická technika	27
6.2.4	Mikroskopické pozorování	29
7	Výsledky a jejich diskuze	29
8	Závěry:	34
9	Zdroje	35
10	Seznam obrázků	37
11	Seznam tabulek	38

1 Úvod

V dnešní době je kladen důraz na úsporu materiálu i času a stejně tak na vysokou jakost výrobků. Platí to i ve firmě Freudenberg sealing technologies s. r. o., kde snaha o udržení konkurenceschopnosti nutí management firmy hledat způsoby jak optimalizovat náklady. Proto bylo přistoupeno k aktivní inovaci vstřikovacího systému, kterým se vyrábí těsnící hřídelové kroužky – simmerringy. Výsledkem byl zdokonalený Cold Tube Runner, který byl vyvinut tak, aby ušetřil až ½ materiálu na jednom výrobku. Aplikace nového systému však vedla nejen k úsporám, ale i k výraznému opotřevení hlavního dílce, čímž se zkrátila jeho životnost.

2 Společnost Freudenberg

2.1 Výrobní zařízení a výrobky firmy

Německá společnost, která byla založena před 168 lety Carlem Freudenbergem. Začínala jako koželužna. Již od svého založení si společnost zakládá na vývoji. Za dobu svého působení se rozrostla do několika odvětví. Své pobočky má na 555 místech po celém světě a zaměstnává více jak 40 000 zaměstnanců. Divize Freudenberg Sealing Technologies vznikla v roce 1929 a začala s výrobou kožených těsnění, v roce 1936 se již vyráběly těsnící hřídelové kroužky ze syntetického kaučuku Simmerring – podle vývojáře Walthera Simmera.

2.2 Freudenberg Sealing Technologies s. r. o. (FST)

Středně velká firma sídlí v pardubickém kraji. Byla založena před 21 lety. Výroba se rozkládá na ploše 7000 m². Firma zaměstnává 200 dělníků a 50 THP pracovníků. Vyrábí pouze těsnící hřídelové kroužky – simmerringy (Fig. 1). Nabízí přes 5800 katalogových, ale i zákaznických artiklů. Používá se zde 6 gumárenských směsí (FKM, NBR). Využívají se dvě hlavní výrobní technologie klasických lisů (ruční provoz) a lisování vstřikováním Boy, Arburg a FIM (automatické lisy). Nejmenší HTK (hřídelový těsnící kroužek) má vnější průměr 4 mm a největší, který se zde vyrábí, má průměr 250 mm. Závod běží ve třísměnném provozu a denně se vyprodukuje 140 000 kusů. Koncentruje se na flexibilitu, kvalitu a produktivitu. Společnost je držitelkou certifikátů ISO 9001 (kvalita), ISO 14001 (environment) a OHSAS 18001 (bezpečnost a ochrana zdraví při práci).



Figure 1 Příklad vyráběných simmeringů

2.3 Cold Tube Runner (CTR)

Je inovativní vstřikovací systém, který má za úkol spořit materiál. Ve firmě Freudenberg Sealing Technologies s. r. o. je integrovaný pouze na dvou vstřikovacích lisech Arburg, které slouží k lisování větších tvarů od průměru 100 mm. U běžně používaného vstřikovacího systému je materiál vstřikován tryskou doprostřed formy, což má za následek nadbytečnou spotřebu materiálu, jelikož při opracování těsnícího břitu jde do odpadu celý „klobouk“. CTR se skládá z nástřikové hlavy, ve které je umístěno jádro – rozdělovač, přes který teče materiál do formy(Fig. 2).

Hlavní rozdíl je ten, že jádro rozděluje materiál tekoucí do formy tak, aby formu obtékal ze stran. Tento systém dokáže uspořit až $\frac{1}{2}$ použitého materiálu na jeden simmerring (Fig. 3). Je zatím využívám jen na výrobky z materiálu FKM 585 a 595. V návaznosti na fakt, že fluorokaučuk je materiál dražší a náročnější na výrobu. Tyto díly CTR jsou vyrobeny z materiálu X46Cr13, jsou kaleny a popuštěny.



Figure 2 Vlevo: nástřiková hlava a v ní vložené jádro (rozdělovač)
vpravo: samotné jádro - rozdělovač



Figure 3: Vlevo simmering vyrobený za použití běžného vstřikování
vpravo: simmering vyrobený pomocí CTR

3 Lisování technické pryže

Pro lisování kaučukové směsi je známo několik způsobů. Vulkanizace může probíhat např. v přímé páře při teplotě 150 °C, ve vodě, v horkém vzduchu, kontinuální vulkanizace v komorách či tunelech, v bubnech. Nejčastějším způsobem je vulkanizace v lisech při teplotě 150 – 210 °C.

Nejvíce známé a používané druhy lisování pryže jsou:

- Klasické tlakové lisování – do otevřené formy a do otisku výrobku se vloží pryžová nálož a provede se zális.
- Přetlakové lisování – nálož se vloží do komory nad formou, forma se zavře a materiál se přetlačí z komory přes trysky do otisků formy.

- Vstřikování – do otisků formy, která je uzavřená, se tryskou vstříkne pryžová směs, která je již přehřátá na danou teplotu v komoře se šnekem. Tento proces bývá automatizován. [1]

3.1 Vstřikování (Injection moulding)

Patří mezi nejrozšířenější metody vstřikování plastů. Je to proces cyklický a diskontinuální. Touto technologií lze zpracovávat veškeré druhy termoplastů, v některých případech lze zpracovávat i reaktoplasty a kaučuky. Tato výroba má velké počáteční náklady v podobě lisů, ale také forem. Na formy jsou kladeny velice vysoké požadavky, jelikož odolávají velkým výkyvům teplot a vysokým tlakům. Důležitá je volba materiálu formy, protože výrobky musí být lehce vyndavatelné, materiál nesmí mít velkou teplotní roztažnost, závisí také na druhu zpracovávaného materiálu. Důležité je určení rozměrů a tvarových tolerancí. Automatizace a zkrácení času zálisu je však ekonomicky výhodná. Materiál v podobě šňůry je našnekován do komory, kde se přehřeje na teplotu 180 – 210 °C, tryskou se vstříkne tlakem 100 – 200 MPa do uzavřené formy, která je zavírána tlakem 20 – 1000 tun. [2] [3]



Figure 4 Průřez formou

3.2 Materiály pro vstřikování

3.2.1 Kaučuk

Patří do skupiny polymerů. Musí se vytvrdit, aby se sesířovaly molekuly syntetického i přírodního kaučuku, tento proces se nazývá vulkanizace. Tato chemická reakce probíhá při teplotách pohybujících se kolem 200 °C. Do polymerů se přidávají různá činidla, zásadním činidlem pro vulkanizaci je vulkanizační činidlo – např. síra. Síra spojuje molekuly polymeru tzv. sírnými můstky. Produktem vulkanizace kaučuku je pryž, která vyniká dobrými mechanickými vlastnostmi. Pryže jsou chemicky stálé při některých chemických reakcích, nepropouští vodu, odolávají tahovému namáhání, jsou pružné, mají velkou elastickou deformaci a jsou odolné cyklickému namáhání. [4]

3.2.1.1 NBR butadienakrylonitrilový kaučuk

NBR je emulzní kopolymer butadienu a akrylonitrilu polymerovaný za tepla (HOT NBR) a nebo za studena (COLD NBR). HOT NBR má vyšší stupeň větvení, což má za následek špatné tečení, ale naopak zlepšuje adhezi a zvyšuje pevnost nevulkanizované směsi. Molekuly COLD NBR se tolik nevětví, což způsobuje menší viskozitu, a proto se s tímto materiálem pracuje lépe než s HOT NBR. Tento kaučuk je lépe míchatelný s plnidly a změkčovadly, je také ekonomicky výhodnější z hlediska úspory energie, která se spotřebovává při zpracování, vytlačování a vstřikování. Patří mezi kaučuky, které se používají pro speciální aplikace. Další podskupinou, do které ho můžeme zařadit, je olejvzdorný kaučuk. Od kaučuků na všeobecné použití se liší zejména svou polaritou, kterou mu zaručuje obsah akrylonitrilu, jehož koncentrace se pohybuje mezi 18 - 45%. S rostoucím obsahem akrylonitrilu se zvyšuje odolnost proti uhlovodíkům, ale klesá ohebnost za nízkých teplot a zlepšuje se odolnost proti stárnutí za tepla. Jelikož je polární, je málo odolný proti ostatním polárním kapalinám – rozpouštědlům jako jsou ketony, estery, benzen, toluen. Přímý kontakt s alkoholem způsobuje bobtnání. NBR je nejlevnější olejvzdorný elastomer. Své uplatnění nachází zejména na ropných polích, v zemědělské a stavební technice.

3.2.1.1.1 FKM fluorokaučuk

Jsou to kopolymery odvozené od vinylidenfluoridu a hexafluorpropylenu. Obsah fluoru se pohybuje obvykle v rozmezí 66 – 77 %. S vyšším obsahem fluoru se zvyšuje i odolnost proti kapalinám. Tyto fluorokaučuky jsou nejodolnější proti mazivům, palivům, oxidaci, ozonu, odolávají též minerálním kyselinám s vysokou koncentrací. Mají vysokou tepelnou odolnost díky pevnosti ve vazbě C – F. Jsou odolné také většině agresivních chemikálií. Při styku s polárními rozpouštědly (ethery, estery, ketony) mohou bobtnat. Křehnutí a tvrdnutí je příčinou styku fluorokaučuku s alkáliemi a aminy. Své uplatnění najde v leteckém průmyslu, automobilovém i v jiném mechanickém průmyslu. [5][12]

Příklady různých materiálů používané v FST s. r. o. jsou uvedeny na Fig. 5.



Figure 5 Druhy materiálů používané v FST s. r. o.

3.2.2 Přísady do kaučukových směsí

Samotný kaučuk je pro výrobu nepoužitelný. Kaučuková směs vhodná pro výrobu se získá přimícháním přísad. Tímto procesem se ovlivňují vlastnosti kaučuku a následné využití.

Vulkanizační činidla

Umožňují v krátkém čase vznik příčných vazeb mezi kaučukovými molekulami, jde o tzv. sesíťování, kdy vznikne trojrozměrná síť, produktem sesíťování je pryž. Sesíťováním = vulkanizací vzniká směs vhodná k tváření.

Síra

Pro materiál NBR, který má ve struktuře dvojnou vazbu, se používá síra, která je nejstarším a nejpoužívanějším vulkanizačním činidlem. Je používána také pro nízkou cenu, možnost řízení kinetiky, délky vazeb mezi řetězci, zlepšuje vlastnosti pryže při dynamickém namáhání a možnost vulkanizace při kontaktu s kyslíkem. Můžeme mít různou velikost zrn. Síra použitá s olejem snižuje prašnost a zlepšuje dispergaci (rozptýlení). Síra po chemické reakci vytváří sírné můstky, tyto sesíťované kaučuky vynikají vysokou elasticitou a rozměrovou stálostí.

Peroxidy

Sírou se nemůžou vulkanizovat nasycené kaučuky, proto je vhodné použití peroxidů, které jsou organického původu, a které jsou teplotně stálé jak při skladování, tak i při zpracování. Peroxidy jsou použitelné pro některé druhy fluorokaučuků. Dalším důležitým faktorem je rychlost rozpadu při vulkanizaci. Nejpoužívanější jsou dyalkylperoxydy, t-butyl peroxiketaly a dykumilperoxid. Mezi výhody použití peroxidů se řadí skladování směsí, aniž by se navulkanizovaly, vysoká rychlost vulkanizace bez reverze, proces vulkanizace probíhá bez zbarvení materiálu a bez vykvétání přísad a přispívá k dobrým elektrickým vlastnostem.

Aktivátory

Jsou to organické a anorganické chemikálie, které zkvalitňují proces vulkanizace a to tak, že za stejných podmínek, při kterých vulkanizace probíhá, je vytvořeno více příčných vazeb mezi molekulami kaučuku. Nejčastěji aplikovaným aktivátorem je ZnO.

Urychlovače

Urychlují proces, jelikož vulkanizace sírou je velice pomalá a výsledek je nežádoucí, chybí odolnost proti stárnutí a pevnost většinou bývá nevyhovující. Kombinací urychlovačů je možno řídit průběh síťování, umožňují řídit vlastnosti vulkanizátu díky řízení síťování a dovolují přidávat organická barviva a také vyrábět transparentní výrobky. Rychlejší urychlovače dovolují snížit teploty vulkanizace a obsah síry.

Retardéry

Zvyšují zpracovatelskou bezpečnost kaučukové směsi, ale mohou zpomalovat průběh vulkanizace. Jsou to kyselina salicylová a anhydridy organických kyselin.

Inhibitory

Zlepšují bezpečnost, odstraňují navulkanizování gumárenské směsi, ale nezpomalují průběh vulkanizace. Dovolují míchat směs jednostupňově namísto dvojstupňového míchání. Také umožňují míchání směsí za vyšších teplot.

Antidegradanty

S postupem času a působením vnějších činitelů, jako jsou např. kyslík, ozón, teplota, únava při dynamickém namáhání, ztrácí vulkanizát své vlastnosti. Kyslík a ozón napadá snáze dieny kaučuky (NBR), proto jsou k dostání NBR kaučuky již s navázanými antidegradanty

v polymernímu řetězci. Každý antidegradant má svůj rozsah možností. Obecně je dáno, že antidegradanty, které málo zabarvují vulkanizát, mají menší účinek proti degradaci než antidegradanty, které jsou schopny směs silně zabarvit. Dělí se do dvou velkých skupin:

Antiozonanty

Jsou látky, které s ozónem reagují jen na povrchu výrobku, tudíž samotný ozón nemůže proniknout do dalších vrstev. Vzniká tenká tvrdá vrstva ozonitu, která pokrývá povrch elastického výrobku. Při volbě antiozonantu je nutno brát v úvahu budoucí použití výrobku, zda-li bude namáhán dynamicky či staticky. Při dynamickém namáhání je používána kombinace vosků s deriváty parafenylendiaminu. Při statickém namáhání jsou použity ropné vosky, které putují na povrch výrobku, kde vytvoří tvrdou vrstvu, ta ovšem neodolává dynamickému namáhání.

Pryskyřice

Jejím přidáním do vulkanizátu se zlepší konfekční lepivost a samotná zpracovatelnost, jelikož zmírňují viskozitu. Nejpoužívanější jsou fenolformaldehydové pryskyřice, se kterými se může dosáhnout vysoké tuhosti a tvrdosti vulkanizátu.

Plniva

Mohou tvořit až 30% gumárenské směsi, tudíž silně ovlivňují její požadované vlastnosti. Plniva se přidávají do směsi tehdy, pokud chceme snížit cenu, pokud je potřeba ovlivnit tvrdost, obrusivost, strukturní pevnost, tlumení vibrací, elektrickou vodivost, barvu, adhezi a propustnost plynů. Přidáním plniv do směsi pro výrobu pneumatik se změní životnost z 2 000 km na 50 000 km. Pokud plnidla netvoří jen zlevňující složku, ale dokáží zlepšit vlastnosti dané směsi, nazýváme tento proces ztužení. Podle ovlivnění vlastnosti se plnidla zpravidla dělí na tři skupiny – ztužující, poloztužující a neztužující.

Saze

Jsou velmi velkou, významnou a nejdůležitější skupinou plniv. Saze jsou amorfní a grafitický uhlík. Mají černou barvu, proto je mnoho gumárenských směsí černých. Černá barva také výborně pohlcuje UV záření a chrání produkty před degradací slunečním zářením.

Změkčovadla

Složení není přesně definováno, jelikož jde většinou o různé chemické směsi. Většinou jde o kapaliny a nízkomolekulární pryskyřice, narušují síly v mezimolekulárním řetězci, rozpouštějí se ve směsi a tím zvyšují plasticitu.

[1][6][12]

4 Korozivzdorné oceli

Jedná se o velkou skupinu materiálů, která se člení do menších podskupin. Všechny se vyznačují přesným chemickým složením, minimálním obsahem chromu 12%, obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí od 0,01% až 1,0% u martenzitických ocelí. Patří mezi vysoce legované oceli, hlavní legující prvky jsou Ni (až 30%), Mn (až 24%), Mo a Cu, jako další se k legování používají Si, Al, Ti, Nb, Ta, W, V a N, jejich výskyt se pohybuje v řádech %. Cr, Ni a Mo zvyšují korozivzdornost. Nb a Ti snižuje mezikrystalickou korozi. Dusík se přidává za účelem zvýšení pevnosti.

4.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí dle struktury

- Austenitická struktura
- Feritická struktura
- Martenzitická struktura
- Precipitačně vytvrditelné
- Dvofázové struktury

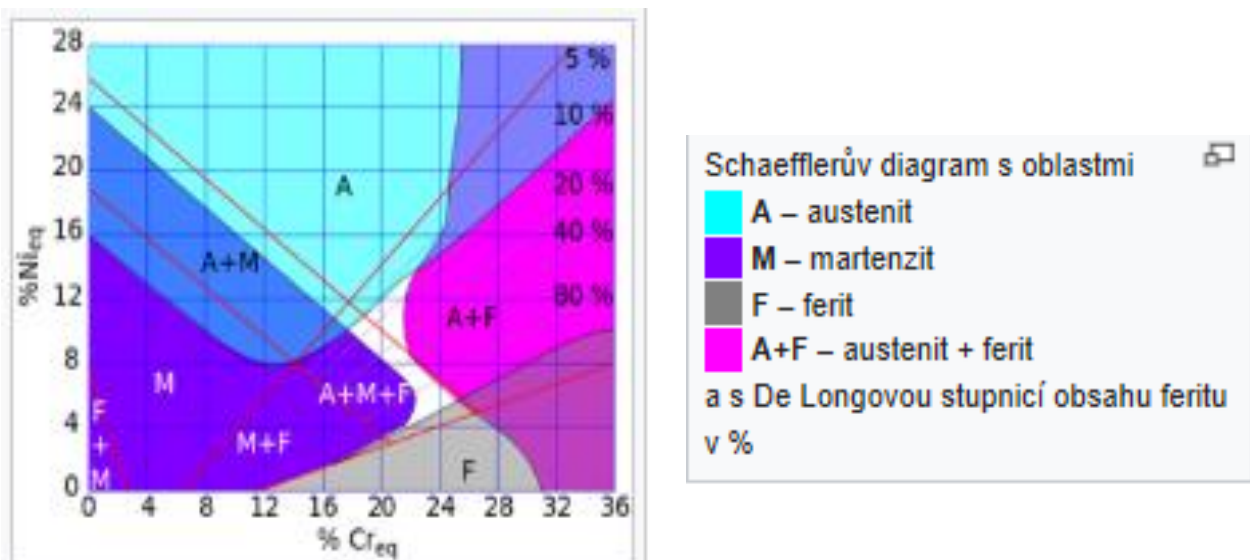


Figure 6 Schaefflerův diagram

Pro odhad výsledné struktury lze použít např. Schaefflerův diagram (Fig. 6.) zkonstruovaný pomocí ekvivalentů Cr a Ni.

4.1.1 Austenitická struktura

Patří mezi paramagnetické oceli, ale může se u nich objevit i slabý feromagnetismus, který způsobuje zbytkový obsah feritu δ , přestože se pohybuje v nízkých hodnotách 3 – 10 %. Pro jejich strukturu je typická plošně středěná kubická mřížka. U těchto ocelí se obsah C obvykle pohybuje pod 0,15 %. Austenitické oceli jsou vysoce legované. Celkové korozní odolnosti dosáhneme legováním Cr, Mo, Cu, Si a Ni, mechanické vlastnosti pozitivně ovlivňuje N, dobrou obrobiteľnosť má za následok S, Se, P, Pb, Cu, legováním Mo, Si, N lze získat lepší odolnost proti bodové a mezištěrbinové korozi. Austenitotvorné prvky jsou ty, které otevírají oblast austenitu, hlavním prvkem je Ni a další jsou Mn, Cu, C, a N. Austenitické oceli nejsou kalitelné, pro dosažení jejich optimálních vlastností je důležitá jemnozrnná struktura. Disponují nízkou mezí kluzu, která se pohybuje v rozmezí 230 – 300 Mpa, vysokou houževnatostí, která dosahuje hodnot až $240 J \cdot cm^2$ a tažnosť 45 – 65 %. Díky dobré tažnosti jsou austenitické oceli vhodné k tváření za studena, po tomto zpracování je možno dosáhnout meze kluzu až na 510 – 960 Mpa. Tento druh korozivzdorné oceli se používá v potravinářském průmyslu, jelikož dobře odolává roztokům soli, masu i krvi. Jejich cena je vysoká díky velkému obsahu Ni.

4.1.2 Feritická struktura

Tyto oceli s prostorově středěnou mřížkou obsahují C do 0,8%. Tato skupina se dále ještě rozděluje podle obsahu chromu. Oceli s obsahem Cr 11,5 – 13,5 % a C do 0,08% mají nízkou korozní odolnost, legují se feritotvornými prvky Al, Ti, Nb. Skupina s vyšším obsahem C 1,0 % a s přítomností Cr 16 – 18% dosahuje větší korozní odolnosti a dolegováním 1% Mo se odolnost proti korozi ještě zvýší. Feritotvorné prvky zvětšují oblast přítomnosti feritu, hlavní prvek je Cr, další představitelé jsou Mo, Si, Ti, Al, Nb, Be, V, W atd. Běžně se zpracovávají v intervalu teplot od 750 do 900 °C, jsou typické strukturou, nejsou schopné zakalení na martenzitickou strukturu, jelikož v důsledku nízkých teplot nedosáhnou přeměny na austenit. Ale s ohřevem nad 900 °C a výskytem chromu v rozmezí 13 – 16% lze docílit vzniku austenitu, po následném ochlazení se vytvoří z části struktura martenzitu. Tyto oceli jsou pak poloferitické. Mezi zápory feritických ocelí se řadí nízká mez kluzu, nízká plasticita, tranzitní chování a sklon ke křehnutí. Za jejich výhodu lze považovat oproti CrNi austenitickým ocelím jejich výbornou odolnost k transkrystalové korozi

při mechanickém namáhání. Feritické oceli najdou své uplatnění při výrobě výfukových zařízení, rekuperátorů, málo namáhaných tepelných součástí, topných odporů, atd.

4.1.3 Martenzitická struktura

Vzniká z rychlého ochlazení austenitické oceli. Je feromagnetická, pevnost jde zvýšit kalením. Známe dvě kategorie, které se odvíjí od obsahu uhlíku – nízkoobsahové a vysokoobsahové. Vysokoobsahové martenzitické oceli nelze vůbec svařovat, nízko obsahové lze svařit jen za určitých podmínek. Martenzitické oceli lze i po kalení vyžíhat při teplotě 600 – 750 °C pro získání feritické struktury a karbidy, také můžeme dosáhnout pevnosti v tahu až 2000 MPa zušlechťováním (kalení a popuštění). Mezi nejčastěji používané martenzitické korozivzdorné oceli patří oceli s obsahem uhlíku do 0,15% a chromu do 11,5% – 13,5%. Tato ocel má velice dobré mechanické vlastnosti a dobrou korozní odolnost. Martenzitickou ocel často používají nožíři, jedná se o ocel s obsahem uhlíku od 0,2% do 0,4% a chromem od 12% do 14,5%, toto složení zaručí dostatečnou tažnost a zároveň i tvrdost. Společná vlastnost všech korozivzdorných ocelí je křehnutí, ke kterému dochází při ohřevu na teploty od 350 °C do 550 °C, je vhodné se těmito teplotám při tepelném zpracování vyvarovat. Zakalené a nízkoteplotně popuštěné martenzitické chromové oceli jsou velice odolné abrazivnímu opotřebení. Tyto oceli nachází svá uplatnění v energetickém a chemickém průmyslu, vyrábí se z nich chirurgické nástroje, čerpadla, parní turbíny či kuličková ložiska. [7][8]

4.1.4 Dvofázové struktury

Dvofázové oceli neboli duplexní struktury zastupují dvě skupiny Austenito-feritické a Feriticko-martenzitické oceli. Nejrozšířenějším typem duplexních ocelí jsou A-F oceli. Tato skupina ocelí se vyznačuje přesným chemickým složením stejně jako ostatní. Duplexní neboli dvofázová ocel obsahuje dvě fáze ferit a austenit. Složky se vyskytují obvykle v poměru 50:50. Obsah feritu se ale může měnit od 30 do 50% a to v závislosti na podílu feritotvorných či austenitotvorných prvků. Neoptimálnější podíl feritu je 40 – 50%, při kterém dosahuje výborných mechanických vlastností, zejména pak pevnosti a houževnatosti. Struktura duplexních ocelí je tvořena jemnějším zrnem, čímž lze dosáhnout vyšší meze kluzu, a to v rozmezí 400 – 500 MPa. Všeobecně kombinují výhody jak feritických, tak i austenitických ocelí. Vynikají podstatně lepší obrobitelností než jen austenitické oceli, zvýšenou odolností proti koroznímu praskání. Nevýhodou této skupiny ocelí je dlouhodobé vystavování v intervalu teplot 700 – 1000 °C, kdy dochází k vytvrzování a následnému křehnutí. Pro většinu těchto duplexních ocelí je typické toto chemické složení Cr

22 -23%, 4,5 – 6,5% Ni a 3 – 3,5% Mo. Jelikož je snížen obsah Ni, jsou i cenově dostupnější. Tyto oceli najdou využití hlavně v chemickém, petrochemickém a jaderném průmyslu.

4.1.5 Precipitačně vytvrditelné oceli

Jedná se především o austeniticko-martenzitickou strukturu, popřípadě plně martenzitickou. Precipitačním vytvrzováním dosahujeme lepších mechanických vlastností jako jsou vysoké hodnoty tvrdosti, meze pevnosti a meze kluzu až 1400 MPa. Vytvrzovací charakter C je nahrazen prvky schopnými tvořit ve struktuře oceli intermetalické sloučeniny Mo, Cu, Al, Ti, Nb a V. Korozní odolnost zůstává stejná jako u ostatních korozivzdorných ocelí. Tato skupina ocelí najde využití v jaderné energetice, pro výrobu lopatek parních turbín, ventilátorů, tryskových motorů atd.

4.2 Kalitelná chromová ocel – x46cr13

Tato vysoce legovaná ocel se řadí do skupiny chromových kalitelných ocelí s martenzitickou strukturou. Chemické složení těchto ocelí je závislé na obsahu chromu rozpuštěného v tuhém roztoku. Je potřeba zaručit minimální obsah Cr pro vytvoření pasivace na povrchu. Pasivace je tedy podmíněna $Cr = 11,74\% + 14,5\% C$. Cr se také váže na C. a vytváří karbid. Pro oceli s nižším % C je optimální obsah Cr 12 -14%, pro vyšší obsah C je typický obsah Cr 14 -16%. Díky vyššímu obsahu C disponuje tento materiál vysokou tvrdostí 52 – 54 HRC, které dosáhne po tepelném zpracování, proto se používá na výrobu řezných nástrojů, ložisek, pružin, šroubů, pístů. Je uznáván jako vysoce tvrditelný materiál s výbornou odolností proti korozi, to se využívá při výrobě ventilů, plastikářských forem, chemickém, petrochemickém a potravinářském průmyslu. Se zvýšeným obsahem C se však snižují plastické vlastnosti a svařitelnost. Uvažovaná ocel disponuje vysokou

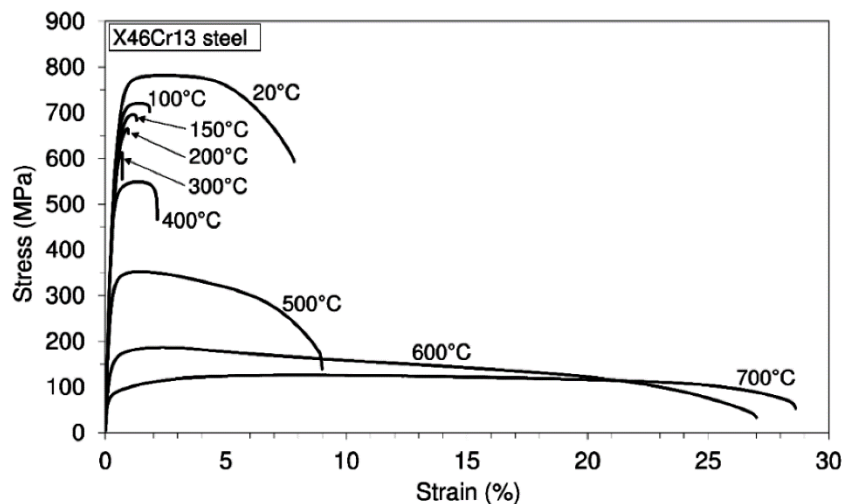


Figure 7: Diagram napětí a deformace při různých teplotách oceli: X46Cr13.

pevností v tahu (781 Mpa) a vysokou mezí kluzu (657 Mpa) při pokojové teplotě. Dále také vykazuje vysoké hodnoty modulu pružnosti (220 GPa). S růstem teplot hodnoty zmíněných vlastností klesají(Fig. 7). [13]

5 Opotřebení

„Opotřebení je nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles, způsobená buď vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu a media. Projevuje se jako odstraňování nebo přemístování částic hmoty z funkčního povrchu mechanickými účinky, případně doprovázenými i jinými vlivy (např. chemickými, elektrochemickými nebo elektrickými). V provozních podmínkách konkrétních strojů a zařízení je možné se setkat se situací, kdy působí současně více druhů opotřebení.“ (Prof.Ing. Jan Suchánek, 2017)

Existuje 6 základních druhů opotřebení: (Fig. 8, 9)

- Adhezivní
- Abrazivní
- Erozivní
- Kavitační
- Únavové
- Vibrační

[12]

5.1 Adhezivní opotřebení

K tomuto opotřebení dochází, pokud na sebe působí dvě tuhá tělesa smykem a jsou k sobě přitlačována normálovou silou. Díky tomuto působení dochází k narušování povrchových vrstev obou těles a začíná iniciace mikrospojů. Tuto iniciaci doprovází i ohřev materiálu v místě styku, což může mít za následek vznik chemicky vhodného prostředí pro reakci kovu a okolního prostředí. Tento proces může zvýšit rychlost opotřebení. Zvyšuje se difuze. Ta přenáší částice měkčího materiálu na povrch tvrdšího materiálu. Přenesené částice vytváří nespojitý povlak na povrchu tvrdšího materiálu. Velikost opotřebení ovlivňuje zatížení kontaktní dvojice, volba materiálu a povrch obou kontaktních materiálů. Vzniku adhezivního opotřebení se předchází přidáním maziv. Mazivo působí jako chemická ochrana povrchů a odděluje kontaktní plochy. Adhezivním opotřebením je například kolo a kolejnice, kluzká ložiska, čepy.

5.2 Erozivní opotřebení

U tohoto druhu dochází k oddělování materiálu z povrchu součásti vlivem částic, které unáší kapalina nebo plyn. Také částice samotné kapaliny, páry či plynu mohou mít za následek totéž opotřebení.

5.3 Kavitační opotřebení

Kavitační opotřebení můžeme nalézt u strojů, které pracují v kapalinách. Kavitace je vznikání dutin v kapalině při poklesu tlaku. Kavitačně poškozený povrch je drsný.

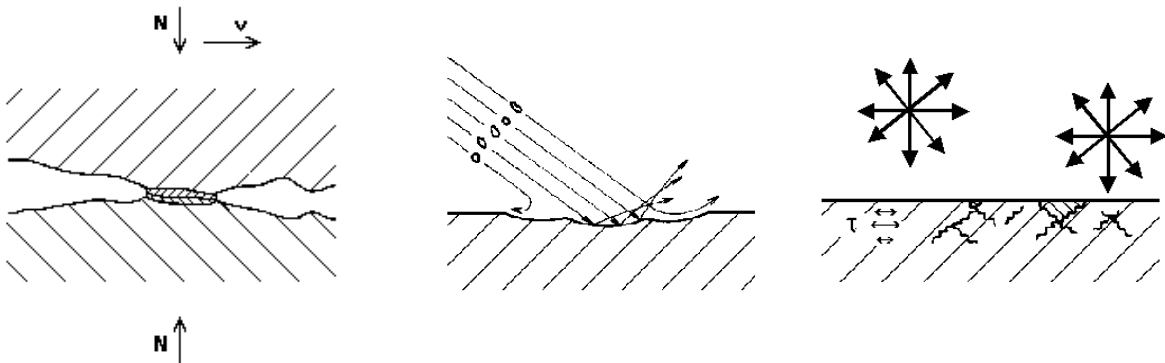


Figure 8 Druhy opotřebení
Zleva: adhezivní, erozivní a kavitační opotřebení

5.4 Únavové opotřebení

Vzniká při dlouhodobém, cyklickém kontaktu dvou těles. Činitelé tohoto opotřebení jsou lokální tlaky, skluz a tření nebo vada materiálu či nevyhovující technologický postup. Vznikají mikrotrhliny a poté se materiál vydroluje. Poškození se projevuje pittingem, kdy vznikají oblé jamky na povrchu funkční plochy. Dalším druhem projevu této únavy je spalling, kdy se odlupuje slabá povrchová vrstva materiálu.

5.5 Vibrační opotřebení

Tangenciální pohyb je příčinou vibračního opotřebení u dvou těles, které se stýkají dvěma plochami. Amplituda těchto sil bývá velice malá, dosahují řádových hodnot 10^{-4} až 10^{-1} mm. Často bývá zaměňováno s korozí, jelikož se projevuje změnou barvy materiálu na styčných plochách součástí.

5.6 Abrazivní opotřebení

Při abrazivním opotřebení dochází k oddělování částic materiálu z povrchu součásti. Vzniká, pokud na sebe silově působí tvrdé částice a funkční povrch součásti. Tento druh opotřebení je typický pro své rýhování na povrchu předmětu, které způsobují právě abrazivní částice. Šířka rýhy bývá přibližně 10% - 20% průměru částice. Nejčastěji vzniká u dvou těles, která se vyznačují velice drsnými povrchy nebo pokud mezi těmito stykovými ploškami je unášen materiál, který obsahuje tvrdé částice. Uvádí se, že přes 50% opotřebení strojních součástí je způsobeno právě abrazivním opotřebením. Je možné vyzkoušet různá opatření, např. utěsnit spoje součástí, a tak zamezit vstupu abraziva z okolí, zvolit jiný materiál nebo použít jinou povrchovou úpravu. [9][10]

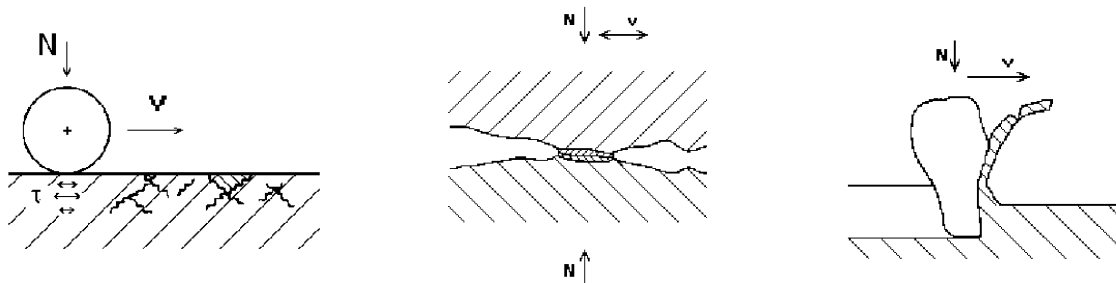


Figure 9 Druhy opotřebení
Zleva únavové, vibrační a abrazivní opotřebení

Příčiny vzniku opotřebení

- Účinkem tvrdých částic – vzniká při vzájemném působení tvrdých částic, dochází k oddělování částic a k jejich přemísťování. Tyto částice se mohou volně pohybovat nebo být ve vázané formě, příkladem je brusný papír.
- Přítomnost tvrdých částic mezi funkčními plochami – tento druh opotřebení se objevuje v případech, kdy funkční plochy jsou v pohybu. Mezi tyto špatně utěsněné plochy vnikají nečistoty, které mají abrazivní účinek.

Parametry, které ovlivňují abrazivní opotřebení:

OPOTŘEBOVÁVANÁ SOUČÁST :

- Tvrdost v jádře
- Povrchová tvrdost

- Tvrdost deformované struktury
- Mikrostruktura: velikost zrna, tvar a orientace tvrdší fáze

ABRAZIVO:

- Tvrdost
- Množství
- Tvar
- Velikost
- Pevnost

PARAMETRY DOTYKU :

- Zatížení
- Relativní rychlost
- Nominální dotyková plocha
- Prostředí : voda, vzduch, mazivo, teplota

VÝSLEDNÉ PARAMETRY:

- Poměrný otěr
- Koeficient opotřebení
- Koeficient tření
- Topografie povrchu
- Průběh tvrdosti do hloubky
- Specifická energie

Odolnost proti opotřebení vychází z vlastností použitého materiálu. Z poznatků vyplývá, že vlastnosti odolného materiálu závisí na struktuře, která by měla být heterogenní a tvořena tvrdými složkami. Struktura by se neměla měnit, i když na ní působí tření a ráz.

Vliv tvrdosti abrazivních částic – pokud je abrazivo tvrdší než povrch součásti, částice snáze pronikají do jejího povrchu a intenzita opotřebení se zvětšuje.

Vliv tvaru abrazivních částic – částice s ostrými hranami mají za následek mnohem větší opotřebení než abraziva se zaoblenými hranami.

Vliv pevnosti abrazivních částic – pokud mají částice nízkou pevnost, dochází k jejich štěpení a otupení hran. Zároveň vznikají odlomením nové částice s ostrými hranami.

Vliv velikosti abrazivních částic – k opotřebování dochází, pokud je abrazivo větší, než vůle mezi funkčními povrchy.

Vliv množství abrazivních částic – pokud je abraziva hodně, dochází ke shlukování. Poté dochází k abrazivnímu opotřebení i tehdy, pokud jsou neshluklé částice menší než vůle mezi povrchy. [11]

5.7 Abrazivní opotřebení komponentů Cold tube runner

Nástřiková hlava s jádrem uvnitř se pohybuje s každým zálisem, tudíž jsou komponenty vystaveny namáhání každou minutu, co probíhá zális. Abrazivní opotřebení na povrchu jádra a vnitřní straně nástřikové hlavy vzniká již po několika zálisech, protože vůle mezi nástřikovou hlavou a samotným jádrem je 3 – 4 setiny milimetru. Při vniknutí abrazivních částic vzniká tedy nežádoucí abrazivní opotřebení. Toto opotřebení má za následek nekvalitní lisování. Jádro dosedá křivě na formu, křivě je nástřikován materiál a jsou lisovány zmetkové kusy simmerringů.

6 Experimentální část

6.1 Experimentální materiál

Vlastní experimentální program se týkal dvou komponent vstřikovacího systému CTR – jádra a nástřikové hlavy (Obr. 2.) a k dispozici byl díl jak originální výroby od Freudenbergu, tak i díl vyrobený jako náhrada za opotřebované dílce od firmy Louda Alform.

Předepsaným materiálem obou komponent je ocel X46Cr13 (Tab. 1), jedná se o vysokolegovanou martenzitickou nerezavějící ocel, která nabízí kombinaci vysoké tvrdosti a odolnosti proti korozi. Protože se tato ocel ve firmě již dříve osvědčila, je stále používána na formy pro vstřikování kaučuku i v současné době. Finální tepelné zpracování materiálu má zajistit požadovanou a předepsanou tvrdost povrchu vyšší jak 50 HRC (Fig. 10)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0,43 – 0,50	Max 1	Max 1	Max ,040	Max 0,015	12,5 – 14,5

Table 1 Chemické složení X46Cr13

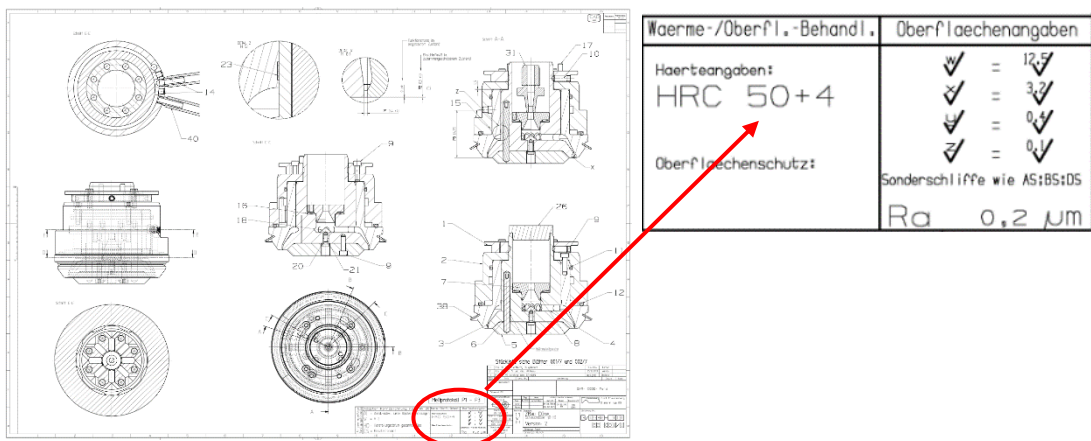


Figure 10: Výkresová dokumentace sestavy a detail předepsané tvrdosti

6.2 Experimentální metody

6.2.1 Měření tvrdosti

Dílce byly podrobeny měření tvrdosti jednak podle Rockwella dle normy ČSN-EN-ISO-6508-1, a jednak podle Vickerse dle normy ČSN-EN-ISO-6507-1. K provedení měření podle Rockwella byl použit univerzální tvrdoměr EMCOTEST M4C 075/750 (Fig. 11) s rozsahem zatěžovacích sil 9,8 -7350N, pro metodu dle Vickerse to byl LECO V-100-C s rozsahem zatěžovacích sil 10 – 500N. Naměřené hodnoty byly porovnány s výkresovou dokumentací.



Figure 11: Jádru CTR měřeno na tvrdoměru EMCOTEST M4C 075/750

6.2.2 Kontrola geometrie

Kontrola geometrie byla provedena na Ústavu technologie, projektování a metrologie. Dílec od firmy Louda Alform byl změřen podle výkresové dokumentace na souřadnicovém měřícím stroji Carl Zeiss Prismo (Fig. 12) a aktivním skenovacím systémem Vast Gold. V tomto případě se kontrolovala válcovitost a kolmost součásti, která je předepsána a uvedena na výkrese součásti.

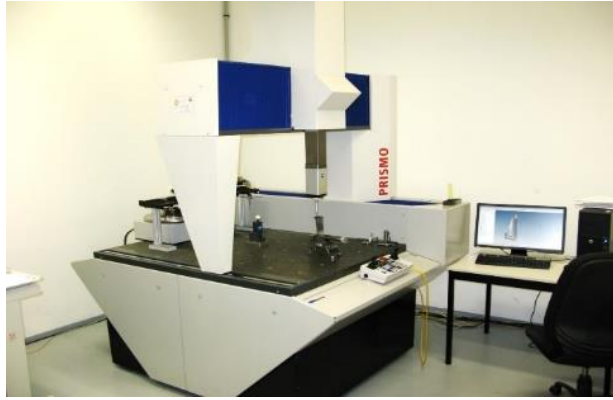


Figure 112 Zleva: Souřadnicový měřicí stroj Carl Zeiss Prismo, jádro CTR připravené k měření

6.2.3 Metalografická technika

Příprava vzorku

Pro tuto část experimentu byl použitý dílec, na kterém byla naměřena nejmenší tvrdost – vzorek č. 1 (Fig.13). Vzorek byl odříznut z nástřikové hlavy CTR, v místě s viditelným poškozením.



Figure 13 Vzorek č. 1 -Vyříznutá část nástřikové hlavy i s abrazivním opotřebením

Zkušební vzorek č. 2 o velikosti 5 x 10 mm byl odříznut na kotoučové pile z většího vzorku č. 1 (Fig. 14). Následoval proces čištění, oplach vodou a lihem, sušení a následně obroušení ostrých



Figure 14: Příprava vzorku č. 2

hran, které vznikly při řezání. Takto připravený vzorek byl vložen do lisu LECO PR-4, kde se vzorek zasypal granulovaným bakelitem a za působení vysoké teploty 180 °C a vysokého tlaku 180000 KPa byl po 15 minutách zhotoven funkční vzorek připravený k experimentu(Fig. 15).

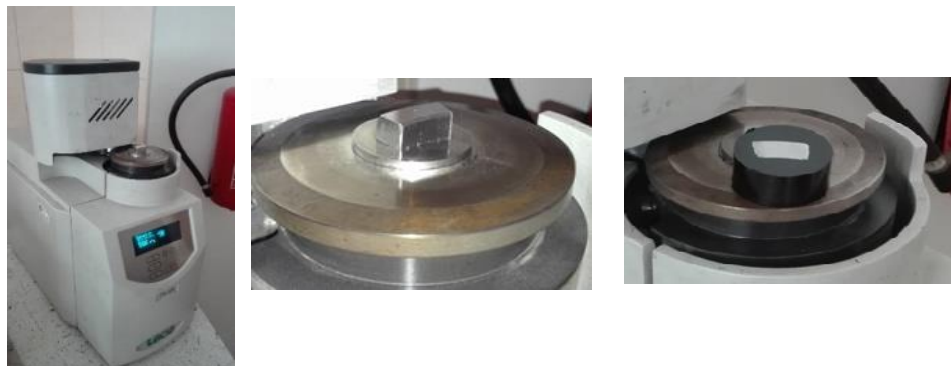


Figure 15 Příprava vzorku č. 2 k výbrusu a leštění

Po této přípravě následovalo broušení a leštění na přístroji LECO GPX 300 Nejprve se vzorek materiálu brousil nejhrubším papírem č. 80, následně pak č. 180, č. 220, č. 320, č. 600, č. 800 a č. 1000. Leštění se provádělo na leštičce za použití leštícího papíru, siliky a smáčedla. Povrch vzorku bylo nutné vybrousit a vyleštit, aby byl dokonale hladký bez rýh (Fig.16).



Figure 16: Zleva: Přístroj na broušení, přístroj na leštění a leštění vzorku

Jelikož po mechanickém broušení a leštění je struktura zakryta tvářenou vrstvou, musí se proto tato vrstva chemicky odstranit leptáním. Leptání se provádí ponořením vzorku do leptacího činidla.

6.2.4 Mikroskopické pozorování

Pro zobrazení struktury materiálu byl použit metalografický mikroskop Zeiss Neophot 32, který umožňuje zvětšení od 25x do 1000x , při použití imerzních objektivů až 1200x. Lze využít metody pozorování ve světlém poli, tmavém poli a pomocí polarizovaného světla.

Analýza povrchových stavů se prováděla na stereomikroskopu Nikon SZM 1500 vybaveném CCD kamerou.

7 Výsledky a jejich diskuze

Na uvedených dílech vstřikovacího zařízení byly provedeny testy dle Tab. č.2

Díl	Měření tvrdosti	Kontrola geometrie	Metalografie	Světelná mikroskopie
Freudenberg	Ano	Ne	Ano	Ano
Louda Alform	Ano	Ano	Ne	Ne

Table 2: Přehled testů

Ale již samotný vizuální pohled na poškozené dílce potvrzuje abrazivní opotřebení na površích obou součástí. Rýhy se zřetelně vyskytují ve směru pohybu jádra v nástřikové hlavě po celém obvodu dílce (Fig. 17, 18).

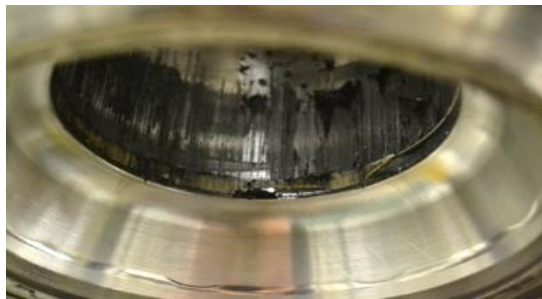


Figure 17 příklad opotřebení součásti - NÁSTŘIKOVÁ HLAVA



Figure 18 Příklad abrazivního opotřebení součásti - JÁDRO

Detailní pohled pod stereomikroskopem vzorku č. 1 dokumentuje intenzitu i rozměry poškození (Fig. 19).

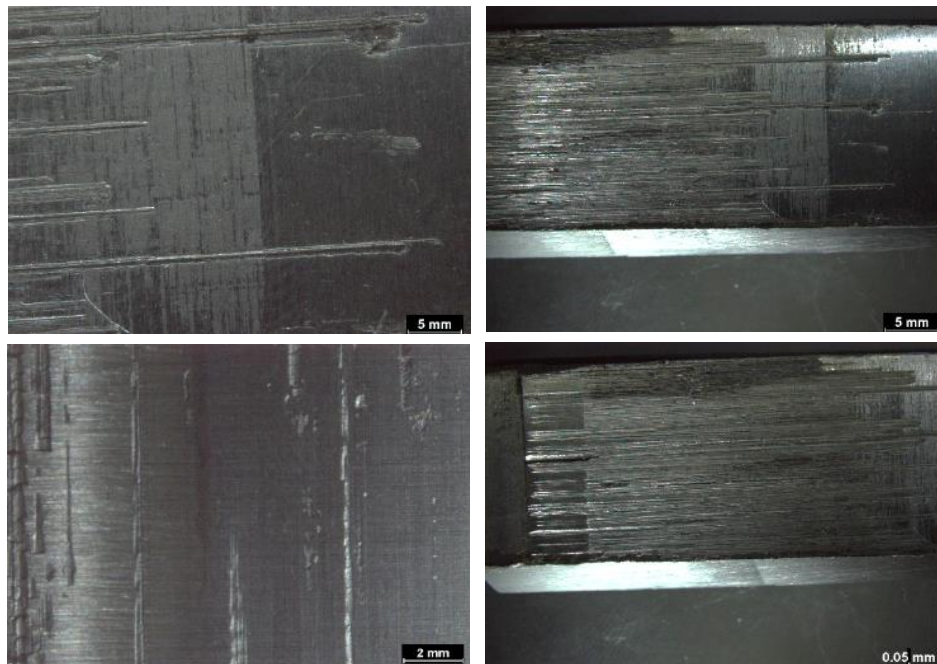


Figure 19: Detaily abrazivního opotřebení na vzorku č. 1

Možná existence abrazivních částic, které by způsobily tento typ poškození, byla kontrolována v materiálu těsnících kroužků kaučukových směsí. Ten je ve formě provazce přiváděn do zařízení, kde je před vlastním vstříkem nataven šnekováním. Na Fig. 20 je zachycena struktura kaučuku před natavením, kde jsou patrné drobné částice, které zřejmě souvisí s možnými přísadami vlastní směsi. Rozměry částic odpovídají nejjemnějším rýhám na dílci.

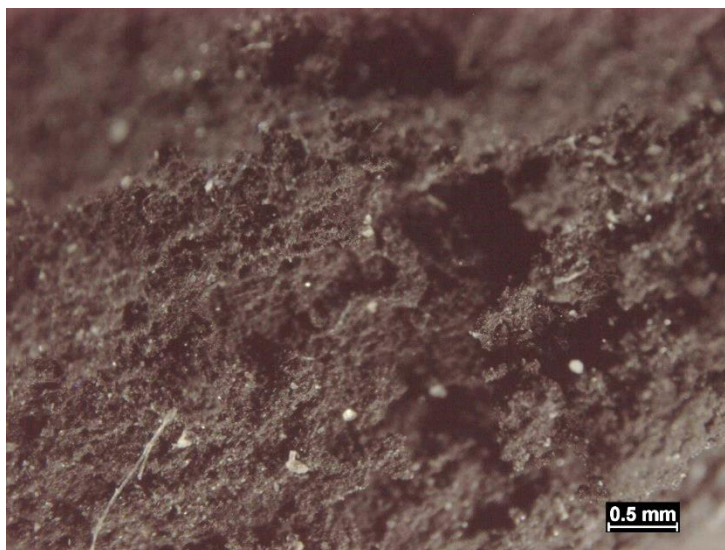


Figure 20 Detail kaučukové směsi

Kontrola geometrické tolerance byla provedena za účelem vyloučení vzniku opotřebení způsobeného nedokonalou výrobou při procesu obrábění a nedodržení předepsaných tolerancí. Z výkresové dokumentace měřeného jádra vyplývají předepsané hodnoty kolmosti 0,01 a válcovitosti také 0,01(Fig. 21). Po změření komponenty na souřadnicovém měřicím stroji byly odečteny ze zprávy tyto hodnoty válcovitosti 0,0086 a kolmosti 0,0074. Naměřené hodnoty jsou v toleranci, a proto je vyloučen vznik opotřebení v důsledku nedodržení předepsaných tolerancí.

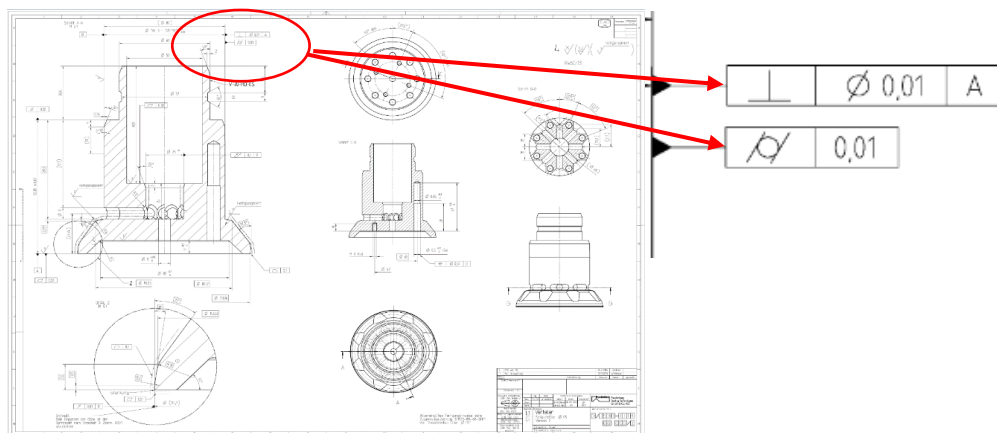


Figure 21 Výkresová dokumentace jádra, detail měřených hodnot geometrických tolerancí

Významné zjištění přinesly zkoušky tvrdosti. V Tab. 3 jsou uvedeny naměřené tvrdosti jednotlivých dílů, kde hodnoty představují průměrnou hodnotu z 5-ti měření.

Firma	HRC	HV30
Freudenberg	19	230
Louda Al.	38	400

Table 3 Přehled naměřených tvrdostí

Vzhledem k tomu, že výkresová dokumentace (Fig. 10) uvádí předepsanou tvrdost 50 + 4 HRC, je jasné, že dílce firmy Freudenberg a Louda Alform tento požadavek nespĺňují.

Aby se zjistila příčina nízkých hodnot tvrdosti dílce, byla kontrolována i mikrostruktura. Běžným metalografickým postupem byl připraven k pozorování na mikroskopu výbrus vzorku č. 1. Na Fig. 22 je zachycena struktura v povrchové části dílce, která je tvořena feritem a různě vyloučenými karbidy chromu.

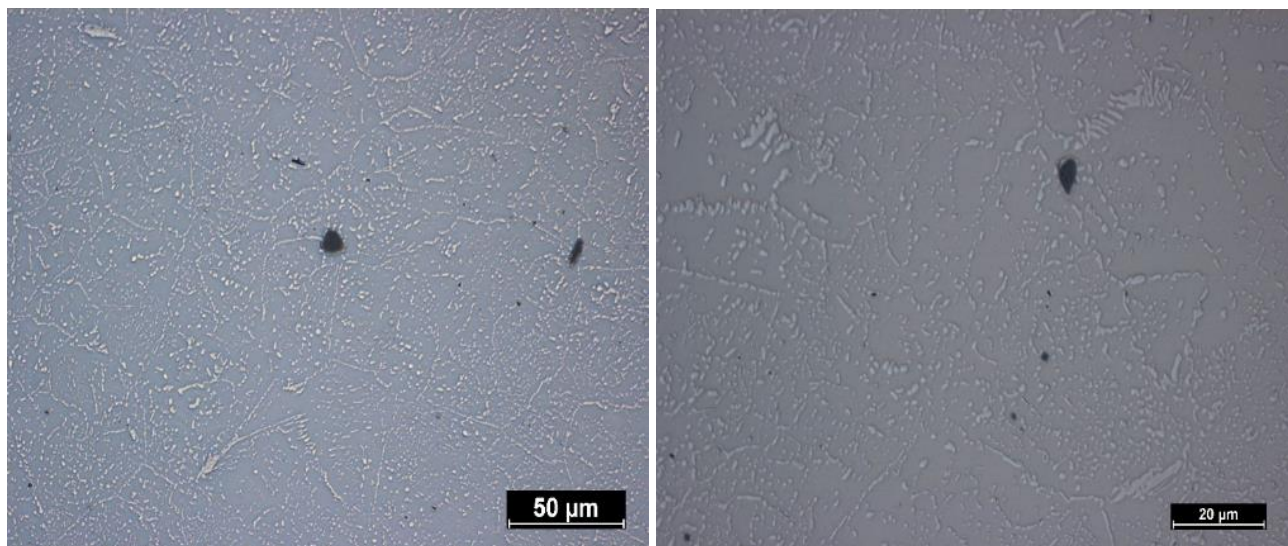


Figure 22: Mikrostruktura vzorku č. 1 (X46Cr13) zleva: leštěno, leptáno.

Takové uspořádání je typické pro žíhaný stav nebo stav po popouštění na vysokou teplotu. Předepsané hodnoty tvrdosti větší jak 50 HRC však vyžadují zušlechtěný stav s popouštěnou martenzitickou nebo bainitickou strukturou. Je tedy zřejmé, že nízké hodnoty tvrdosti sledovaného dílce jsou výsledkem nevhodně provedeného tepelného zpracování.

Situace byla diskutována s firmou Louda Alform, která CTR pro Freudenberg sealing technologies s r. o. vyrábí. Zástupci firmy poskytli technologický postup TZ, který však probíhá v kalárně, která

nepatří ke společnosti Louda Alform. Komponenty jsou ohřívány v peci na teplotu 1020 °C, půl hodiny se součásti prohřívají, poté následuje 2 hodiny výdrž na teplotě. Následuje chlazení na vzduchu po dobu 25 minut. Tímto způsobem se dosáhne tvrdosti 54 HRC. Díky působení vysokých teplot při kalení není zaručena rozměrová stálost, proto je nutné součást ještě obrobit, s touto tvrdostí je to však je obtížné , proto se popouští při teplotě 420 °C na tvrdost 40 HRC.

Hodnoty tvrdosti po tomto postupu tepelného zpracování odpovídají hodnotám dle popouštěcí křivky pro tuto ocel (Fig. 23).

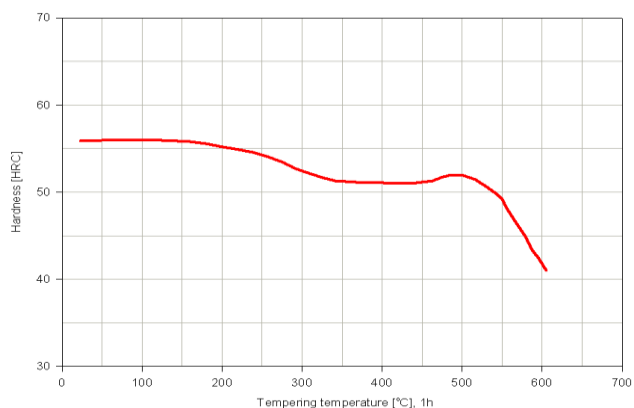


Figure 23 Popouštěcí křivka oceli x46cr13

Jak bylo uvedeno, korozi-vzdorná ocel X46Cr13 má vynikající materiálové vlastnosti, které se využívají v náročných aplikacích. Výroba simmerringů je ale případ, kdy výrobní parametry teplota i mechanické vlastnosti nejsou extrémní. Naopak se ukazuje, že dominantním požadavkem na materiál komponent je odolnost proti opotřebení. Proto se nabízí řešit problém nízké životnosti volbou jiného, vhodnějšího materiálu a jeho povrchové úpravy ke zvýšení tvrdosti. S ohledem na způsob degradace části vstřikovacího systému, jeho pracovních podmínek a případnou potřebu výroby náhradních dílů se jako nejvhodnější materiál jeví konstrukční ocel s povrchovou úpravou zajišťující tvrdý povrch. Potřebnou a dostačující tvrdost je možné docílit různými způsoby a pro případ abrazivního opotřebení to může být nitridovaný povrch.

Z nabídky nitridačních ocelí je možné vybrat např.

- 15 330 – 31CrMoV9
- 16 347 – 34CrAlNi7

8 Závěry:

Z výše uvedených skutečností je možné učinit následující závěry:

1. Příčinou ztráty funkce vstřikovacího systému pro výrobu hřídelových těsnících kroužků je opotřebení hlavních součástí. Z hlediska výrobního postupu je zřejmé, že k intenzivnímu abrazivnímu opotřebení dochází vlivem složení a existence tvrdých částic v lisovací směsi.
2. S ohledem na příčinu nízké životnosti komponent vstřikovacího systému je jasné, že ocel X46Cr13 není na tuto aplikaci nejvhodnější. Navíc je problém zaručit požadované vlastnosti vhodným tepelným zpracováním, jak dokumentuje případ firmy Louda Alform, kdy z výrobních důvodů nejsou dodrženy předepsané hodnoty tvrdosti. Pokud bude i nadále požadována tato chromová ocel, je nutné zajistit kvalitní zušlechťení výrobku.
3. Nejlepším řešením tohoto problému je volba jiného materiálu a patřičná úprava povrchu dílců. Dobré výsledky lze předpokládat od vhodné nitridační oceli. Pokud se k tomuto kroku přistoupí je nutné pro zvolenou ocel s ohledem na hloubku a vlastnosti nitridační vrstvy stanovit optimální parametry nitridace.

9 Zdroje

- [1] BÁBEK, ING., Miroslav, Jozef STAŇO, ING. a Stanislav KLIBÁNI, ING. *Kurz gumarenské technologie: Výroba lisované a vytlačované technické pryže*. Zlín, 2011.
- [2] STRITZKE, Bernie. *Custom Molding of Thermoset Elastomers*. Ohio: Hancer Publication, 2009. ISBN 978-3-446-41964-3.
- [3] Technologie II. , tváření kovů a zpracování plastů. In: *Tecnologie II*. [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 20??n. 1. [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [4] ZÁKLADNÍ INFORMACE O POUŽITÍ KAUCUKU. *ZÁKLADNÍ INFORMACE O POUŽITÍ KAUCUKU* [online]. Praha: gumex.cz, 2015 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/files/catalog/TECHNICK%C3%89%20INFORMACE%20O%20MATERI%C3%81LECH%20-%20PRY%C5%BDE%20A%20PLASTY.pdf>
- [5] Gumárenská technologie 2: kaučuky. *Gumárenská technologie: kaučuky* [online]. CZ: Jiří Maláč, 20??n. 1. [cit. 2017-01-19]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/kaucuky.pdf>
- [6] Gumárenská technologie 3: přísady. *Gumárenská technologie 3: přísady* [online]. CZ: Jiří Maláč, 20??n. 1. [cit. 2017-01-19]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/prisady.pdf>
- [7] SOURMAIL, T. a H. K. D. H. BHADESHIE. Stainless steel. In: *Stainless steel* [online]. UK: Cambridge University, 2002 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/Stainless_steels/stainless.html
- [8] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli oceli a slitiny*. 2.vyd. Praha: Academika, 1999. ISBN 80-200-0671-0.
- [9] SUCHÁNEK, Jan, Vladimír KUKLÍK a Eva ZDRAVECKÁ. *Abrázivní opotřebení materiálů*. 2. vyd. Praha: [České vysoké učení technické], 2007. ISBN 9788001036594.
- [10] POŠTA, Josef, Milan DVOŘÁK a Petr VESELÝ. *Degradace strojních součástí: monografie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2002. ISBN 8021309679.

[11] ČERVENÝ, ING, Jaroslav. Teorie opotřebení: Abrazivní a erozivní opotřebení lopatek míchadel. *Povrcháři* [online]. 2008, ??(4.číslo), 20 [cit. 2017-01-23]. ISSN 18029833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200804_povrchari.pdf

[12] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN ISBN 80-7080-617-6.

[13] BRNIC J, KRSCANSKI S, LANC D., BRCIC M., TURKALJ G., CANADIJA M., NIU J.: *Analysis of the Mechanical Behavior, Creep Resistantant Uniaxial Fatigue Strenght of Martenzitic steel X46Cr13*: [online]. 2017 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z : <http://www.mdpi.com/1996-1944/10/4/388/htm#B7-materials-10-00388>

10 Seznam obrázků

Figure 12 Příklad vyráběných simmeringů	9
Figure 13 Vlevo: nástřiková hlava a v ní vložené jádro (rozdělovač) vpravo: samotné jádro – rozdělovač	10
Figure 14: Vlevo simmering vyrobený za použití běžného vstřikování vpravo: simmering vyrobený pomocí CTR	10
Figure 15 Průřez formou 11	
Figure 16 Druhy materiálů používané v FST s. r. o.	13
Figure 17 Schaefflerův diagram	16
Figure 18: Diagram napětí a deformace při různých teplotách oceli: X46Cr13.	19
Figure 19 Druhy opotřebení: Zleva: adhezivní, erozivní a kavitační opotřebení	21
Figure 20 Druhy opotřebení: Zleva únavové, vibrační a abrazivní opotřebení	22
Figure 21: Výkresová dokumentace sestavy a detail předepsané tvrdosti	25
Figure 11: Jádro CTR měřeno na tvrdoměru EMCOTEST M4C 075/750	26
Figure 222 Zleva: Souřadnicový měřicí stroj Carl Zeiss Prismo, jádro CTR připravené k měření	27
Figure 13: Vzorek č. 1 - Vyříznutá část nástřikové hlavy i s abrazivním opotřebením	27
Figure 14: Příprava vzorku č. 2	27
Figure 15 Příprava vzorku č. 2 k výbrusu a leštění	28
Figure 16: Zleva: Přístroj na broušení, přístroj na leštění a leštění vzorku	28
Figure 17 příklad opotřebení součásti - NÁSTŘIKOVÁ HLAVA	29
Figure 18 Příklad abrazivního opotřebení součásti – JÁDRO	30
Figure 19: Detaily abrazivního opotřebení na vzorku č. 1	30

Figure 20 Detail kaučukové směsi	31
Figure 21 Výkresová dokumentace jádra, detail měřených hodnot geometrických tolerancí	31
Figure 22: Mikrostruktura vzorku č. 1 (X46Cr13) zleva: leštěno, leptáno.	32
Figure 23 Popouštěcí křivka oceli X46Cr13	33

11 Seznam tabulek

Table 2 Chemické složení X46Cr13	25
Table 2 Přehled prováděných testů	29
Table 3 Přehled naměřených tvrdostí	32