

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agropodnikání

Katedra: Zemědělské dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

Diplomová práce

Renovace nákladných náhradních dílů za
využití speciálních strojírenských technologií

Autor: **Bc. Zdeněk Doležel**

Vedoucí práce: Ing. Josef Frolík, CSc.

České Budějovice, 2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeněk Doležel**
Osobní číslo: **Z12543**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Agropodnikání**
Název tématu: **Renovace nákladných náhradních dílů za využití speciálních strojírenských technologií.**
Zadávající katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíl práce:

Cílem práce je porovnat a technicko-ekonomicky zhodnotit používané technologické postupy renovace dílů za použití speciálních strojírenských technologií u vybraných strojních součástí.

1. Technologické postupy používané pro renovaci.
2. Kritéria pro volbu technologického postupu.
3. Aplikace technologického postupu na vybraných součástech.
4. Kontrola kvality a rozměrových parametrů pro renovaci.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení renovace.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 50 stran**
Forma zpracování bakalářské zprávy: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Pošta, J.: Opravárenství a diagnostika. Informatorium, 2008;
Kubíček, J.: Žárové nástřiky a další technologie ochrany povrchů, In SVV Praha s.r.o. Konstrukční návrh a provádění konstrukcí z hlediska povrchových úprav. Praha: SVV s.r.o., 2007. s. 19 - 32;
Kubíček J., Kovář, J., Martinec, J.: Navařování rozměrných válcových těles vysokolegovanou ocelí pod tavidlem. Sborník konference Legislativní a technické podmínky svařování a souvisejících procesů po vstupu do EU, 20 až 22. 10. 2004, VUT FSI Brno, str. 89 – 97;
Kubíček, J., Kopřiva, L.: Využití ztavovaných povlaků pro renovaci. In Svářečský zpravodaj, duben 2003, seminář Žárové nástřiky a renovace, Česká svářečská společnost Praha 2003, str. 4 – 7.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Josef Frolík, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2015**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 28. března 2014

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách. A to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 24. dubna 2015

.....
Bc. Zdeněk Doležel

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Josefu Frolíkovi, CSc. za odborné vedení, připomínky, náměty, konzultace a průběžné hodnocení práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jaroslavu Janoviakovi, CSc. za poskytnuté informace, rady a možnost čerpání dat ve firmě JANOVIK s.r.o. pro potřeby diplomové práce.

Anotace:

Diplomová práce se zabývá renovací nákladných náhradních dílů za využití speciálních strojírenských technologií. Cílem bylo porovnat a technicko-ekonomicky zhodnotit používané technologické postupy renovace dílů. V teoretické části jsou sepsány získané informace z literárních zdrojů zabývající se základními pojmy, definicemi a popsány nejčastěji používané renovační technologie. Ve vlastní studii byly vybrány součásti pro renovaci, u nichž je nutné použít speciální metody strojírenských technologií. První součástí byla vybrána vyvažovací hřídel použitá u čtyřválcových dieselových motorů Volkswagen. U součásti byl navržen speciální technologický postup opravy tak, aby bylo dosaženo nízké ceny, ale zároveň byla zaručena vysoká kvalita opravy a nehrozilo další poškození. Cena opravy byla porovnána vůči pořizovací ceně nového dílu. Další z vybraných součástí byla renovace víka retardéru u tahačů Scania. U součásti byl navržen technologický postup opravy. Ceny renovací podle různých technologických postupů byly vzájemně porovnány.

Klíčová slova: Renovace, technologie, oprava, strojní součást, náhradní díl, technicko-ekonomické zhodnocení, speciální strojírenské technologie.

Annotation:

This masters thesis deals with renovations expensive spare parts for the use of special engineering technologies. The aim was to compare and evaluate the technical and economical technological processes used components renovations. In the theoretical part are written information obtained from literature sources dealing with the basic concepts, definitions and describes the most commonly used technology renovation. In their study were selected components for renovation, where it is necessary to use special methods of engineering technologies. The first part was chosen balancer shaft used for four-cylinder diesel engine Volkswagen. For component was suggested special technological process of repair, so as to achieve low prices, but also guarantee a high quality repair and threaten further damage. Price repairs were compared against the cost of a new spare part. Another component was selected renovation speed bump for truck Scania. For component was suggested technological process of repair. Prices renovations by various techniques were compared.

Key words: Renovation, technology, repair, machine part, spare part, technology-economic evaluation, special engineering technology.

OBSAH

ÚVOD	12
1 TEORETICKÁ ČÁST	14
1.1 Obecná definice renovace	14
1.2 Základní pojmy	14
1.3 Strategie renovace součástí	15
1.3.1 Optimalizace renovace strojních součástí.....	16
1.3.2 Uplatnění efektivnosti renovace	18
1.4 Renovace strojních součástí	18
1.4.1 Proč a jak se součásti poškozují.....	18
1.5 Přehled způsobů renovace	27
1.5.1 Renovace opotřeбенých součástí jejich opracováním na opravné rozměry.....	28
1.5.2 Renovace opotřeбенých součástí na jejich původní rozměry	29
1.5.3 Renovace deformovaných součástí.....	29
1.5.4 Renovace součástí s trhlinami a lomy.....	30
1.6 Porovnání renovace a výroby nových součástí	35
1.7 Navařování	36
1.7.1 Způsoby navařování.....	38
1.7.2 Porovnání metod navařování	39
1.8 Elektroerozivní obrábění	43
1.8.1 Princip elektroerozivního obrábění.....	43
1.8.2 Technologické využití elektroerozivního obrábění.....	44
1.8.3 Elektroerozivní řezání drátem.....	44
1.8.4 Elektroerozivní hloubení.....	45
2 CÍL A METODIKA PRÁCE	47
2.1 Cíl práce	47
2.2 Metodika	47

2.2.1	Zvolené metody	47
2.3	Hypotézy	49
2.3.1	Hypotézy pro renovaci vyvažovací hřídele.....	49
2.3.2	Hypotézy pro renovaci víka retardéru.....	50
3	VLASTNÍ PRÁCE	51
3.1	Kritéria pro volbu technologického postupu	51
3.2	Aplikace technologického postupu na vybraných součástech	52
3.2.1	Renovace vyvažovací hřídele motorů Volkswagen	52
3.2.2	Renovace víka retardéru Scania.....	60
4	VÝSLEDKY PRÁCE A DISKUSE	65
4.1	Technicko-ekonomické zhodnocení opravy vyvažovací hřídele.....	65
4.1.1	Technické zhodnocení	65
4.1.2	Ekonomické zhodnocení.....	65
4.1.3	Hodnocení hypotéz	67
4.2	Technicko-ekonomické zhodnocení opravy víka retardéru	68
4.2.1	Technické zhodnocení	68
4.2.2	Ekonomické zhodnocení.....	68
4.2.3	Porovnání s původní neúspěšnou metodou renovace.....	70
4.2.4	Hodnocení hypotéz	71
5	ZÁVĚR	73
6	PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	75
7	SEZNAMY OBRÁZKŮ, TABULEK A POUŽITÝCH ZKRATEK.....	77
7.1	Seznam obrázků	77
7.2	Seznam tabulek.....	78
7.3	Seznam grafů	78
7.4	Seznam použitých zkratk.....	78

ÚVOD

V současné době je ve firmách kladen důraz na ekonomičnost a efektivitu výrobního procesu. Od dodavatelů jsou vyžadovány vysoké nároky na přesnost, rychlost dodávek a kvalitu výrobků. Specifická je například výroba komponent pro automobilový průmysl. Firmy, které vyrábějí díly pro automobilky, jsou vázány přísnými smlouvami, jež obsahují často jednostranné a v případě vzniklého problému i likvidační podmínky. Podniky nesou podepsáním smluv zodpovědnost za případné vzniklé škody způsobené zpožděnou dodávkou nebo zmetkovitostí dodaných komponent. Požadavek v managementu firem je vyrábět co nejkvalitnější součásti za co nejnižší cenu. To má za následek mnohá úsporná opatření, ekonomické, energetické, personální, technické a jiné. Pro zmenšení nákladů na výrobu se firmy rozhodují k snižování či zrušení náhradních dílů na opravy strojů a strojního vybavení ve skladech. Při provozu strojů má pozitivní vliv na poruchovost dobrý technický stav stroje a zařízení, můžeme tím ovlivnit jejich životnost, hospodárnost a energetickou náročnost.

Součástí údržby strojů je renovace poškozených strojních součástí. Renovace součástí má vliv na úsporu materiálu, energii, ale i šetří čas a finanční prostředky.

Ať už se jedná o poškození ve výrobě, nebo při konstrukčních a technologických změnách výrobků, je třeba navrhnout technologii opravy tak, aby splnila všechny požadavky na kvalitu, rychlost, cenu a životnost. Renovovat součásti můžeme při poškození ve výrobě, ale i při technologických změnách výrobků.

Diplomová práce se zabývá metodami oprav strojních součástí, jejichž míra poškození nám umožní ještě provést renovaci, aby byla zaručena opět jejich původní kvalita a renovované součásti byly schopny dále plnit svoji funkci. Cílem práce je technicko-ekonomicky zhodnotit použité technologické postupy u vybraných součástí. Pro renovaci opotřebovaného nebo jinak nevyhovujícího dílu se v současné době využívá mnoho strojírenských technologií. Tendencí v současné době je využití speciálních metod strojního obrábění, mezi něž patří například elektroerozivní obrábění nebo laserové navařování.

V této studii je navržena renovace vyvažovací hřídele, která je používána u čtyřválcových dieselových motorů Volkswagen. U součásti je navržen speciální technologický postup

opravy, tak, aby bylo dosaženo nízké ceny, ale zároveň byla zaručena vysoká kvalita opravy a nehrozilo další poškození. Dále jsem uvedl u součásti stručný popis problému a vznik poškození. Cena opravy je porovnána vůči pořizovací ceně nového dílu.

Další z vybraných součástí je renovace víka retardéru u tahačů Scania. Pokud je tahač silně zatížen, například při přepravě dřeva, dochází při brzdění pomocí retardéru k silným tlakům uvnitř soustavy. To má za následek opotřebení vnitřních třecích ploch na hliníkovém víku retardéru. U součásti je navržen technologický postup opravy. Cena renovace je porovnána s neúspěšnou metodou a cenou nového náhradního dílu u dealerů Scania.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Obecná definice renovace

Renovace. Tento pojem se často objevuje v tisku i v reklamě. Tam se jím obvykle rozumí obnova či vylepšení nějakého objektu, například koupelny, bytu, domu. Ve strojnické praxi pojem renovace znamená opravu strojní součásti, tj. obnovení funkčních schopností poškozené strojní součásti. Za samozřejmé se považuje, že kvalita renovované součásti odpovídá kvalitě součásti nové. Ve skutečnosti však může být nižší i vyšší. Pojem renovace je tedy rovnocenný pojmu oprava strojních součástí. Základní úlohou renovace je obnova strojních součástí požadované životnosti. Renovace považujeme za výhodné především proto, že jimi lze:

- dosáhnout úspory materiálu,
- prodloužit technický život renovované součásti,
- snížit spotřebu práce,
- získat nedostupnou náhradní součást, [1]
- snížit finanční prostředky vynaložené na renovaci proti koupi drahého náhradního dílu.

1.2 Základní pojmy

Bezporuchovost - je schopnost součásti plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu za stanovených podmínek. Při hodnocení bezporuchovosti lze součásti rozdělit do dvou skupin podle charakteru jejich poškození.

- Součásti, u nichž poškození plynule narůstá s dobou provozu (jedná se o narůstající opotřebení).
- Součásti, u nichž má poškození náhlý charakter bez závislosti na době provozu (většinou jde o lomy a trhliny nebo o následky jiných poruch).

Bezpečnost - je vlastnost součásti plnit veškeré požadované funkce současně bez ohrožení bezpečnosti osob.

Mezní stav součásti - je stav, ve kterém další použití je nebezpečné nebo neúčelné. Po dosažení tohoto stavu je možné provádět opravy a renovace podle ekonomického zhodnocení nákladovosti na tyto operace.

Opravitelnost - je vlastnost ukazující vhodnost odstraňování vzniklých poruch součástí. Poškozené součásti můžeme rozdělit na:

- součásti opravitelné, tj. takové, které se po vzniku poruchy renovují,
- součásti neopravitelné – vyřazují se.

Porucha - je stav, který vyznačuje ukončení provozuschopnosti stroje.

Spolehlivost - je obecná komplexní vlastnost, spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování stanovených provozních parametrů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek. Jako vlastnost komplexní může zahrnovat např. bezporuchovost, životnost, opravitelnost, skladovatelnost.

Technický život součásti - celková doba provozu až do vzniku mezního stavu součásti.

Technologičnost - je stav ukazující vhodnost a náročnost renovace.

Závada - je stav poškození součásti bez přerušení provozu stroje.

Životnost - je schopnost součásti plnit požadované funkce až do dosažení mezního stavu součásti. [1]

1.3 Strategie renovace součástí

V aplikaci na oblasti renovace lze pojem „strategie“ definovat jako stanovení optimálního okamžiku, rozsahu, a při větším sortimentu možností i jako volbu nejvhodnější technologie renovace (volbou renovační metody).

Cíle výše uvedených optimalizačních problémů renovace včetně ekonomického hlediska lze hodnotit jako úroveň jakosti strojních součástí. Strategie renovace součástí řeší současně několik problémů:

- technicko - ekonomická efektivnost (analýza účelnosti renovace),
- optimalizace technického života nové i renovované součásti,

- optimalizace ukazatele technického stavu pro obnovu (normativ diagnostického signálu)

Souhrnným ukazatelem strategie renovace je poměr celkového užitého efektu součástí k celkovým nákladům.

$$I = \frac{E}{N_c} = \frac{E}{N_v + N_p}$$

N_v ...náklady na výrobu

N_p ...náklady na používání nebo spotřebu

Jiným případem jsou strojní součásti, které nelze nahradit novým objektem v případě negativního ekonomického zhodnocení renovace. V takových případech se nezkoumá výše vynaloženého kapitálu a nahrazuje se hodnota užitého kapitálu dobou provozu t .

1.3.1 Optimalizace renovace strojních součástí

Podle použitých literárních pramenů je optimalizace v oblasti renovací důkladně propracovaná a využívá těchto principů a závěrů:

- A. Výrobní náklady N_v obecného objektu jsou aplikovány tzv. ve formě nákladů obnovy N_o , které se pro novou součást s jednorázovým použitím rovnají.

$$N_o = N_c + N_v + N_{pd} - N_{zu} = N_{pr} [Kč]$$

N_c ...cena (respektive výrobní náklady) nové součásti

N_v ...náklady na individuální výměnu – demontáž a montáž

N_{pd} ...náklady na dopravu a prostoje, spojené s individuální výměnou

N_{zu} ...zůstatková cena součásti s jednorázovým použitím – cena šrotu

N_{pr} ...redukovaná komplexní pořizovací cena (nákladová hodnota) uvažované součásti s jednorázovým použitím

- B. Náklady na provoz N_p vyvolané změnami stavu funkčních ploch součástí zahrnují i rizika z havárie a jejich následků. Následkem je v první řadě snížení účinnosti a s ní související zhoršené vlastnosti strojních součástí (rostoucí spotřeba energie, klesající výkon, zhoršená kvalita produkovaných vlastností). Náklady na provoz N_p narůstají progresivně s dobou provozu.
- C. Při optimalizačním řešení je výhodné používat údaje o provozních nákladech N_p ve formě tzv. okamžitých jednotkových nákladů, které jsou dány vztahem:

$$v_p(t) = \frac{dN_p(t)}{dt} [K\check{c} \cdot w^{-1}]$$

Funkce $v_p(t)$ je v podstatě ekonomickým ekvivalentem jakéhokoliv fyzikálně-technického údaje o okamžité úrovni technického stavu zkoumaného prvku.

D. Jestliže u prvků různých charakterů a jiných kvalit vzájemně technologicky neodlučitelných zkoumáme náklady, přísluší nákladovým charakteristikám tzv. průměrný prvek. Nutno pracovat s průměrnou hodnotou, protože každý jednotlivý prvek a jeho náklady narůstají rozdílnou rychlostí. Důsledkem je, že u některých součástí není zdaleka dosaženo lokální minimum opotřebení, zatím co u některých je naopak tato hranice překročena. Pokud by byly tyto principy pečlivě dodržovány, vedlo by to k dosažení optimálního stupně renovačních zásahů. Skutečnost ukazuje, že optimalizace při renovačních procesech je podceňována a metody hodnocení efektivnosti renovace jsou opomíjeny. Patří sem:

- a) Při posuzování nákladů na renovaci či nákup nového dílu nebývá uvažováno nad hodnocením jakosti dílu po renovaci a dílu nových.
- b) Dochází k zanedbávání nákladů na provoz posuzovaných strojních součástí před a po renovaci. Rozdílná úroveň jakosti použitých materiálů při renovačních operacích může změnit průběh i dosahované hodnoty základní komplexní spolehlivosti charakteristiky.

Při souhrnném hodnocení renovace funkčních ploch strojních součástí může dojít k těmto stavům:

- a) Jednorázová renovace určité funkční plochy součásti renovační metodou s rozdílnými náklady a stejnou nebo rozdílnou úrovní jakosti v porovnání.
- b) Vícekrát opakovaná renovace stejnou metodou, kdy náklady i úroveň jakosti renovované funkční plochy jsou odlišné od nového prvku, ale vzájemně se neliší.
- c) Vícekrát opakovaná renovace s postupně rozdílnými metodami a rozdílnými náklady i úrovní jakosti v porovnání s novým prvkem, což je nejobecnější a nesložitější případ.

Výsledkem optimalizace renovace strojních součástí je nalezení minimální hodnoty průměrných nákladů na opravu za celkový technický život stroje nebo strojní součásti

jako individuálního prvku celého souboru. Pro uvedení příkladu v technické praxi to mohou být čepy klikových hřídelí broušené na stanovený opravný rozměr několikrát za technický život nebo navařování čepů a následné broušení opět na opravný rozměr po dobu technického života. [1]

1.3.2 Uplatnění efektivity renovace

Výsledek renovačních technologií je účelný pouze tehdy, pokud je prokazatelné snížení průměrných nákladů a tím dochází k pozitivní ekonomické efektivitě. Znalost ekonomického efektu z renovace součástí umožňuje řešit i problematiku nákladové hodnoty poškozeného prvku po dobu t před renovací. Rozvoj hromadné renovace s ohledem na pracovní, materiálové i energetické úspory vyžaduje mít k dispozici objektivní metodiku hodnocení její efektivity. Objektivní metodika hodnocení efektivity renovace umožňuje správně ocenit hospodářský význam [1]

1.4 Renovace strojních součástí

Názory na renovaci strojních součástí se velmi liší, od jasně pozitivních až po zcela negativní. Mezi hlavními argumenty pro renovaci je zpravidla uváděna nižší cena renovované součásti oproti originální součásti nově vyrobené a úspora materiálu a energie na renovaci oproti výrobě nové součásti. Jako argument proti renovaci je zpravidla uváděno, že renovované součásti jsou jen jakousi náhražkou, že kvalita renovovaných dílů musí být horší než dílů nově vyrobených a proto se levnější renovovaný díl nakonec ukáže jako příliš drahý.

Jak je to tedy s renovací doopravdy? Je dobře ji bezvýhradně přijmout nebo naopak rozhodně odmítnout? Jsou argumenty pro a proti technicky podložené a objektivní? Jak se v konkrétním případě rozhodnout? [1]

1.4.1 Proč a jak se součástí poškozuji

Stroje a jejich součásti jsou namáhány přenášenými silami, působí na ně tlaky, rázy, tření, chvění, teplota, okolní prostředí, zpracovávaný materiál, způsob provozu a zacházení se strojem. Tyto vlivy se označují jako provozní podmínky. Je zřejmé, že provozní podmínky mohou být velmi rozmanité a záleží nejen na konstrukci stroje, ale také na

způsobu jeho provozu, na zacházení se strojem, na péči o stroj. V různých provozních podmínkách jsou stroje a jejich součásti vystaveny různě intenzivnímu namáhání a v důsledku toho se různým způsobem a různě intenzivně poškozují. Poškození strojních součástí může být:

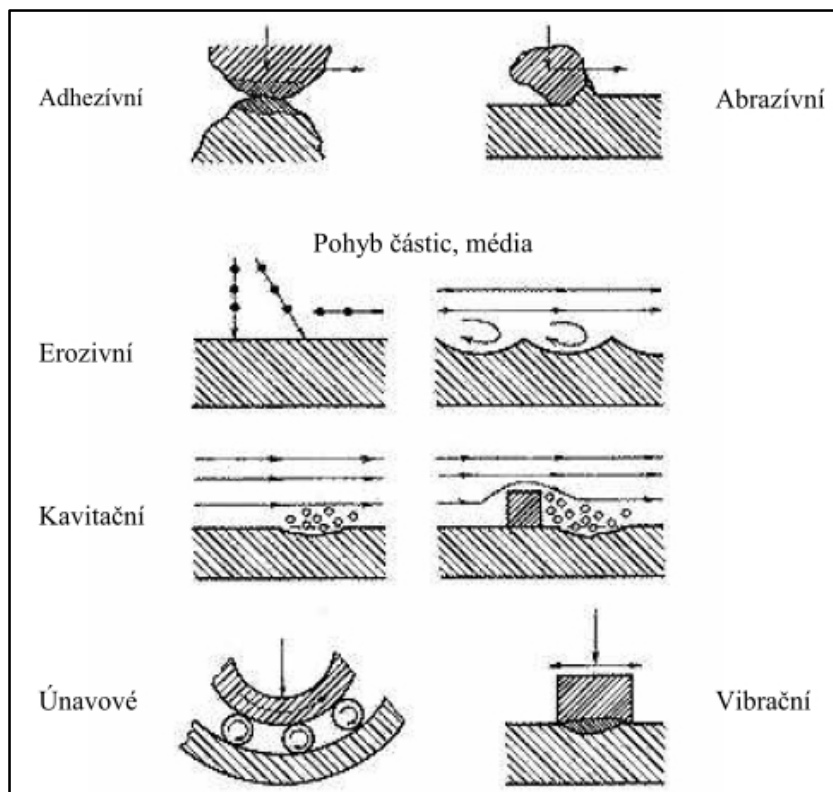
- opotřebení,
- koroze,
- otlačení,
- deformace,
- trhliny a lomy,
- ostatní poškození. [1]

1.4.1.1 Opotřebení

Opotřebení je nežádoucí změna povrchu, rozměrů nebo vlastností tuhých těles, způsobená vzájemným působením funkčních povrchů nebo povrchu a média, které opotřebení vyvolává. V technické praxi dochází velmi často ke kombinaci různých druhů opotřebení, např. únavové opotřebení ozubených kol při současném působení abrazivních částic.

Podle podmínek za jakých probíhá, vzniká opotřebení:

- adhezivní,
- abrazivní,
- erozivní,
- kavitační,
- únavové,
- vibrační. [2]



Obrázek 1.1 - Schématické znázornění druhů opotřebení

Zdroj: [2]

1.4.1.1.1 Adheziivní opotřebení

Adheziivní opotřebení je charakteristické oddělováním a přemísťováním částic kovu mezi dvěma stykovými plochami, kdy v důsledku relativního pohybu funkčních povrchů dochází k porušování povrchových vrstev materiálů. Ke styku povrchů dochází prostřednictvím velkého množství kontaktních plošek za spolupůsobení velkých sil, vznikají plastické deformace a vytváří se mikrospoje. Jejich vznik je doprovázen lokálním ohřevem materiálů a vznikem vhodného prostředí pro chemickou reakci kovu s okolním prostředím, které může dále zvýšit rychlost opotřebení.

Velikost opotřebení je závislá na zatížení kontaktní dvojice, volbě materiálů kontaktní dvojice, technologii výroby (opracování) funkčních povrchů. Výrazné snížení opotřebení lze docílit vhodným mazáním funkčních povrchů, protože mazivo odděluje kontaktní povrchy a snižuje lokální napěťové špičky, působí současně jako chemická ochrana povrchů, např. před působením vzdušného kyslíku. Příkladem je mazání okolů hnacích vozidel plastickým mazivem, kdy zavedením této technologie se odstranila nutnost navařovat (renovovat) jízdní plochu dvojkolí. [2]



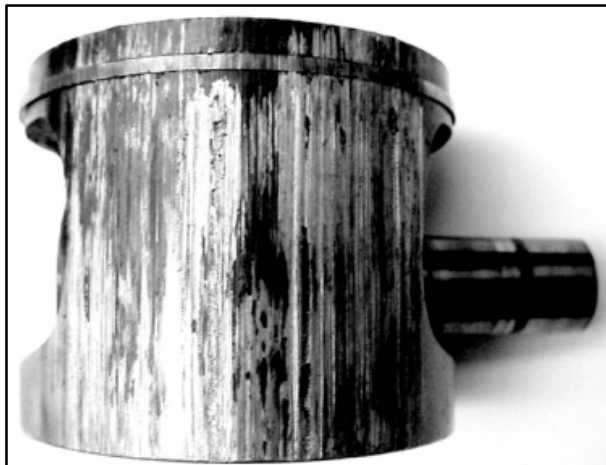
Obrázek 1.2 - Adhezivní opotřebení pístního čepu

Zdroj: [2]

1.4.1.1.2 Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení je charakteristické oddělováním částic z funkčního povrchu působením tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa – abrazivní částice. Typickým projevem abrazivního opotřebení je vznik rýh na povrchu funkční plochy, případně funkčních ploch, pokud abrazivní částice vnikne mezi dvě pohybuující se tělesa. Počet vzniklých rýh bude nepřímo úměrný velikosti abrazivní částice, šířka rýhy odpovídá přibližně 10 až 20 % průměru částice.

V praxi se abrazivní opotřebení projevuje např. opotřebením zubů lžice rypadel, zmenšením tloušťky stěny potrubí dopravující písek (křemičitý písek je velmi silné abrazivo), vznikem rýh na pístu a pouzdru válce spalovacího motoru apod. Velikost opotřebení je zjednodušeně řečeno závislá na poměru tvrdosti funkční plochy a abrazivní částice. Obecně platí, že čím tvrdší je abrazivo, tím měkčí musí být povrch funkční plochy a opačně. Proto se např. velmi osvědčilo použití měkčích plastů jako ochranného povlaku potrubí pro dopravu písku. Účinně se lze bránit vzniku abrazivního opotřebení u spalovacích motorů dobrou filtrací nasávaného vzduchu současně s filtrací motorového oleje. [2]



Obrázek 1.3 - Abrazivní opotřebení pístu spalovacího motoru

Zdroj: [2]

1.4.1.1.3 Erozivní opotřebení

Erozivní opotřebení vzniká dopadem částice obsažené v proudícím médiu na povrch funkční plochy. Pokud má částice dostatečnou energii při dopadu, v závislosti na úhlu dopadu způsobí vytlačení nebo oddělení materiálu z funkční plochy. Částice může být unášena proudem kapaliny (čerpadla, turbíny), nebo proudem plynu (vzduchotechnika, ventilátory). Intenzita opotřebení je závislá na více faktorech, např. rychlost a úhel dopadu částice, chemické složení proudícího média, velikost, tvar a tvrdost částice. Nejvyšší intenzita opotřebení vzniká za situace, kdy moduly pružnosti dopadající částice i funkční plochy jsou velké a vzájemně srovnatelné. Tento jev se využívá při tryskání ocelových konstrukcí kovovými broky, v tomto případě jde tedy o „žádoucí“ druh opotřebení.

Rychlé proudění plynu i rychle proudící kapalina vyvolá dynamické účinky na povrchu funkční plochy a vzniká erozivní opotřebení. Snížit intenzitu opotřebení je možné konstrukčním řešením vedoucím na rovnoměrně rozložené rychlostní pole proudícího média. Ze zkušeností je známé, že kalené – tvrdé povrchy dobře odolávají dopadu částic pod malým úhlem, naopak materiál s relativně měkkým povrchem je odolnější při dopadu částice pod velkým úhlem (kolmo k povrchu). [2]



Obrázek 1.4 - Erozivní opotřebení koule uzávěru

Zdroj: [2]

1.4.1.1.4 Kavitační opotřebení

Kavitační opotřebení je charakterizováno oddělováním částic kovu z povrchu funkční plochy v místech zániku kavitačních „bublin“, vznikajících v kapalině. Ke kavitaci dochází v proudící kapalině v místech, kde se zvyšuje rychlost proudění a důsledkem je snížení tlaku kapaliny. Objeví se kavitační bubliny vyplněné párou (plynem), které ulpí na povrchu kovu a zaniknou implozí. V okamžiku zániku - implozi kavitační bubliny uvnitř kapaliny vzniká rázová vlna, která působí na povrch kovu naprosto devastujícím účinkem. Vznikají oblasti (velmi malé), kde tlak kapaliny dosahuje řádu 10^3 MPa¹ a teploty v řádu až stovek stupňů. Je zjevné, že současné materiály nedokážou po delší dobu odolávat tomuto typu opotřebení a je nutné volit konstrukční postupy zabraňující nebo alespoň omezující možnost vzniku kavitace.

Vhodným řešením omezující kavitační opotřebení částí spalovacího motoru (hlavy válců, oběhové čerpadlo, pouzdra válců) je zvýšení tlaku v chladícím okruhu, úprava chladicí kapaliny chemickými prostředky. Pokud nejsou naznačené úpravy možné, nezbyvá než zajistit dobrou udržitelnost a zajištěnost údržby dotčených součástí. [2]

¹ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4

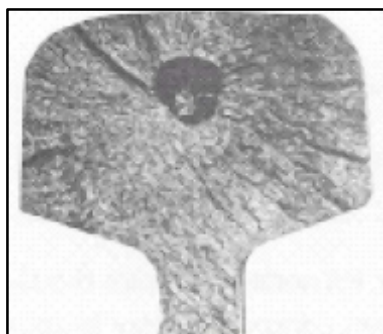


Obrázek 1.5 - Kavitační opotřebení pouzdra válce spalovacího motoru

Zdroj: [2]

1.4.1.1.5 Únavové opotřebení

Únavové opotřebení vzniká postupnou kumulací poruch v povrchové vrstvě funkčních ploch. Vznikají postupně se rozšiřující oblasti mikrotrhlin, po jistém čase dochází k jejich „spojování“ a postupně vznikají rozsáhlejší oblasti únavového poškození. Únavové poškození vzniká při cyklickém namáhání součástí, pokud je namáhání pod mezí kluzu materiálu vzniká vysokocyklová únava, při namáhání nad mezí kluzu vzniká nízkocyklová únava. Projevy únavového opotřebení při kontaktním namáhání součástí se mohou lišit. Často se objevuje poškození tvořením pittingu, vznikají jamky oblého tvaru na povrchu funkční plochy, typicky u ozubených kol. Jiným projevem je vznik spalingu, dochází k odlupování tenké tvrzené povrchové vrstvy materiálu. [2]



Obrázek 1.6 - Únavový lom kolejnice

Zdroj: [2]

1.4.1.1.6 Vibrační opotřebení

Vibrační opotřebení vzniká vzájemnými kmitavými tangenciálními posuny funkčních ploch při spolupůsobení normálového zatížení. Amplitudy kmitavého pohybu mohou být i velmi malé, v řádu 1 až 100 μm^2 . Vibrační opotřebení je doprovázeno vznikem oxidů železa s typicky hnědočervenou nebo hnědočernou barvou. V praxi vzniká vibrační opotřebení u valivých ložisek, čepů, nalisovaných spojení náboje kola a hřídele. Budící kmity způsobující vibrace mohou být generovány vlastní prací stroje, taktéž vnějším zdrojem. Jsou známy případy, kdy při přepravě lokomotiv na dlouhou vzdálenost došlo k poškození valivých ložisek dvojkolí, způsobené kmity buzené chodem lodního motoru. Tomuto jevu lze zabránit použitím tenkostěnných pouzder, vsunutých do prostoru valivého ložiska s cílem vymezení ložiskové vůle na nulu. Je pochopitelné, že po ukončení přepravy je nutné tyto pouzdra odstranit. [2]



Obrázek 1.7 - Vibrační opotřebení valivého ložiska

Zdroj: [2]

Uvedené rozdělení představuje jen základní případy. V technické praxi se obvykle jednotlivé druhy opotřebení kombinují, jeden druh přechází v jiný, uplatňují se další vlivy (např. koroze, účinky vnějších sil apod.), takže vzniká řada variant. [1]

1.4.1.2 Koroze

Koroze je nežádoucí trvalá změna povrchu materiálu, způsobená elektrochemickými a chemickými vlivy okolního prostředí. Koroze působí obrovské ztráty. Odhaduje se, že asi

² Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4

třetina veškeré vyrobené oceli a šestina neželezných kovů podlehne v průběhu používání korozi. To jsou přímé ztráty. Další, nepřímé, ztráty vznikají v důsledku výskytu koroze, např. při proděravění nádrží a úniku skladovaných materiálů, při haváriích zkorodovaných konstrukcí, při poškození jemně opracovaných povrchů. [1]

1.4.1.3 Otlačení

Otlačení je trvalá nežádoucí změna povrchu, způsobená vnějšími silami. Působení nadměrného kontaktního tlaku má za následek tok materiálu z místa působení tlaku. Objem materiálu se nemění, materiál neubývá, ale přemísťuje se a vytváří valy okolo místa působení tlaku. To má v technické praxi zpravidla za následek změnu vůlí v daném spojení, čímž může být vyvoláno např. zvýšené opotřebení nebo lomy v důsledku rázů. [1]

1.4.1.4 Deformace

Deformace je trvalá nežádoucí změna geometrického tvaru součásti způsobená vnějšími nebo vnitřními silami. Deformací je např. ohnutí hřídele, ovalita prstencové součásti, vyboulení desky. Pružné deformace se za poškození nepovažují. K deformaci součásti dojde tehdy, překročí-li napětí v některém průřezu součásti mez kluzu materiálu. Při tom záleží též na vlastnostech materiálu. U křehkých materiálů k deformaci dochází zřídka, většinou vznikne lom, protože už poměrně malé deformace vedou k překročení meze pevnosti. [1]

1.4.1.5 Trhliny a lomy

Trhlina je porušení homogenity materiálu v části průřezu, lom je porušení homogenity materiálu v celém průřezu součásti. Příčiny vzniku trhlin a lomů jsou stejné jako u otlačení a deformací, tj. působení vnějších nebo vnitřních sil. Je-li materiál součásti křehký (málo houževnatý), praskne a vznikne trhlina nebo lom. Lomy jsou statické (křehké) a únavové. [1]

Statický lom

Statický lom vznikne nejčastěji rázovým nebo ohybovým působením vnější síly, kterým je překročena mez pevnosti materiálu v některém průřezu. Lomová plocha statického lomu je zrnitá, drsná. Vzhled celé lomové plochy je stejný (nedojde-li k druhotnému

poškození lomové plochy např. vzniklými rázy). Statické lomy způsobené namáháním v krutu mají lomovou plochu typicky šroubovitou u houževnatějších materiálů a jehlicovitě roztráštěnou u tvrdších materiálů. [1]

Únavový lom

Únavový lom vznikne, je-li při proměnlivém namáhání překročena mez únavy materiálu. V místě povrchu, kde dochází ke koncentraci napětí, vznikne po určitém počtu cyklů trhlinka. Ta je pokračujícím proměnlivým zatížením střídavě „otevírána“ a „zavírána“ a šíří se do hloubky materiálu. Tímto se povrchy vyhladí, až vyleští, dostávají typický lasturovitě vyhlazený vzhled. Postupně se průřez součásti zmenší natolik, že součást se ve zbývajícím průřezu zlomí statickým lomem. Lomová plocha únavového lomu má tedy dvě typické, vzhledově odlišné oblasti:

- únavovou, s lasturovitě vyhlazeným vzhledem,
- statickou, s typickým zrnitým, drsným povrchem křehkého lomu. [1]

1.4.1.6 Ostatní poškození

Stárnutí materiálu, což je souhrn vnitřních dějů v materiálu vyvolaných střídavým provozním namáháním, střídáním teplot, metalurgickými pochody za nízkých teplot atd., které probíhají pozvolna v čase bez ohledu na používání či nepoužívání součásti, a vedou k pozvolným změnám pevnosti, tvaru aj.

Tepelná degradace materiálů, což je radikální změna fyzikálně-mechanických vlastností materiálu vyvolaná teplotou. Vyskytuje se zejména u plastů a kompozitních materiálů na bázi plastů. [1]

1.5 Přehled způsobů renovace

Renovační způsoby je možno uspořádat podle charakteru hlavní operace technologického postupu:

- renovace opotřeбенých součástí jejich opracováním na opravné rozměry,
- renovace opotřeбенých součástí na jejich původní rozměry,
- renovace deformovaných součástí,
- renovace součástí s trhlinami a lomy,
- renovace jinak poškozených součástí. [1]

1.5.1 Renovace opotřebených součástí jejich opracováním na opravné rozměry

Princip tohoto způsobu renovace spočívá v tom, že poškozená funkční plocha součásti se opracuje tak, že je obnoven její geometrický tvar, drsnost povrchu, poloha vůči ose součásti a ostatním funkčním plochám atd. To za cenu změny rozměru na tzv. rozměr opravný. Proto, aby byla zachována potřebná vůle ve spojení se sdruženou součástí, musí být upraveny i rozměry této sdružené součásti. To je možné provést buď výměnou sdružené součásti za jinou, vyrobenou už s příslušným opravným rozměrem, nebo její jinou úpravou (například navařením, pokovením, pokrytím vrstvou plastu atd.), která umožní přizpůsobení rozměru. Proto se vždy při rozhodování o provedení této renovace postupuje tak, že se na opravný rozměr opracuje součást významnější, tj. výrobně složitější, hmotnější, dražší. Sdružená součást se vyrobí nová. To v případě, že jde o součást jednodušší a tedy i poměrně levnou. Jde-li o součást srovnatelně komplikovanou a drahou, přizpůsobuje se opravným rozměrům. Rozhodnutí o konkrétním postupu je vždy záležitostí nejen technickou, ale zároveň také ekonomickou. Výhodou tohoto způsobu renovace je její jednoduchost ve srovnání s výrobou téže součásti nové. Při renovaci je zpravidla nutné provést pouze očištění součásti, důkladnou kontrolu a vlastní opracování, zatímco při výrobě nové součásti je nutná ještě celá řada dalších operací. Další výhodou je, že mohou být tímto způsobem zachovány původní součásti na svých původních místech. Nevýhodou je především to, že se narušuje zaměnitelnost součástí a zvyšují nároky na distribuci a skladování širšího sortimentu součástí. [1]

Technologický postup:

Při renovaci součástí jejich opracováním na opravný rozměr se postupuje takto:

1. Součásti se zkontrolují na výskyt povrchových trhlin nebo jiných poškození, která vylučují možnost renovace. Nepoužitelné součásti se vyřadí.
2. Použitelné součásti se proměří a určí se největší (nejmenší) možný opravný rozměr.
3. Jedná-li se o případ, že je k dispozici sdružená součást s normalizovanými opravnými rozměry, určí se nejbližší použitelný normalizovaný rozměr a na něj se provede skutečné opracování. [1]

1.5.2 Renovace opotřebených součástí na jejich původní rozměry

Do této skupiny patří celá řada renovačních způsobů, všechny mají jedno společné a to, že přidávají či jinak doplňují materiál na opotřebených funkčních plochách, takže je potom možno obnovit původní rozměry i geometrický tvar součástí. [14]

Mezi výhody patří: součást má lepší nebo původní vlastnosti, nenarušuje se princip zaměnitelnosti. Nevýhodou je někdy komplikovaný technologický postup.

1.5.3 Renovace deformovaných součástí

Princip opravy deformovaných součástí spočívá v obnově jejich požadovaného geometrického tvaru. Protože změna tvaru součásti může nastat pouze tehdy, dojde-li v některém průřezu součásti k trvalé deformaci, jedná se vlastně o vyvolání této trvalé (plastické) deformace. Trvalou deformaci součásti je možno vyvolat:

- působením vnější síly dostatečné velikosti, vhodného umístění a směru,
- změnou vnitřních sil (pnutí) v určitém malém objemu materiálu součásti.

V prvním případě se jedná o tváření součásti, buď za studena, nebo za tepla. Tento způsob rovnání je běžně známý a používaný, proto nebude dále popisován. V druhém případě se jedná o místní povrchový ohřev. Výsledkem místního povrchového ohřevu je (po vychladnutí zahřátého místa) trvalé tahové vnitřní pnutí v místě ohřevu. Rovnání místním povrchovým ohřevem se hodí pro rovnání přesných součástí a to i tepelně zpracovaných, pro rovnání nástrojů, ale i svařenců, hřídelů, potrubí a plechů. [1]

Podmínky použití

Aby došlo ke změně tvaru součásti při rovnání místním ohřevem, je nutné:

- aby teplota ohřívání překročila minimální (kritickou) hodnotu,
- aby okolní materiál zůstal chladný,
- aby součást byla dostatečně tuhá, takže může dojít k plastické deformaci zahřátého místa.

Kritickou teplotu (rozdíl teplot ohřívání a okolního materiálu) lze jednoduše vypočítat. Jeho velikost závisí na mechanických vlastnostech rovnáního materiálu a pohybuje se v rozmezí od 150 do 450 °C³ pro většinu konstrukčních i nástrojových ocelí. U součástí, které nejsou dostatečně tuhé, se rovnací účinek zvýší vhodným upnutím, popř.

³ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4

předpětím součástí. Hlavní předností rovnání součástí změnou rovnováhy vnitřních sil je hospodárné využití energie, snadné provádění a možnost velmi přesného vyrovnání. Způsob se nehodí pro odstranění příliš velkých deformací. Při rovnání místním povrchovým ohřevem je třeba přivádět teplo rychle, malému objemu materiálu, přičemž okolní materiál musí zůstat chladný. Ohřev do plastického stavu nad 600 °C je výhodný, ovšem je ho možno použít jen na součásti tepelně nezpracované. U tepelně zpracovaných materiálů se vzhledem k možnosti vzniku strukturních vrubů a k možnosti porušení tepelného zpracování musí používat teplota nižší. Obvykle se může použít teplota do 300 °C, která z metalurgického hlediska zpravidla ještě neškodí a u většiny materiálů už vyvolá rovnací účinek. Zesílení rovnacího účinku se dosáhne rychlým ochlazením místa rovnání ihned po dosažení potřebné teploty. V případě dalšího ohřevu se nesmí ohřívat stejné místo. Rovnání součástí změnou rozložení vnitřních pnutí není vhodné v případech, kdy rovnaná součást bude pracovat za vysokých provozních teplot nebo kdy její povrch bude vystaven intenzivnímu opotřebení. Tyto vlivy mohou vnitřní pnutí uvolnit nebo odstranit a součást se proto může znovu zdeformovat. [1]

Technologický postup rovnání místním povrchovým ohřevem:

- Deformovaná součást se nejprve proměří a tím se zjistí místa, velikost i tvar deformací.
- V případě použití místního povrchového ohřevu se označí všechny „vypoukliny“.
- Na označených místech se provede místní povrchový ohřev. Ohřev je nutno provést rychle, tj. použije se například velký autogenní hořák. Teplo je nutno přivádět pouze do jednoho místa, hořákem se nepohybuje.
- Chladnutí je vhodné urychlit.
- Po vychladnutí se součást znovu proměří
- Podle potřeby se provedou další ohřevy, tak aby nebylo tepelně ovlivněno místo již jednou ohřáté. [1]

1.5.4 Renovace součástí s trhlinami a lomy

Příčinami vzniku trhlin a lomů na součástech je vedle nevhodné konstrukce a nevhodné technologie výroby nejčastěji nevhodný provoz stroje, vedoucí k nadměrnému namáhání strojních součástí vnějšími silami, popř. k nadměrnému tepelnému namáhání. U součástí

vyrobených z houževnatých (tažných) materiálů dochází za těchto podmínek ke vzniku deformací, u součástí vyrobených z materiálů o malé tažnosti pak ke vzniku lomů.

Podle způsobu vzniku se může jednat o lom:

- křehký (statický),
- únavový (dynamický).

Křehký lom vznikne, je-li namáhání větší než pevnost materiálu. V případech, kdy je v materiálu součásti pnutí, například po svařování nebo od dalšího namáhání, může dojít k překročení zbytkové pevnosti i při normálním provozu. Celá lomová plocha má stejný vzhled, povrch je na pohled jemně nebo hrubě drsný.

Únavový lom vznikne, je-li namáhání v čase proměnlivé. Typickým příkladem je otáčející se hřídel, na který současně působí síla stálého směru (poloosa automobilu, hřídel s řemenicí pro klínové řemeny), nebo součást, na kterou působí zatížení proměnlivé velikosti nebo směru (nástroj sbíječky, vozidlové pero. Lomová plocha (není-li druhotně poškozena) má dvě zřetelně odlišné části:

- Část únavovou, charakteristického lasturovitého vzhledu.
- Část statickou, která má vzhled statického lomu.

Vyskytne-li se únavový lom, součást se vyměňuje. Její oprava (renovace) není vhodná, protože poškození (lom) je důsledkem cyklicky opakovaného namáhání. To vede ke vzniku a hromadění vnitřních mikroskopických poškození a to i v jiných průřezech součástí, než v kterém vznikl únavový lom. Tato vnitřní poškození v součásti zůstanou i po případné opravě a nový únavový lom může vzniknout již po mnohem menším počtu cyklů. [1]

1.5.4.1 Možnosti oprav

Možností oprav součástí s lomem (trhlinou) je více. Při výběru je nutno vždy uvážit všechny rozhodující okolnosti, zejména příčiny vzniku poškození, způsob a velikost namáhání a materiál součásti.

- Použití plastických kovů je vhodné pro všechny materiály tehdy, je-li požadována především těsnost opraveného místa.
- Svařování je vhodné pro opravy trhlin a lomů na ocelových součástech a na součástech z lehkých slitin. V těchto případech se uplatňují stejné technologické

zásady postupu a volí se stejné materiály jako při konstrukčním svařování těchto materiálů.

- Svařování litinových součástí vyžaduje speciální postup a speciální materiály.
- Oprava metodou Metallock je vhodná především pro litinové součásti. [1]

1.5.4.1.1 Svařování litinových součástí

Pro svařování již opracovaných součástí je vhodný způsob svařování obloukem tzv. „za studena“, tj. bez přehřátí. Tento způsob vyžaduje zvlášť pečlivé dodržování postupu, ale při pečlivém a správném provedení jsou výsledky většinou vyhovující, nedochází k poškození ostatních opracovaných ploch, často není nutná ani úplná demontáž. Proto je tento způsob zejména v opravárenství velmi rozšířen a téměř výhradně používán. „Za studena“ se šedá litina svařuje výhradně elektrickým obloukem, volit je nutno jen nejlepší elektrody speciálně pro tento účel vyráběné. Správný postup je tento:

1. Zajistí se konce všech trhlin proti dalšímu šíření. To se provede vyvrtáním díry přiměřeného průměru v koncích trhlin, nebo krátkými příčnými housenkami, za koncem každé trhliny.
2. Připraví se úkosy pro svařování, nejvýhodněji speciální drážkovací elektrodou.
3. Celý svár se rozdělí na krátké úseky (o délce max. rovné 1,5násobku tloušťky materiálu, raději však kratší).
4. Provede se první krátká housenka v prvním zvoleném úseku. Použije se elektroda, která se předem vyzkouší na vzorku stejné litiny a která se s danou litinou dobře spojuje. Nastaví se nejmenší možný proud, udržuje se krátký oblouk, elektroda se drží kolmo.
5. Ihned po položení housenky, dokud je ještě žhavá, se housenka důkladně proková nosem zámečnického kladiva (ne ostrým svářečským kladívkem, aby nevznikly vruby).
6. Svařovaný kus se nechá vychladnout pod 50 °C (až se na housence udrží ruka).
7. Po vychladnutí se položí druhá housenka, která asi jednou třetinou leží na předcházející, opět se ihned proková, nechá vychladnout atd. Oblouk se zapaluje vždy jen na dříve položené housence, ne na základním materiálu.
8. Takto se postupuje, až se provede celý svár. Je třeba se vyvarovat spěchu, neprodulžovat housenky a nechat součást po každé housence vychladnout.

V případě, že prvé housenky jsou silně pórovité (bývá to u zamaštěné litiny) se tyto pórovité housenky odstraní (vydrážkují, odsekají, odbrousí) a svařuje se znovu. To se opakuje tak dlouho, až pórovitost zmizí. (Odstraňované housenky se označují jako „odplyňovací“). Pokud byl úkos pro svařování připraven drážkováním, většinou se už pórovitost v důsledku mastnot v litině nevyskytuje. Drážkování jako příprava úkosů pro svařování je velmi výhodný způsob. Drážkovací elektroda má obal takového složení, že při hoření vzniká velké množství plynů, které spolu s dynamickými účinky oblouku spolehlivě vyfukují roztavený kov. Pracuje se tak, že elektroda se upne do držáku ve směru osy kabelu. Elektroda je kontaktní, tj. stačí ji opřít obalem o materiál a během tří až čtyř sekund se oblouk sám zapálí. Ihned nato se elektroda skloní až na úhel asi 15 stupňů vzhledem k povrchu materiálu. Postupuje se v požadovaném směru vratným (škrabákovým) pohybem. Rychlost postupu je poměrně vysoká, několikrát vyšší než při svařování. Po krátkém zácviku zvládne drážkování snadno každý svářeč. Správně provedená drážka je pravidelná, stálé šířky a hloubky, s hladkým a čistým povrchem, materiál není téměř zahřát (většina tepla odchází v nataveném vyfoukaném materiálu). Postup kladení housenek při svařování šedé litiny je důležitý. Při správném postupu se dále omezuje pnutí v oblasti sváru, vyvolané tepelnou dilatací materiálu. Elektrody pro svařování šedé litiny za studena jsou pro tento účel speciálně vyráběné. Obsahují velké procento niklu, popř. mědi. Tyto kovy působí příznivě z metalurgického hlediska a mají pro tento účel příznivé mechanické vlastnosti. [1]

1.5.4.1.2 Svařování lehkých slitin

Lehké slitiny na bázi hliníku patří k nejrozšířenějším neželezným materiálům. Součásti z hliníkových slitin se vyrábějí nejčastěji tvářením a litím. Hlavní vlastnosti, ovlivňující možnost svařování, jsou tyto:

- Bod tavení hliníku a jeho slitin se pohybuje v rozmezí 580 až 650 °C, ale měrné a skupenské teplo je téměř dvojnásobné než u oceli, takže k roztavení jednotky hmotnosti je potřeba téměř stejného množství tepla jako pro ocel.
- Součinitel tepelné roztažnosti hliníku je více než dvakrát větší než u oceli a tepelná vodivost hliníku je téměř čtyřikrát větší než oceli, takže šířka tepelně ovlivněného pásma kolem svaru je podstatně větší a také pnutí v okolí svarů, vyvolané tepelnou dilatací je větší.

- Hliník je citlivý na korozi, působenou místními rozdíly ve složení, které se obvykle vyskytují v okolí svarů.
- Na povrchu hliníku i jeho slitin se tvoří vrstva oxidu, který má teplotu tání více než 2000 °C. S teplotou nemění hliník ani jeho slitiny barvu, takže svářeč zrakem nemůže teplotu odhadnout.

Všechny uvedené vlastnosti hliníku a jeho slitin žádají odlišné postupy při jejich svařování než oceli. Rovněž nároky na zručnost a zkušenost svářeče jsou podstatně vyšší než u ocelí. Nejdostupnějším způsobem svařování hliníkových slitin je svařování obloukem obalenou elektrodou. Nejlepší výsledky z hlediska kvality svarů se dosahují obloukem v ochranné atmosféře argonu (metoda WIG⁴). Při svařování obloukem kovovou obalenou elektrodou se používá speciální elektroda, jejíž obal působí zároveň jako tavidlo. Oblouk svými účinky dobře rozrušuje oxidovou vrstvu, obal tomuto účinku napomáhá chemicky. Příprava před svařováním je obdobná jako při svařování plamenem. Elektroda se volí pokud možno stejného složení jako základní materiál, popř. se zvýšeným obsahem křemíku. Strusku je ze svarů nutno důkladně odstranit, jako u svařování plamenem. Obal elektrod je hygroskopický, před použitím musí být elektrody dobře a důkladně vysušeny. Před svařováním je materiál nutno předehřát na teplotu 200 až 250 °C. Svařuje se pokud možno v poloze vodorovné shora, místo svaru se dobře zaformuje kovovými nebo grafitovými podložkami a příložkami. Svařování v polohách je možné, ale obtížné. Svařování je dvakrát až třikrát rychlejší než při svařování oceli a také proto je náročné na zručnost. Pro zmenšení deformací je důležitý správný postup kladení housenek. Vždy se kladou housenky střídavě, tzv. poutnickým krokem, tj. svařují se kratší úseky a housenka se klade proti směru postupu svařování. Při svařování metodou WIG lze získat nejkvalitnější svar. Ochranu oblouku a tavné lázni poskytuje argon 4.8, který musí mít čistotu nejméně 99,998%. Tavidlo se nepoužívá, ovšem materiál je pro svařování třeba připravit stejným způsobem a stejně pečlivě jako u jiných způsobů svařování. Svařovat lze ve všech polohách. Přídavný materiál se používá ve formě drátu nebo pásku, stejný jako pro svařování plamenem. Používá se zásadně střídavý proud. Svařuje se dopředu (doleva). Obloukem se nataví základní materiál, potom se vrátí oblouk mírně zpět a do přední strany tavné lázně se krátkým vbodnutím přidá přídavný materiál, nataví se další úsek atd. Je nutno postupovat poměrně rychle, to klade značné nároky na

⁴ WIG – Wolfram Inert Gas

zručnost a zapracovanost svářeče. Materiál, zejména při větších tloušťkách, se přehřívá stejně jako u svařování obalenou elektrodou, tj. na 200 - 250 °C. [1]

1.6 Porovnání renovace a výroby nových součástí

Konkrétní práce, které je třeba při renovaci vykonat, jsou velmi rozmanité a závisí na řadě okolností. Většina při renovaci prováděných operací je zcela totožná s operacemi výrobními. Jsou to zpravidla dokončovací operace. Pouze některé operace jsou specifické právě pro renovaci a při výrobě nových součástí se nevyskytují. Proto je logické a zcela přirozené, že renovace jako obor přejímá technologické postupy, zařízení, materiály i zkušenosti z výroby a přizpůsobuje si je vlastním požadavkům a potřebám. Současně se v renovaci objevují i technologie původní, které naopak přebírá výroba nových součástí. Do renovace součástí se zahrnují i postupy, jejichž cílem je zlepšit některé vlastnosti součástí (např. zvýšení odolnosti součástí v daných podmínkách). Tato opatření, jsou-li vhodně provedena, prodlužují technický život takto upravených součástí, i když by tato jejich úprava nebyla nezbytná z hlediska jejich funkce. Příkladem je navařování nástrojů pro zpracování půdy zemědělských strojů, radlic buldozerů, zubů a korečků bagrů apod. Podobná vylepšení u strojů se obvykle označují jako modernizace, u strojních součástí se však tento termín nevžil. Z odlišností v technologickém postupu výroby nové součásti a renovací téže součásti poškozené vyplývají také možné rozdíly v nákladech. Znázorníme si oba případy na příkladu klikového hřídele motoru, který je běžně renovován přebroušením na opravný rozměr.

Z tohoto jednoduchého porovnání je zřejmé, že získat plně funkční klikový hřídel přebroušením hřídele opotřebovaného může být zřetelně levnější než vyrobit hřídel nový. Jenom rozdíl v nákladech (ceně) však není dostatečným důvodem k tomu, aby byl přednostně použit hřídel přebroušený před novým. Další podmínkou, která musí být zároveň splněna je, aby i další vlastnosti přebroušeného hřídele odpovídaly novému hřídeli. Nejdůležitější z těchto dalších vlastností je zřejmě trvanlivost (životnost). Zároveň je ze srovnání postupu výroby a renovace stejné součásti zřejmé, že poškozená součást vhodná k renovaci má vyšší hodnotu než je její cena jako šrotu. Taková poškozená součást je polotovarem pro získání renovované součásti a zřejmě tedy její hodnota může

dosahovat rozdílu mezi cenou nové a renovované součásti. Tato skutečnost může být zdrojem zisku. [1]

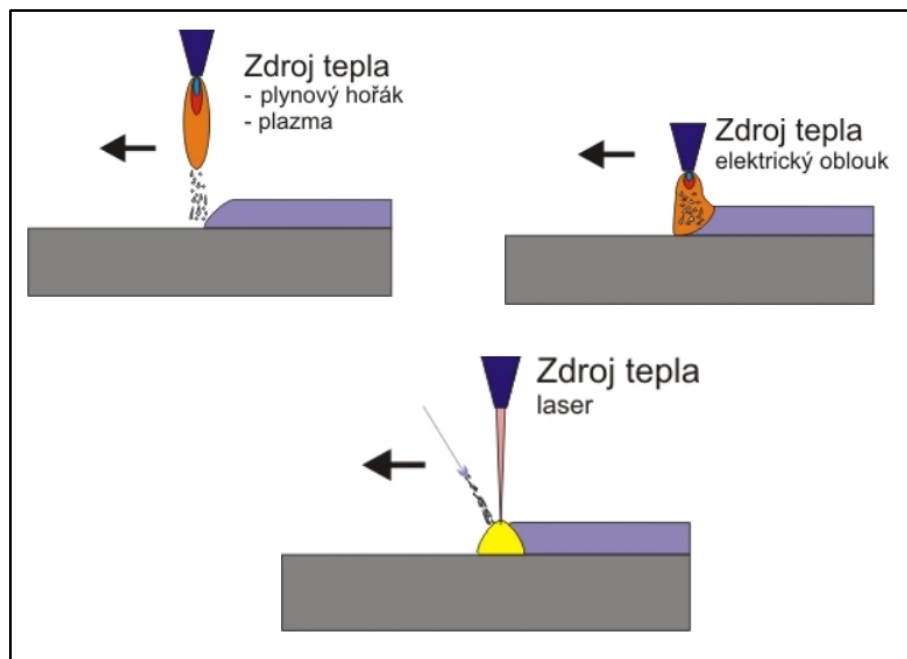
1.7 Navařování

Vedle spojovacího svařování, které dnes nesporně patří mezi nejdůležitější technologie, umožňující vytváření důmyslných konstrukcí, hospodárnou výrobu strojů, zařízení i užitných předmětů, které zasahuje do mnoha oblastí lidské činnosti, včetně umění, jež velmi vhodně doplňuje nánosové svařování, pro které se častěji užívá technický termín navařování.

Tato technologie, určená pro vytváření homogenních vrstev spojených se základem metalicky, se používá k mnoha účelům od běžného doplnění rozměru opotřebeného výrobku nebo součásti, až po vytvoření vrstvy se zcela odlišnými vlastnostmi od základu, na kterém je navařování provedeno. Používá se dnes v širokém rozsahu jako součást výrobních technologie a také jako prostředek ke zvyšování životnosti strojů, zatížení, součástí i nástrojů ve výrobě, údržbě i opravárenství. Navařování dosáhlo v posledních desetiletích značného rozšíření, díky rozvoji navařovacích technologií a návarových materiálů.

Jde o metalurgický proces, při kterém je základ nataven působením použitého zdroje tepla, který rovněž utavuje zvolený návarový (přídavný) materiál, čímž se na základu vytváří homogenní kovová nebo slitinová vrstva. Zdrojem tepla přitom může být:

- plamen hořlavého plynu ve směsi s kyslíkem,
- elektrický oblouk,
- plazma,
- laser,
- exotermická reakce.



Obrázek 1.8 - Zdroj tepla při navařování

Zdroj: [7]

Cílem navařování je co nejvíce snížit hloubku závaru a tím i podíl základního materiálu v návarovém kovu, což také příznivě ovlivňuje množství tepla vneseného do navařovaného dílce a tím i menší deformace a pnutí. Je proto zapotřebí pro jednotlivé technologie volit takový postup, který hloubku závaru optimálně sníží.

Mezi výhody navařování patří:

- navařená vrstva je kompaktní,
- se základem je spojena metalicky,
- se základem má pevnost odpovídající minimálně pevnosti základu,
- pomocí vhodných prvků a jejich kombinace lze dosáhnout potřebných vlastností funkčního povrchu,
- proces navařování lze mechanizovat až k vyššímu stupni automatizace,
- dovoluje zhotovovat vrstvy o větší tloušťce,
- tepelným zpracováním získat vhodné vlastnosti základu i návaru,
- ruční způsoby navařování jsou zpravidla nenáročné na pořizovací náklady.

Nevýhodami jsou zejména:

- základní materiál je vysoce tepelně ovlivněn,
- dochází ke změně struktury základu v přechodu základ – návar,
- u návarů na ušlechtilé základní materiály musí být zpravidla základ předeřhát,

- je obtížné navařováním zhotovit velmi tenké vrstvy,
- proces je energeticky náročnější. [3]

1.7.1 Způsoby navařování

1.7.1.1 Manuální navařování

Při manuálním navařování vede svářeč přídavný materiál k místu obrábění "ručně". Jako přídavný materiál se u této metody většinou používá tenký drát o průměru 0,15 až 0,6 milimetrů. Laserový paprsek drát roztaví. Tavenina se pevně spojí se základním materiálem, který se rovněž nataví, a poté opět ztuhne. Zůstane zde malý hrbolek. Bod za bodem, linií za linií a vrstvou za vrstvou vytváří svářeč požadovaný tvar. Proud argonu izoluje pracovní proces před vzduchem. Na závěr se obnoví původní tvar, například broušením, soustružením, frézováním nebo rozbrušováním. [4]

1.7.1.2 Automatické navařování

Při automatizovaném navařování je přídavný materiál veden k místu obrábění strojně. To může rovněž být drát, přesto se u této techniky používá jako materiál převážně kovový prášek. Kovový prášek se nanáší na základní materiál ve vrstvách a bez pórů a trhlin se roztaví se základním materiálem. Přitom je kovový prášek s vysokou pevností spojen svarem s povrchem. Po vychladnutí vznikne kovová vrstva, kterou je možné mechanicky zpracovávat. Zvláštností přitom je, že lze cíleně vytvořit několik stejných nebo také různých kovových vrstev. [4]

1.7.2 Porovnání metod navařování

Tabulka 1.1 - Porovnání metod navařování

Vlastnost	Laserové navařování	Elektrický oblouk	Plazma + plamen	PVD	CVD
Adheze	vysoká	vysoká	střední	nízká	nízká
Rozpouštění	vysoké	vysoké	nulové	nulové	nulové
Materiály	kov, keramika		kov, keramika	kov, keramika	kov, keramika
Tloušťka	50 μm – 2 mm	1 – několik mm	50 μm – několik mm	0,05 μm – 20 μm	0,05 μm – 10 μm
Reprodukovatelnost procesu	střední - vysoká	střední	střední	vysoká	vysoká
TOO ⁵	malá	vysoká	vysoká	velmi malá	velmi malá
Ovladatelnost procesu	střední - vysoká	nízká	střední	střední - vysoká	střední - vysoká
Cena	vysoká	střední	střední	vysoká	vysoká

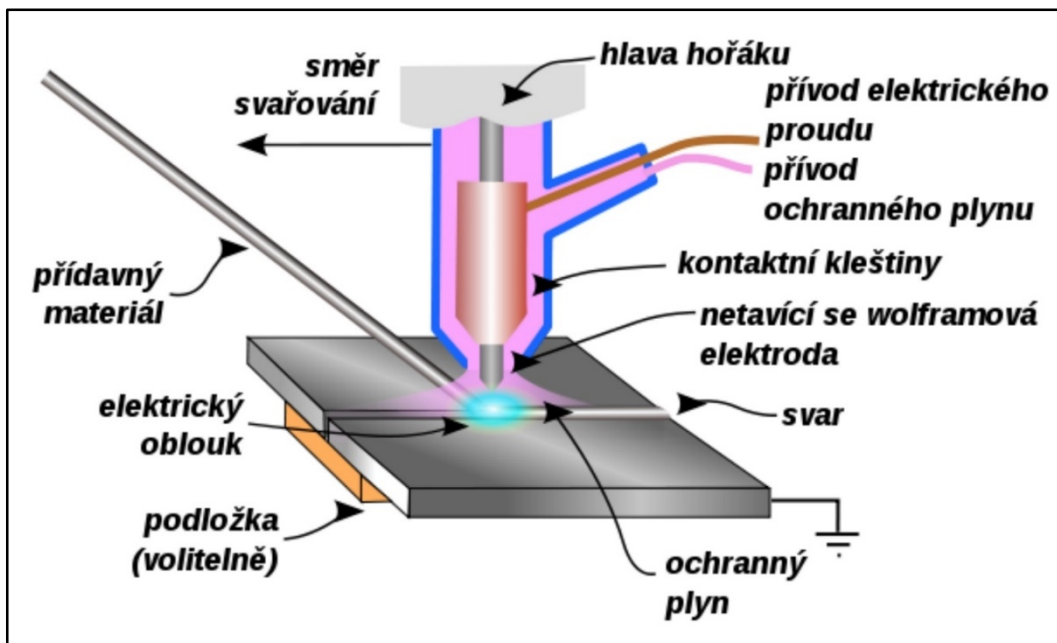
Zdroj: [7]

1.7.2.1 Svařování wolframovou elektrodou v atmosféře inertního plynu WIG – TIG

Při svařování metodou WIG (Wolfram Inert Gas Welding), TIG (Tungsten Inert Gas Welding) hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranu elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě minimálně 99,998 %. Používá se argonu, helia nebo jejich směsí. Svařování lze realizovat s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem, nebo automatické svařování s podavačem drátu s proměnnou rychlostí jeho podávání dle postupu svařování. Obecně lze svařování rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden a další. Pro svařování uhlíkové oceli se metoda WIG používá méně z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a z ekonomického hlediska. Svařování wolframovou elektrodou se používá i pro spojování

⁵ TOO – Tepelně ovlivnitelné oblasti

obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku např. titan a zirkon. Lze svařovat i různorodé materiály – ocel s mědí, bronzem nebo niklovými slitinami a návary v oblasti renovací např. nástrojové oceli, niklové a kobaltové tvrdonávary. Svařování WIG má výrazný růst objemu svařečských aplikací což se připisuje vysoké kvalitě spojů, operativností řízení procesu svařování a vysokému stupni automatizace a robotizace. [5]



Obrázek 1.9 - Princip svařování TIG

Zdroj: [6]

1.7.2.2 Laserové navařování

Název LASER vznikl ze začátečních písmen anglického popisu samotné podstaty jeho principu činnosti Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla stimulovanou emisí záření. Proces zesílení má charakter řetězové reakce a je dále zvyšován průchody rezonátorem – aktivním prostředím laseru, které je uzavřeno dvěma zrcadly se vzdáleností rovnající se násobku vlnové délky emitovaného záření. Zrcadlo se 100 % odrazivostí vrací všechny fotony do aktivního prostředí, ale polopropustné zrcadlo s 80 % až 90 % odrazivostí propustí po dosažení kritického množství fotonů část záření ve formě krátkého vysokoenergetického pulsu. Opakovací frekvence současných pevnolátkových laserů se pohybuje mezi 1 až 500 Hz⁶ (laser Nd:YAG může pracovat i v kontinuálním provozu) a celková energie pulsu 0,1 až 200 J⁷.

⁶ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4

⁷ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4

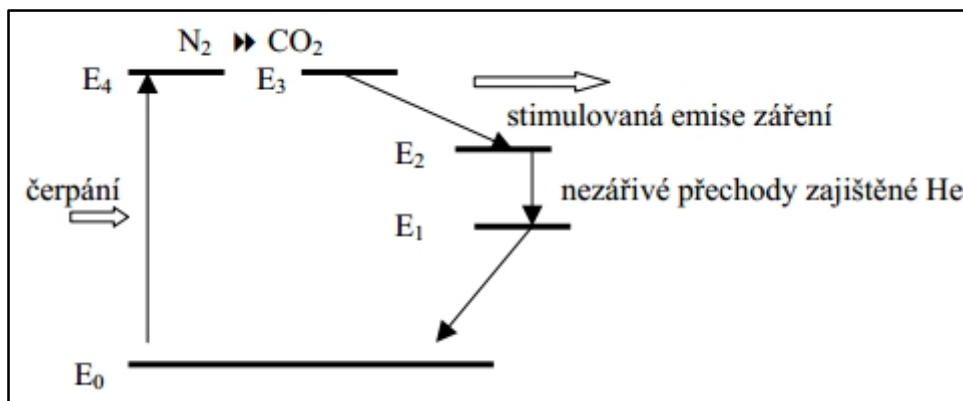
Tabulka 1.2 - Druhy pevnolátkových laserů používaných ve svařování

Název	Aktivní prostředí		Vlnová délka λ (μm)
	Iont	Materiál	
rubín	Cr^{3+}	Al_2O_3	0,694
Neodymové sklo	Nd^{3+}	sklo	1,060
Nd: YAG	Nd^{3+}	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	1,065

Zdroj: [5]

Aktivní prostředí je tvořeno výbrusem daného druhu materiálu a čerpání je zajištěno kryptonovými výbojkami uzavřenými v reflexní dutině. Z laseru vychází záření, které není fokusováno a je vedeno zrcadly do technologické hlavy v které je provedena fokusace na povrch svařovaného materiálu, (střed řezaného materiálu). Velká výhoda pevnolátkových laserů je možnost vedení částečně fokusovaného svazku pomocí světlovodných kabelů. Výkonový plynový CO_2 laser má aktivní prostředí tvořeno směsí plynů: $\text{He} + \text{N}_2 + \text{CO}_2$ uzavřených ve skleněné trubici. Poměr plynů může být různý, ale nejběžnější je 82 : 13,5 : 4,5. Celý proces zesílení začíná excitací molekuly dusíku na vibrační hladinu E_4 . Při srážkách molekul dusíku s molekulami oxidu uhličitého dochází k rezonančnímu přenosu energie a excitaci CO_2 na hladinu E_3 . Vyzáření fotonu je realizováno při přechodu molekuly CO_2 z hladiny E_3 na hladinu E_2 . Aby nedošlo při kontinuálním vyzáření ke snížení inverze, je nutné zajistit návrat molekul CO_2 z hladiny E_2 na základní hladinu E_0 . U výkonových plynových laserů se pro návrat molekuly CO_2 do základního stavu používá helium, které odnímá oxidu uhličitému excitační energii a díky vysoké tepelné vodivosti ochlazuje aktivní prostředí laseru obr. Plynové lasery CO_2 mohou pracovat v kontinuálním nebo pulsním režimu a jejich výkon se běžně pohybuje od 0,5 do 20 kW⁸, přičemž max. hodnoty dosahují až 200 kW. Vlnová délka záření je 10,6 μm , účinnost plynových CO_2 laserů je vyšší než u pevnolátkových laserů a dosahuje až 20%.

⁸ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4



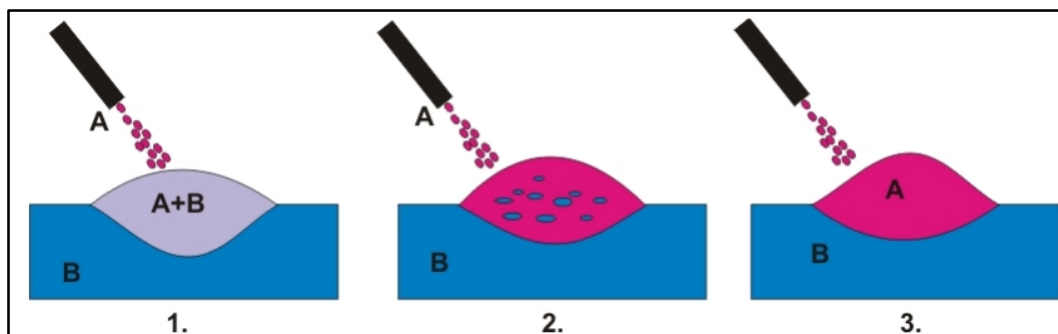
Obrázek 1.10 - Princip plynového laseru

Zdroj: [5]

Při svařování laserem vzniká kapilára vyplněná parami kovu pod vysokým tlakem. Páry kovů jsou vysokou teplotou ionizovány a tato laserem indukovaná plazma tryská vysokou rychlostí z místa svaru. Plazma brání pronikání fotonů do svarové spáry, pohlcuje velkou část záření svazku a snižuje hloubku průniku fotonů. Tato plazma se běžně vychyluje ofukováním ochranným plynem Ar, Ar + CO₂, N₂ a nejlepší výsledky vykazuje He. Ochranný plyn současně chrání tavnou lázeň a tuhneící svarový kov před oxidací vzdušným kyslíkem. Výborné výsledky svařování se dosahují u vysokolegovaných ocelí, niklu, molybdenu aj. Lasery umožňují velmi rychlý ohřev a svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí – Cu, Ag, Al i materiály s vysokou teplotou tavení W, Mo, Ta, Zr, Ti atd. Změna hustoty výkonu v dopadové ploše ovlivňuje rozměr i geometrii svarové lázně. Při malých hustotách do 10⁶ W×cm² dochází k přenosu tepla a formování svarové lázně hlavně vedením a je vhodné pro spojování tenkých plechů. Vysokou hustotou výkonu lze svařovat velké tloušťky materiálu a také využít pro řezání laserem.

Stupně navařování laserem:

1. Laserové slévání (laser alloying)
2. Laserové glazování (laser glazing)
3. Laserové plátování (laser cladding)



Obrázek 1.11 - Stupně navařování laserem

Zdroj: [7]

1.8 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění patří mezi jednu z nejrozšířenějších metod nekonvenčního obrábění, mimo jiné využívá též elektrotepelných principů úběru materiálu. Ve firmách se s ní setkáváme pod zkratkou EDM (Elektro Discharge Maschining).

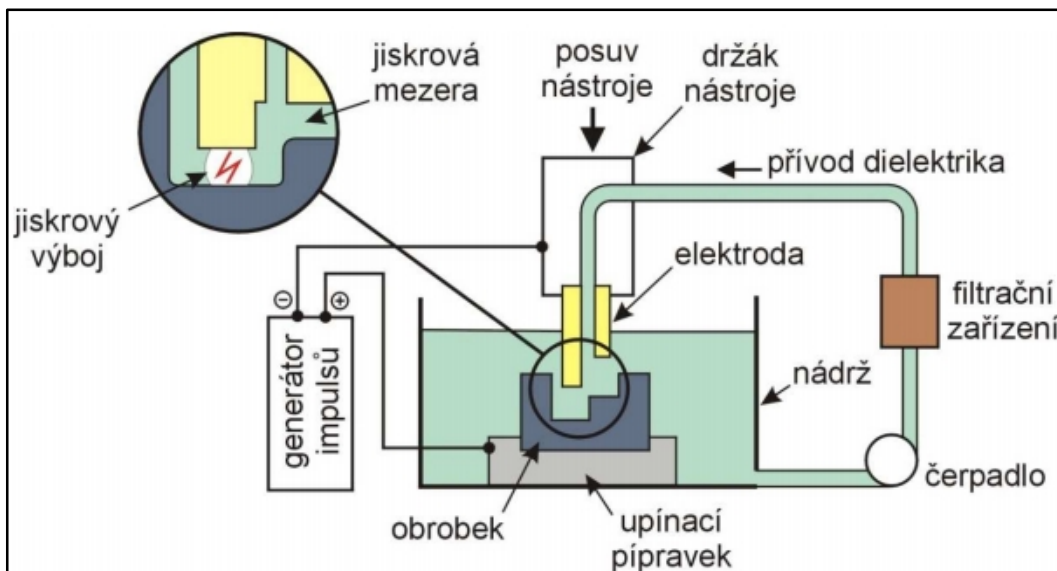
1.8.1 Princip elektroerozivního obrábění

Při přiblížení obrobku a nástroje (elektrody), na který je přivedeno elektrické pulzní napětí, dojde k rychle periodicky opakujícímu se jiskrovému výboji. Vlastní proces obrábění musí být ponořen pod pracovním médiem – dielektrikum, to je kapalina s vysokým elektrickým odporem. Za úkol má také odplavovat erodované částičky a chladící účinky. Vzdálenost mezi obrobkem a elektrodou záleží:

- na izolačních vlastnostech dielektrika,
- na stupni znečištění daného dielektrika,
- na vzdálenosti mezi obrobkem a elektrodou. [8]

Výboj vzniká na místě s nejsilnějším napěťovým elektrickým polem. Vlivem působení elektrického napěťového pole mezi elektrodami se uvádějí do pohybu volné záporné a kladné ionty. Ty se zrychlují a nabývají vysoké rychlosti. Tímto způsobem se vytvoří ionizovaný (vodivý) kanál. Díky němu začíná mezi elektrodami protékat elektrický proud a vznikají výboje, které mají za následek řadu dalších srážek částic. V takto vzniklém plazmovém pásmu se teplota pohybuje kolem 3000 – 12.000 °C. Vlivem této vysoké teploty se taví a odpařuje určité množství materiálu na elektrodách. Protože se současně vlivem vysoké teploty odpařuje dielektrikum, vzniká plynová bublina, jejíž tlak obsahuje

vysoké hodnoty. Pokud dojde k přerušení proudu, vyvolá se pokles teploty a tím imploze bubliny. Do uzavřeného prostoru ihned proniká dielektrikum, které s vysokými hodnotami dynamických sil mají za následek vymrštění roztaveného materiálu z kráteru. Chladicím účinkem dielektrika materiál tuhne a je odváděn ve formě drobných částecek. Na povrchu elektrod vznikají drobné krátery. [10]



Obrázek 1.12 - Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění

Zdroj: [9]

1.8.2 Technologické využití elektroerozivního obrábění

Technologické využití principu elektroerozivního obrábění existuje v průmyslu v několika modifikacích:

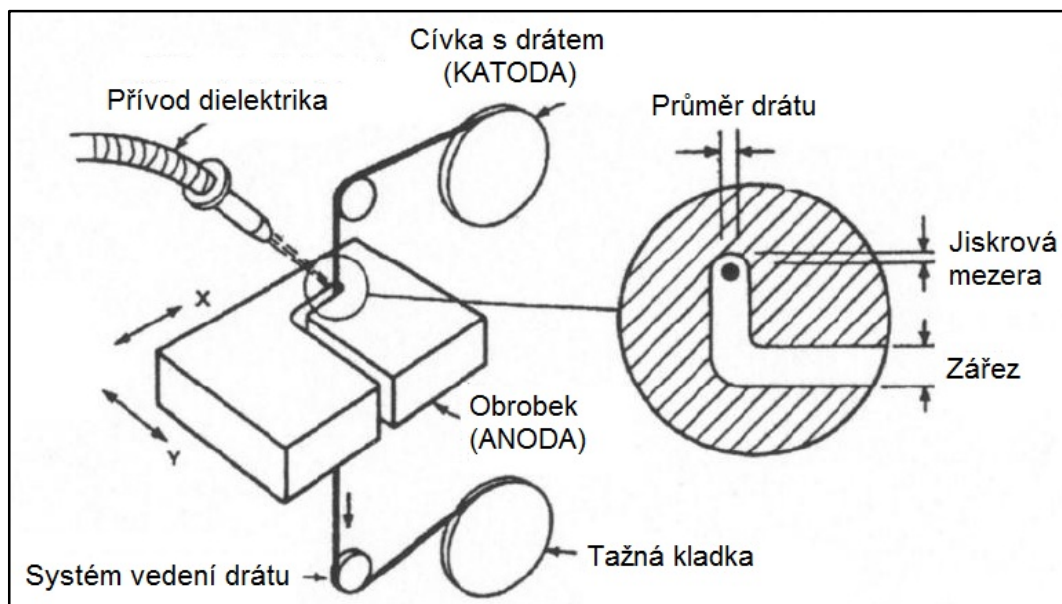
- elektroerozivní hloubení,
- elektroerozivní řezání drátem
- elektroerozivní mikroděrování,
- elektroerozivní nanášení povlaků,
- elektrokontaktní obrábění,
- anodomechanické řezání.

1.8.3 Elektroerozivní řezání drátem

Elektrojiskrové drátové řezání (Wire Electrical Discharge Machining – WEDM, často také nazývané Traveling Wire EDM) je progresivní modifikací elektrojiskrového obrábění. Jeho zavedení znamenalo výrazný pokrok ve výrobě tvářecích nástrojů,

především pak střížných a lisovacích nástrojů. Tato metoda technologie používá jako nástrojovou elektrodu tenký vodivý drát. Ten je odvíjen ze zásobníku (cívky), projde místem řezu pouze jednou a dále se již nepoužívá, čímž je vyloučeno opotřebení nástroje jako takového a obrábíme za stále konstantních řezných podmínek.

Metoda využívá veškeré výše zmíněné zákonitosti elektrické eroze uvedené v předchozí kapitole. Nástrojem je zde tenký drát, který se pro vyloučení opotřebení odvíjí pomocí speciálního zařízení. Obráběná součástka je připojena jako elektroda opačné polaroty. Způsob zapojení je dán polaritou a typem výbojů. Dnes se v převážné míře používají tranzistorové generátory, pro které je charakteristická přímá polarita (nástroj jako katoda, obrobek jako anoda). Elektrickými výboji, vznikajícími mezi drátovou elektrodou a obrobkem se vytváří pracovní mezera a tím se realizuje vlastní řez. [12]



Obrázek 1.13 - Princip WEDM metody

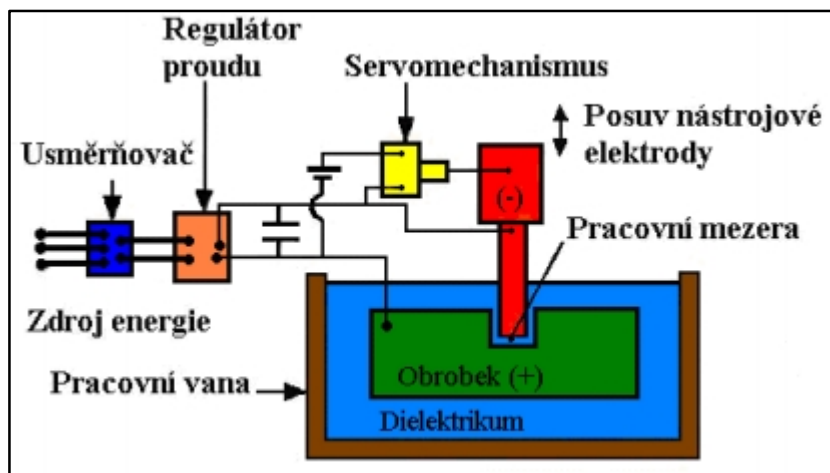
Zdroj: [11]

1.8.4 Elektroerozivní hloubení

Fyzikální pochod úběru materiálu elektrickým výbojem je velmi komplexní jev. Obrázek 1.14 ukazuje, že obrábění probíhá na dvou elektrodách při ponoření do pracovního média. Tímto pracovním médiem je dielektrikum, tj. kapalina s vysokým elektrickým odporem. Vznik výboje mezi elektrodami je vyvolán přivedením napětí na vodivé elektrody. Výše tohoto napětí závisí především na následujících faktorech:

- vzdálenost mezi elektrodami,

- vodivost dielektrické kapaliny,
- znečištění dielektrika.



Obrázek 1.14 - Princip elektroerozivního hloubení

Zdroj: [13]

Ke vzniku výboje dochází v místě nejsilnějšího elektrického napěťového pole. Vlivem působení tohoto pole se uvádějí do pohybu volné záporné a kladné ionty, zrychlují se a nabývají vysoké rychlosti. To vede ke vzniku ionizovaného (vodivého) kanálu. V tomto stavu začíná mezi elektrodami protékat elektrický proud a mezi elektrodami vzniká výboj, jenž vyvolává řadu dalších srážek částic. Vzniká plazmové pásmo, které dosahuje velmi vysokých teplot (podle typu výboje 3000 – 12000 °C). To způsobuje tavení a odpařování určitého množství materiálu na obou elektrodách. Současně vzniká odpařováním dielektrika plynová bublina, jejíž tlak dosahuje vysoké hodnoty. V okamžiku přerušení proudu vyvolá pokles teploty implozi této bubliny. Do uzavřeného prostoru proniká dielektrikum a velké dynamické síly vymrštují roztavený materiál z krátera. V důsledku chladicího účinku dielektrika tento materiál tuhne a je odváděn ve formě drobných kuliček. [13]

2 CÍL A METODIKA PRÁCE

2.1 Cíl práce

Cílem práce je porovnat a technicko-ekonomicky zhodnotit používané technologické postupy renovace dílů za použití speciálních strojírenských technologií u vybraných strojních součástí.

1. Technologické postupy používané pro renovaci.
2. Kritéria pro volbu technologického postupu.
3. Aplikace technologického postupu na vybraných součástech.
4. Kontrola kvality a rozměrových parametrů pro renovaci.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení renovace.

2.2 Metodika

Pro vytvoření metodologického rámce byly prostudovány literární zdroje, které se zabývají problematikou renovací. Získané informace jsou zpracovány v literární rešerši. Ve vlastní studii byly vybrány dvě součásti pro renovaci, u nichž je nutné použít speciální metody strojírenských technologií. U každé součásti byl zvolen technologický postup pro opravu. Byla provedena kontrola jakosti materiálu a stav poškození na součástech, před a po renovaci. Dle vybraných technologických postupů bylo zhodnoceno, jestli je oprava cenově výhodnější než koupě nového dílu a jestli bylo dosaženo patřičné kvality provedené opravy a životnosti součástí.

2.2.1 Zvolené metody

Literární rešerše

Studium ohledně problematiky renovací strojních součástí. Prameny informací pro literární rešerši byly odborné publikace, internetové zdroje a odborné články.

Renovace opotřebených součástí na jejich původní rozměry

U vybraných poškozených součástí je důležité je renovovat na jejich původní rozměr. Jen tak bude zaručená správná funkčnost a možnost bezproblémově zpět namontovat díl do funkční sestavy. Po renovaci má součást lepší nebo původní vlastnosti, nevýhodou je někdy komplikovaný technologický postup.

Hodnocení tvrdosti

Tvrdost je definovaná jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Hodnocení tvrdosti lze stanovit jako analýzu základního materiálu pomocí metody zkoušky tvrdosti podle Rockwella (ČSN 42 0373⁹) označované jako metoda HRc¹⁰. Jedná se o statickou metodu.

Princip:

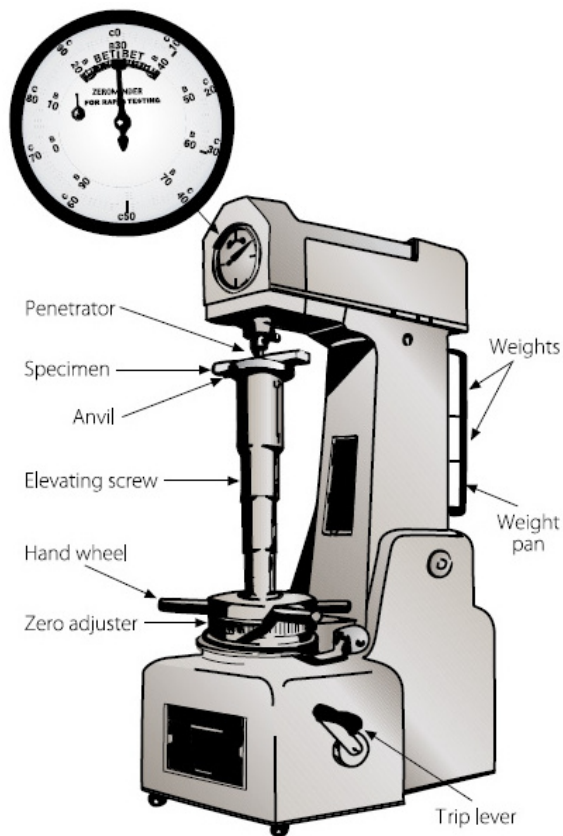
Diamantový kužel nebo ocelová kulička, dotýkající se povrchu zkoušeného předmětu, se nejprve předběžně zatíží silou 100 N¹¹ (výchozí poloha pro měření hloubky vtisku). Potom se pozvolna zvětšuje zatěžovací síla tak, aby se za 3 až 6 sekund dosáhlo zatížení předepsané normou (např. předběžné zatížení silou 100 N + zkušební zatížení silou 1400 N = celkové zatížení silou 1500 N). Pak se zatěžující síla opět zmenšuje až na 100 N a v tomto stavu se zjistí přírůstek h hloubky vtisku, který nastal proti výchozí poloze při 100 N. Zkouška tvrdosti podle Rockwella je rychlá, snadná a vpichy (důlky) jsou velmi malé (max. hloubka 0,2 mm¹²). [15]

⁹ Zkouška tvrdosti podle Rockwella. Stupnice A, B a C

¹⁰ HRc – H (Hardness) označuje tvrdost, R – metoda měření tvrdosti podle Rockwella, c – metoda měření diamantovým kuželem silou 1471 N. Měří se hloubka vtisku.

¹¹ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4

¹² Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4



Obrázek 2.1 - Schéma tvrdoměru Rockwell

Zdroj: [16]

2.3 Hypotézy

Po provedených renovacích budou zodpovězeny nebo vyvráceny následující hypotézy

2.3.1 Hypotézy pro renovaci vyvažovací hřídele

Hypotéza č. 1

Dosahuje součást po renovaci původních nebo lepších vlastností?

Hypotéza č. 2

Lze aplikovat navržený a provedený technologický postup pro praxi?

Hypotéza č. 3

U vyříznutého tvaru šestihranu je požadovaná přesnost rozměru v toleranci ± 0.01 mm.

Hypotéza č. 4

Náklady na renovaci dosahují do 30 % ceny nové součásti?

2.3.2 Hypotézy pro renovaci víka retardéru**Hypotéza č. 1**

Dosahuje součást po renovaci lepších vlastností?

Hypotéza č. 2

Lze aplikovat navržený a provedený technologický postup pro praxi?

Hypotéza č. 3

U obrobených děr je požadovaná přesnost rozměru v toleranci ± 0.01 mm.

Hypotéza č. 4

Náklady na renovaci dosahují do 30 % ceny nové součásti?

3 VLASTNÍ PRÁCE

V praxi je výrobní postup spolu s výrobními výkresy nejdůležitějšími součástmi výrobní dokumentace. Kvalitní technická dokumentace je nutnou podmínkou požadovanou v rámci zajištění kvality podle ISO¹³ 9000. Výrobní postup určuje jednoznačně způsob výroby. Vzhledem k tomu, že mnoho strojírenských technologií se možnostmi značně překrývá a podobně se překrývají i výrobní možnosti strojů, nelze většinou pro danou součást stanovit jeden jediný správný postup. Volba závisí na řadě faktorů, které se vzájemně ovlivňují. Jsou to především:

- tvar, přesnost a kvalita ploch, z kterých se součást skládá,
- sériovost výroby,
- předpokládaná technologie,
- zvolený stroj.

3.1 Kritéria pro volbu technologického postupu

1. Tvar součásti
2. Materiál součásti
3. Velikost a rozsah poškození
4. Konstrukce součásti
5. Přesnost a drsnost součásti
6. Strojní vybavení
7. Životnost

¹³ ISO – International Organization for Standardization

3.2 Aplikace technologického postupu na vybraných součástech

3.2.1 Renovace vyvažovací hřídele motorů Volkswagen

U některých typů čtyřválcových motorů koncernu Volkswagen byly použity vyvažovací hřídele na tlumení rázů. Z důvodu úspory místa byly konstrukčně umístěny hřídele do prostoru olejové vany, kde jsou poháněny pomocí klikové hřídele, a jsou součástí spodního modulu motoru včetně olejového čerpadla, které je poháněné tyčkou ve tvaru šestihranu.

3.2.1.1 Popis problému

Problém spočívá v pohonu olejového čerpadla skrz vyvažovací hřídel spojenou šestihranem. Tento šestihran je uložen ve vyvažovací hřídeli. Oblast vnitřního šestihranu je indukčně zakalena. Ovšem nemá dostatečnou tvrdost a vlivem provozního zatížení dojde po ujetí automobilu 150 tis. až 250 tis. km¹⁴ k vymačkání hran šestihranu a protočení tyčky ve vyvažovací hřídeli. To vede k zastavení olejového čerpadla a ztrátě tlaku v mazací soustavě. V horších situacích při běhu motoru bez mazání, může dojít k poškození turbodmychadla i klikové a vačkové hřídele. Případné škody na motoru proto šplhají k částkám převyšující 100 000 Kč¹⁵.

¹⁴ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4

¹⁵ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4



Obrázek 3.1 - Poškození vyvažovací hřídele

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015]

První možnost, jak řešit vzniklý problém je skrze oficiální distribuční síť náhradních dílů Volkswagen. Zde ovšem nastává problém. Výrobce Volkswagen nabízí k prodeji jako náhradní díl pouze celý modul vyvažovacích hřídelí, nikoliv samotnou vyvažovací hřídel s vnitřním šestihranem. Cena modulu v distribuční síti náhradních dílů Volkswagen činí 26 070 Kč bez DPH¹⁶. Druhá možnost je provést opravu pomocí speciálních metod strojního obrábění. Vzhledem k tvrdosti a komplikované konstrukci není umožněna oprava pomocí konvenčních metod obrábění.

¹⁶ Daň z přidané hodnoty, základní sazba 21 %

The screenshot shows the ETKA (Electronic Technical Catalog) interface for Volkswagen. It displays a technical drawing of an oil pump assembly on the left and a parts list table on the right. The table lists various components with their part numbers, names, and quantities.

POZ.	ČÍSLO DÍLU	NÁZEV	POZNÁMKA	KS	ÚDAJ O MODELU
		čerpadlo olejové merka oleje hřídel vyrovnávací F >> 3C-EE02Z 000* F >> 3C-EP010 000*	2,0 litru		diesel, motor + DMA, DKP, BMB
[1]	03G 103 295 AK	modul vyrovnávací hřídele s olejovým čerpadlem		1	
		zaroven použijte:			
	03G 105 212 D	kolo klikového hřídele		1	
	03G 103 305 C	hnací kolo	Z=33	1	
	N 911 213 01	sroub s sestihř. hlavou (kombi)	M7X18	4	
	N 911 234 01	sroub s sestihřannou hlavou	M7X85X70	3	
	N 909 775 02	sroub s sestihřannou hlavou s vnitřním mnohohranem	M7X105X39	1	
2	N 909 513 01	kroužek tesnicí kulatý	21X2	1	
3	03G 115 169 E	trubka sací olejova		1	
4	N 105 599 01	sroub s valcovou hlavou s vnitřním mnohohranem	M6X20	1	

Obrázek 3.2 - Katalog náhradních dílů VW Etká¹⁷

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

3.2.1.2 Návrh speciálního technologického postupu opravy vyvažovací hřídele

Zvolený technologický postup renovace je zaměřen na vysokou kvalitu a spolehlivost opravy. Včetně ohledu na přiměřenou cenu a náročnost opravy. Před renovací je hřídel zbavena nečistot a zkontrolována. Princip spočívá ve vytvoření zakalené vložky s vyšší tvrdostí, do níž se vyřízne na elektroerozivním drátovém stroji nová a přesná díra šestihřanu. Po obvodu vložky jsou vytvořeny plošky, které slouží proti pootočení ve vyvažovací hřídeli. Měděnou elektrodou, která má tvar negativu vložky, je vyhlouben tvar do poškozené hřídele. Poté je zalepena vložka v hřídeli.

¹⁷ Elektronický katalog náhradních dílů VW, Audi, Seat a Škoda

Tabulka 3.1 - Technologický postup renovace vyvažovací hřídele

Technologický postup		
Název součásti:		Vyvažovací hřídel
Pořadí operace:	Popis operace	Stroj - nástroj
1	Elektroerozivní vrtání	Young Tech YT-2030
2	Elektroerozivní řezání drátem	Fanuc Alpha C400iA
3	Broušení	BPH 20 NA
4	Hloubení	Penta 432 Compact
5	Lepení	Lepidlo Loctite 603
6	Kontrola rozměrů	Ruční 3D měřicí přístroj Etalon Derby
7	Kontrola tvrdosti	Automatický stolní tvrdoměr Rockwell R-150E

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Výroba polotovaru vložky

Protože bylo požadováno mít opravu co nejjednodušší a i cenově přiměřenou, bylo nutné zakoupit normalizované produkty: kalený vyházovač s válcovou hlavou, materiálu 1.2516¹⁸ s průměrem dříku 10 mm¹⁹ a s tvrdostí 60 ±2 HRc, namísto koupě tyčového materiálu 19 312²⁰ a nutnosti jej následně povrchově zušlechťovat – kalit.

Pomocí elektroerozivního vrtání na stroji Young Tech YT-2030 byla vyhloubena mosaznou trubičkou o průměru 1,0 mm startovací díra. Díra je nutná pro řezání šestihranného tvaru na drátové řezače pro provlečení mosazného drátu průměru 0,25 mm.

Vytvoření nového šestihranu do kalené vložky

Pro zaříznutí vyházovače na délku 15,0 mm a vyříznutí přesné šestihranné díry bylo využito drátové řezačky Fanuc Alpha C400iA. Přesnost řezání je závislá především na

¹⁸ Značení ocelí dle DIN¹⁹ Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4²⁰ Značení ocelí dle ČSN 42 002

okolní teplotě a teplotě vody. V podmínkách při kterých renovace proběhla, se přesnost měření rozměrů pohybovala v tolerancích ± 0.005 mm.



Obrázek 3.3 - Drátová řezačka Fanuc Alpha C400iA

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Broušení vložky

Z důvodu zamezení protočení kalené vložky ve vyvažovacím hřídeli bylo nutné vybrousit na povrchu dvě rovnoběžné plošky. K tomuto účelu posloužil broušící stroj BPH 20 NA. Na kalený materiál přesahující tvrdost 58 HRC je nutné použít brusný kotouč z KNB²¹.

Elektroerozivní hloubení vnitřního šestihranu ve vyvažovacím hřídeli

Pomocí hloubicího stroje Penta 432 Compact byla elektroerozivně vyhloubena měděnou elektrodou díra do vyvažovací hřídele. Tvar díry odpovídá vyrobené kalené vložce.

²¹ Kubický nitrid boru. Jedná se o syntetický materiál, vyrábějící se v Rusku. Obchodní označení je Elbor.



Obrázek 3.4 - Hloubení tvaru do vyvažovací hřídele

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Lepení vložky do vyvažovací hřídele

Vyrobená vložka byla zalepena do vyvažovací hřídele lepidlem Loctite 603.



Obrázek 3.5 - Zalepení vložky do hřídele

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Kontrola rozměrů

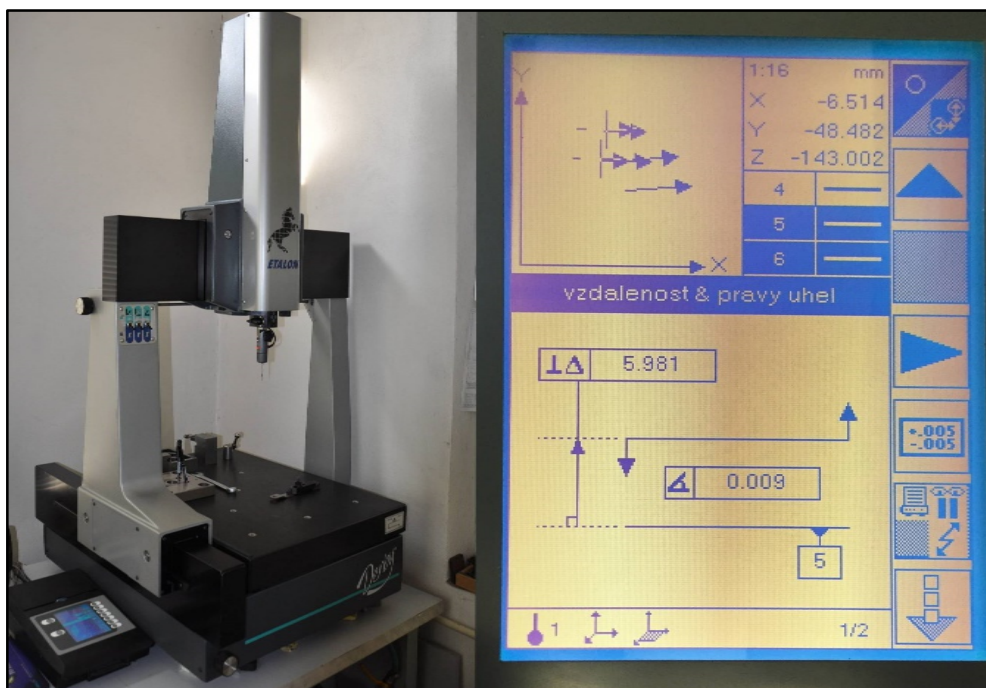
Po zalepení vložky do hřídele byly zkontrolovány rozměry vnitřního šestihranu na 3D ručním měřicím přístroji Etalon Derby 454. Teplota v místnosti během měření byla 23,0 °C²².

Tabulka 3.2 - Kontrola rozměrů vyvažovací hřídele

Počet měření	Jmenovitý rozměr [mm]	Naměřené rozměry [mm]	Odchylka [mm]
1	5,980	5,981	Δ 0,001
2	5,980	5,983	Δ 0,003

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

²² Viz. seznam použitých zkratk, kapitola 7.4



Obrázek 3.6 - 3D měřicí přístroj Etalon Derby – naměřené hodnoty

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

3.2.1.3 Kontrola kvality opravy vyvažovací hřídele

Byla zkontrolována tvrdost materiálu použitého k renovaci a byla i překontrolována tvrdost opravované vyvažovací hřídele. Měření tvrdosti probíhalo dle metody Rockwella. Pro měření byl použit automatický stolní tvrdoměr Rockwell R-150E

Tabulka 3.3 - Kontrola tvrdosti

Součást	Tvrdost
Vložka (použitá pro renovaci)	61 [HRc]
Vyvažovací hřídel	40 [HRc]
Spojovací šestihranná tyčka	57 [HRc]

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

3.2.2 Renovace víka retardéru Scania

Další z vybraných součástí je renovace víka retardéru u tahačů Scania. U součásti je navržen technologický postup opravy. Cena renovace je porovnána s pořizovací cenou nového víka u dealerů Scania, která je 28 887,00 Kč bez DPH.



Obrázek 3.7 - Tahač Scania - Less Forest

Zdroj: [17]

3.2.2.1 Popis problému

V momentě, kdy je tahač silně zatížen nákladem, například při přepravě dřeva, dochází při brzdění pomocí retardéru k silným tlakům uvnitř soustavy. To má za následek opotřebení vnitřních třecích ploch na hliníkovém víku retardéru. Vlivem vzniklého opotřebení dochází k následným netěsnostem soustavy. Brzdění pomocí retardéru se u tahače stává nepoužitelným, proto musí následovat výměna za nový kus nebo renovace stávající součásti.

3.2.2.2 Návrh technologického postupu

Technologický postup byl zvolen s požadavkem na vysokou kvalitu provedené renovace a dlouhou životnost součásti. Před započítím opravy bylo víko odmaštěno a zkontrolováno. Důležitým krokem je přesné změření rozměrů renovovaných částí. Vytvořená 2D data poslouží pro vytvoření programu CNC²³ frézování. Opotřebené – poškozené díry byly navařeny hliníkem pomocí metody TIG a následně obrobeny na

²³ CNC – Computer Numerical Control

CNC frézce. Pro dosažení hladkého povrchu bylo nutné ručně doleštit obrobené funkční části tak, aby poréznost stěn byla minimální. Dokončující operací byla kontrola rozměrů na 3D měřicím přístroji.

Tabulka 3.4 - Technologický postup renovace víka retardéru Scania

Technologický postup		
Název součásti: Víko retardéru Scania		
Pořadí operace:	Popis operace	Stroj - nástroj
1	Kontrola rozměrů a vizuální kontrola	Ruční 3D měřicí přístroj Etalon Derby
2	Tvorba programu pro CNC frézování	Heidenhain iTNC 530
3	Navařování hliníku	Fronius Magic Wave 2600
4	CNC frézování	FNG 50 CNC
5	Leštění	Ruční práce
6	Kontrola rozměrů	Ruční 3D měřicí přístroj Etalon Derby

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Kontrola rozměrů a vizuální kontrola

Na víku byly zkontrolovány poškozené funkční plochy a změřeny rozměry renovovaných částí na ručním 3D měřicím přístroji Etalon Derby. Naměřená data byla využita pro konstrukci 2D dat v program Autodesk AutoCAD 2008. Tato data jsou výchozí při tvorbě programu pro CNC frézování.

Tvorba programu pro CNC frézování

Po konstrukci dat byl vytvořen frézovací program pomocí CAM²⁴ programu iTNC 530. Výstup dat je pro řídicí systém Heidenhain.

Navařování hliníku

Pro navařování hliníku bylo využito svařovací metody TIG pomocí netavicí elektrody a ochranného plynu Argon.

²⁴ CAM – Computer Aided Manufacturing

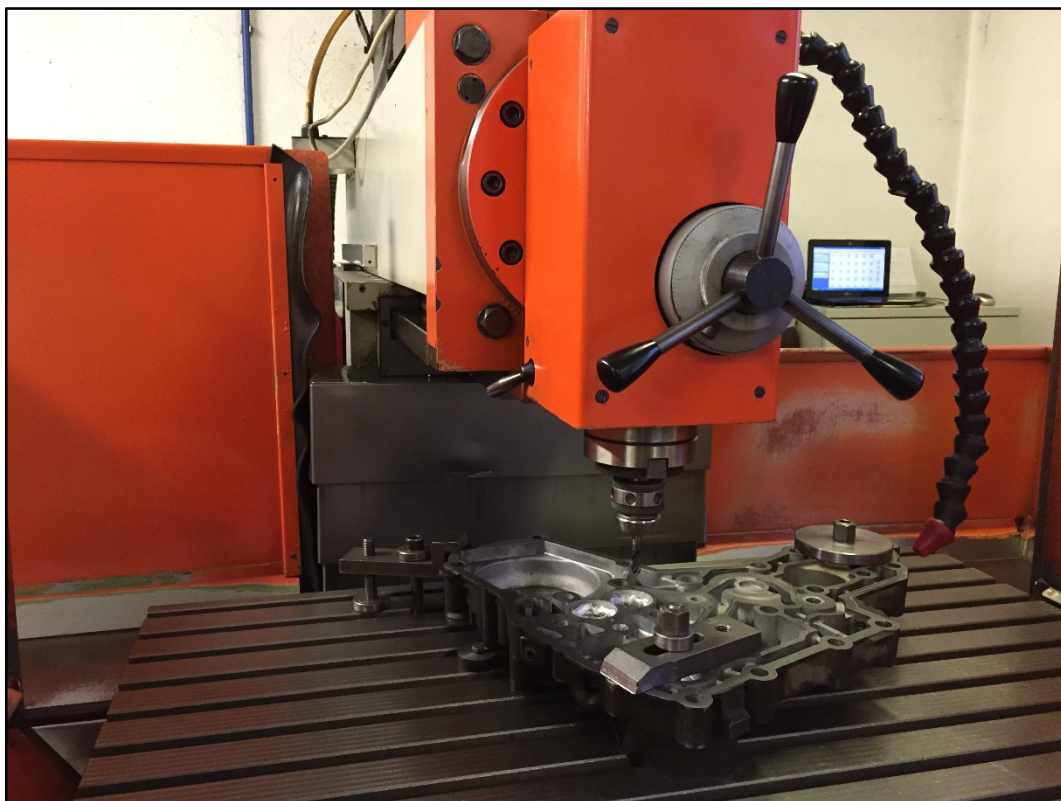


Obrázek 3.8 - Navařená místa poškození

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

CNC frézování

Z důvodu dodržení kvality a přesných rozměrů bylo nutné využít CNC frézování, stroj FNG 50 CNC. Díky tuhosti konstrukce stroje a použití kvalitních vyvrtávacích nástrojů byly zachovány původní rozměry součásti $\varnothing 35,05$ mm. Zvolenou metodou frézování a použitých nástrojů bylo umožněno dosáhnout přesných rozměrů v toleranci $\pm 0,01$ mm.



Obrázek 3.9 - Frézování víka na stroji FNG 50 CNC

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Leštění

Jelikož vznikaly při navařování hliníku malé vzduchové bubliny, bylo nutné ručně doleštit brousicí pastou povrch funkčních ploch tak, aby byl povrch co nejméně porézni.

Kontrola rozměrů

Na 3D měřicím přístroji byly zkontrolovány opravované díry. Dle naměřených hodnot bylo zjištěno, že rozměry jsou stejné jako původní rozměry ve stanovené toleranci $\pm 0,01$ mm.

Tabulka 3.5 - Kontrola rozměrů víka retardéru

Počet měření	Jmenovitý rozměr [mm]	Naměřené rozměry [mm]	Odchylka [mm]
1	$\varnothing 35,050$	$\varnothing 35,041$	$\Delta 0,009$
2	$\varnothing 35,050$	$\varnothing 35,040$	$\Delta 0,010$

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

3.2.2.3 Kontrola kvality opravy víka retardéru Scania

V tomto případě byla provedena po renovaci kontrola rozměrů. Kontrolu tvrdosti materiálu nelze v tomto případě aplikovat. Určujícím faktorem kvalitní opravy je zde délka životnosti součásti při pracovním zatížení. První renovace víka retardéru Scania se uskutečnila 13. 6. 2014 a do současné doby se neobjevila popisovaná závada. Z čehož lze vyvodit závěr, že provedená oprava byla zhotovena s požadovaným účinkem.

4 VÝSLEDKY PRÁCE A DISKUSE

4.1 Technicko-ekonomické zhodnocení opravy vyvažovací hřídele

4.1.1 Technické zhodnocení

Dle naměřené tvrdosti na vyvažovací hřídeli zcela jasně vyplývá, že za vznik opotřebení a následné deformace může nedostatečná tvrdost materiálu na nezrenovované součásti, dosahující hodnot 40 HRc. Příčinou nižší tvrdosti je chybně zvolené tepelné zpracování. Tento problém byl vyřešen výrobou vložky z kaleného materiálu, jehož tvrdost dosahuje hodnoty 61 HRc. Při kontrole šestihřanné díry na 3D měřicím přístroji Ethalon Derby bylo zjištěno, že rozměr vyříznuté díry je v požadované toleranci $\pm 0,01$ mm. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Metodou renovace na původní rozměr bylo dosaženo zpětné montáže vyvažovací hřídele do modulu a spojení hřídele přes spojovací tyčku pro pohon olejového čerpadla. Proto nebylo nutné provádět konstrukční úpravy kvůli zpětné montáži renovované součásti.

4.1.2 Ekonomické zhodnocení

Významná část nákladů na renovaci je spojena s elektroerozivním obráběním. V případě řezání drátem je sazba za 1 hodinu řezání 1000,00 Kč. Další nákladnou položkou je hloubení poškozené součásti, při této metodě obrábění dochází k malému úbytku materiálu s postupem času. Proto se u této operace dosahuje přibližně 45 minut strojního času. Ceny nákladů na jednotlivé operace renovace jsou uvedeny v přehledu v tabulce 4.1 a zahrnují již spotřební materiál použitý při renovaci. K celkovým cenám za práci je potřeba připočítat náklady za nakupovaný materiál, které uvádím v tabulce 4.2.

Tabulka 4.1 - Náklady práce pro opravu vyvažovací hřídele

Operace	Stroj / nástroj	Cena
Drátové řezání	Fanuc Alpha C400iA	500,00 Kč
Elektroerozivní vrtání	Young Tech YT-2030	150,00 Kč
Hloubení	Penta 432 Compact	950,00 Kč
Broušení	BPH 20 NA	200,00 Kč
Lepení	Loctite 603	25,00 Kč
Kontrola rozměrů a tvrdosti	3D měřicí přístroj Etalon Derby a tvrdoměr Rockwell R-150E	100,00 Kč
Celkem		<u>1 925,00 Kč</u>

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Tabulka 4.2 - Náklady na koupi materiálu na opravu vyvažovací hřídele

Součást	Počet kusů	Cena
Kalený vyhazovač Ø 10,0 x 100 mm	1	65,00 Kč
Celkem		<u>65,00 Kč</u>

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Celkové náklady na opravu vyvažovací hřídele činí $1925,00 + 65,00 = \underline{1\,990,00}$ Kč bez DPH. To je přibližně 13x méně než za kolik bychom pořídili nový náhradní díl v distribuční síti náhradních dílů Volkswagen.

Porovnání cen renovace proti koupi náhradního dílu

26 070,00 Kč 100 % 26 070,00 Kčcena nového náhradního dílu

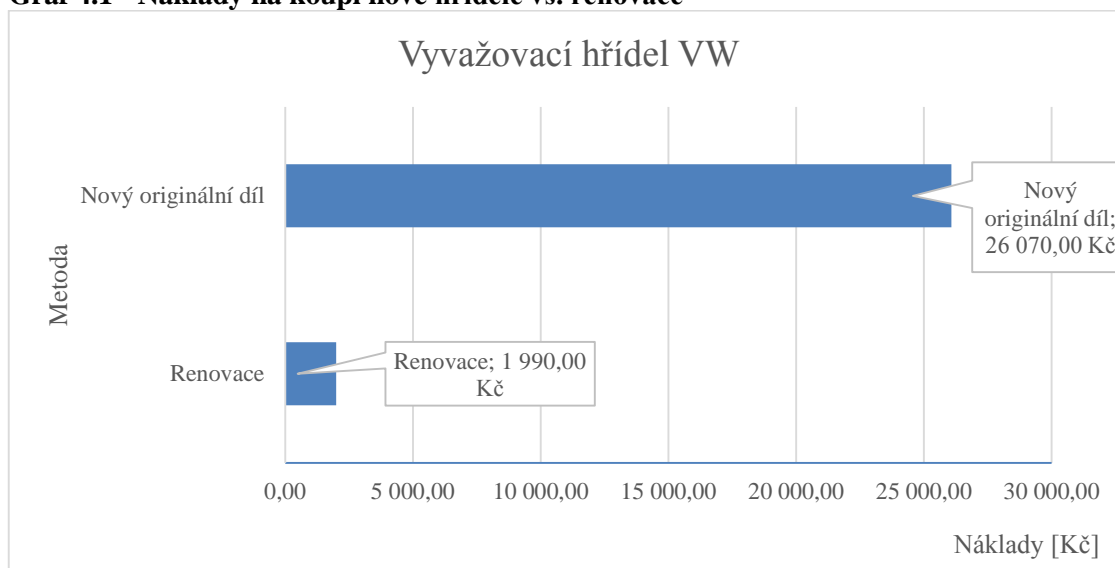
1 990,00 Kč X % 1 990,00 Kčcena renovace součásti

$$x = \frac{1\,990 \times 100}{26\,070} = 7,63 \%$$

Peněžní náklady vynaložené na renovaci dosahují 7,63 % z ceny nového náhradního dílu.

Při využití renovace bylo dosaženo úspory $26\,070,00 - 1\,990,00 = \underline{24\,080,00}$ Kč.

Graf 4.1 - Náklady na koupi nové hřídele vs. renovace



Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

4.1.3 Hodnocení hypotéz

Hypotéza č. 1

Dosahuje součást po renovaci původních nebo lepších vlastností?

Po provedení opravy byla změřena tvrdost materiálů, použitý materiál dosahuje vyšší tvrdosti vůči původnímu materiálu. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 3.3. Z naměřených hodnot vyplývá, že bylo dosaženo po renovaci lepších vlastností, hypotézu lze potvrdit.

Hypotéza č. 2

Lze aplikovat navržený a provedený technologický postup pro praxi?

Tuto hypotézu lze potvrdit na základě technologického postupu použitého při renovaci. Při provádění operací se nevyskytl žádný problém a součást je z hlediska kvality vyhovující. Podmínkou pro firmu provádějící renovaci je mít patřičné strojní vybavení.

Hypotéza č. 3

U vyřiznutého tvaru šestihranu je požadovaná přesnost rozměru v toleranci ± 0.01 mm.

Při kontrole bylo naměřeno na 3D měřicím přístroji Ethalon Derby opakovaným měřením 5,981 mm a 5,983 mm. Tato hypotéza se podle naměřených hodnot uvedených v tabulce

3.2 potvrdila. Pomocí speciální metody strojního obrábění bylo dosaženo požadované přesnosti.

Hypotéza č. 4

Náklady na renovaci dosahují do 30 % ceny nové součásti?

Na základě ekonomického zhodnocení v části 4.1.2 lze hypotézu potvrdit. Náklady vynaložené na renovaci dosahují 7,63 % z ceny nového náhradního dílu.

4.2 Technicko-ekonomické zhodnocení opravy víka retardéru

4.2.1 Technické zhodnocení

Z dostupných a zjištěných informací lze usuzovat příčinu vzniku poškození na součásti z důvodů nadměrného zatížení nákladní soupravy při transportu dřeva. V kombinaci s nešetrným zacházením brzdné soustavy se mohou objevovat výše popsaná poškození. Při kontrole opravených děl byla ověřena přesnost obrobení a kompletní renovace. Vzhledem k dosavadní zjištěné životnosti lze tuto renovaci doporučit pro aplikaci v technické praxi. Metodou renovace na původní rozměr bylo dosaženo zpětné montáže víka retardéru.

Pro potřeby studie a následného vyhodnocení je nutné konstatovat, že před tímto popsaným technologickým postupem byla provedená renovace stejného víka retardéru odlišným způsobem. Nebyl navařován hliník na poškozená místa, ale oprava byla provedena s tekutým kovem od firmy Würth, další body technologického postupu byly shodné. Bohužel tato metoda se v technické praxi neosvědčila a došlo v brzké době – do 30 dnů k opětovnému poškození, vydrolení tekutého kovu. Touto nepříjemností vznikla firmě vlastníci nákladní auta finanční ztráta z prostojů dopravních prostředků a dalších nákladů vynaložených na opravu poškození. Porovnání nákladů renovací je uvedeno v ekonomickém zhodnocení.

4.2.2 Ekonomické zhodnocení

Podstatná část nákladů na opravu je tvořena navařováním hliníku a CNC frézováním. Hodinová sazba frézování je 800,00 Kč. V případě navařování je hodinová sazba 500,00

Kč. Velký vliv na výslednou cenu má pracnost operace při navařování a zkušenost svářeče. Ceny nákladů na jednotlivé operace jsou uvedeny v přehledu v tabulce číslo 4.3.

Tabulka 4.3 - Náklady práce pro opravu víka retardéru

Operace	Stroj / nástroj	Cena
Tvorba programu pro CNC frézování	Heidenhain iTNC 530	100,00 Kč
Navařování hliníku	Fronius Magic Wave 2600	500,00 Kč
CNC frézování	FNG 50 CNC	1 300,00 Kč
Leštění	Ruční práce	250,00 Kč
Kontrola rozměrů a vizuální kontrola	Ruční 3D měřicí přístroj Etalon Derby	100,00 Kč
Celkem		2 250,00 Kč

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Celkové náklady na opravu víka retardéru činí 2 250,00 Kč bez DPH. To je přibližně 12x méně než za kolik bychom pořídili nový náhradní díl v distribuční síti náhradních dílů Scania.

Porovnání cen renovace proti koupi náhradního dílu

28 887,00 Kč 100 % 28 887,00 Kč.....cena nového náhradního dílu

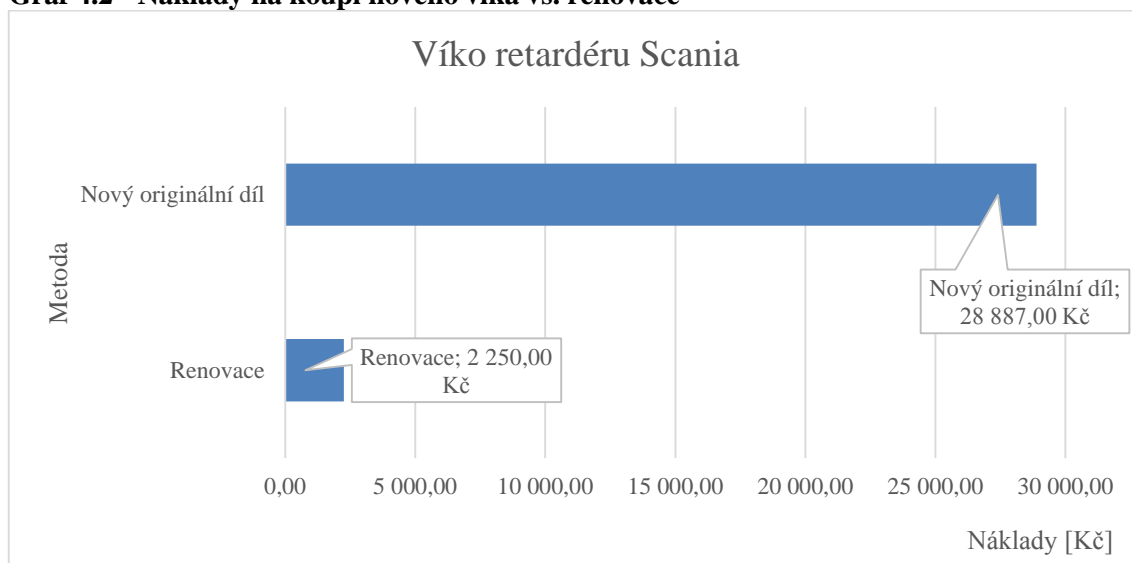
2 250,00 Kč X % 2 250,00 Kč.....cena renovace součásti

$$x = \frac{2\,250 \times 100}{28\,887} = 7,78 \%$$

Peněžní náklady vynaložené na renovaci dosahují 7,78 % z ceny nového náhradního dílu.

Při využití renovace bylo dosaženo úspory $28\,887,00 - 2\,250,00 = \underline{26\,637,00 \text{ Kč}}$.

Graf 4.2 - Náklady na koupi nového víka vs. renovace



Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

4.2.3 Porovnání s původní neúspěšnou metodou renovace

První renovace víka byla provedena odlišným technologickým postupem. Tato metoda se v technické praxi neosvědčila a došlo v brzké době – do 30 dnů k opětovnému poškození, vydrolení tekutého kovu. Životnost dílu po renovaci byla velmi malá. Firmě, vlastníci vozidlo, tak vznikla finanční ztráta způsobená neprovozuschopností vozidla po dobu 7 pracovních dní a další náklady spojené opětovnou demontáží, montáží a nové opravy součástí. Porovnání nákladů vynaložených při renovacích víka retardéru uvádím v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4 - Porovnání metod renovací víka retardéru

Technologický postup 1		Technologický postup 2	
Operace	Cena	Operace	Cena
Náklady práce		Náklady práce	
Tvorba programu pro CNC frézování	100,00 Kč	Lepení tekutého kovu Würth FE 1	400, 00 Kč
Navařování hliníku	500,00 Kč	CNC frézování	1 300,00 Kč
CNC frézování	1 300,00 Kč	Leštění	250,00 Kč
Leštění	250,00 Kč	Kontrola rozměrů a vizuální kontrola	100,00 Kč
Kontrola rozměrů a vizuální kontrola	100,00 Kč		
Náklady nakupovaného materiálu		Náklady nakupovaného materiálu	
-		Tekutý kov Würth FE 1	2 330,00 Kč
Celkem	<u>2 250,00 Kč</u>	Celkem	<u>4 380,00 Kč</u>

Zdroj: Zdeněk Doležel, 2015

Z výsledků je zřejmé, že k provedení kvalitní renovace s vysokou životností není zapotřebí drahá oprava. Ale podstatné a důležité však je zvolit správný technologický postup.

4.2.4 Hodnocení hypotéz

Hypotéza č. 1

Dosahuje součást po renovaci lepších vlastností?

Na základě podrobného zkoumání stavu funkčních ploch, lze konstatovat, že při této renovaci nelze dosáhnout lepších vlastností týkající se struktury materiálu. Na vině je pórovitost navařovaného materiálu. To lze částečně vyřešit ručním zaleštěním a minimalizovat tak vzniklé malé trhliny. Ovšem tento problém nemá vliv na správnou funkčnost a životnost renovované součásti. Ve výsledku dosahuje součást po renovaci stejných vlastností. Tuto hypotézu tedy nelze potvrdit.

Hypotéza č. 2

Lze aplikovat navržený a provedený technologický postup pro praxi?

Do doby psaní studie byla renovovaná součást vystavena provoznímu zatížení bez závad přibližně 300 dní. Dle prozatímního zjištění délky životnosti renovované součásti, lze doporučit provedený technologický postup pro praxi. Hypotéza byla potvrzena.

Hypotéza č. 3

U obrobených děr je požadovaná přesnost rozměru v toleranci ± 0.01 mm.

Na 3D měřicím přístroji byly zkontrolovány opravované díry. Dle naměřených hodnot bylo zjištěno, že rozměry jsou stejné jako původní, ve stanovené toleranci $\pm 0,01$ mm. Tuto hypotézu lze potvrdit.

Hypotéza č. 4

Náklady na renovaci dosahují do 30% ceny nové součásti?

Na základě ekonomického zhodnocení v části 4.2.2 lze hypotézu potvrdit. Náklady vynaložené na renovaci dosahují 7,78% z ceny nového náhradního dílu.

5 ZÁVĚR

Práce „Renovace nákladných náhradních dílů za využití speciálních strojírenských technologií“ se zabývá v teoretické části metodami oprav strojních součástí a objasněním pojmů metod renovace pro potřeby renovačních procesů. Cílem práce bylo technicko-ekonomické zhodnocení používaných technologických postupů u vybraných součástí.

Realizace renovací byla provedena ve firmě JANOVIAK s.r.o. v Český Budějovicích. Pro vlastní výzkum byly vybrány dvě strojní součásti, v prvním případě se jednalo o vyvažovací hřídel, druhá součást bylo víko retardéru. Po dosažení mezního stavu technického života součástí bylo zapotřebí je buď vyměnit za nové, nebo zvolit jejich renovaci k zajištění obnovy provozuschopnosti. V obou případech byla zvolena metoda renovace na původní rozměr, což umožňuje zpětnou montáž renovovaných součástí. Metoda je náročná na volbu správného technologického postupu. Mezi rozhodující prvky patří také strojní vybavení a kvalifikace obsluhy strojů.

V případě renovace vyvažovací hřídele byla provedena oprava pomocí elektroerozivního obrábění. Z provedeného měření vyplývá, že za vznik poškození může nedostatečná tvrdost použitého materiálu, 40 HRc. Proto byla vyrobena vložka o tvrdosti **61 HRc**. Dle zvoleného technologického postupu bylo úspěšně dosaženo renovace, díky níž má nyní součást **lepší vlastnosti**. Celkové náklady na provedenou renovaci činí **1990,00 Kč** bez DPH. V porovnání s cenou nového dílu bylo dosaženo úspory **24 080,00 Kč** a doba opravy trvala **2 pracovní dny**. Kromě vysoké ceny náhradního dílu (26 070,00 Kč bez DPH), je omezením termín dodání nového dílu, který se pohybuje okolo 1 týdne. Součást byla po renovaci překontrolována a je z hlediska kvality **vyhovující**.

Při renovaci víka retardéru byla provedena oprava pomocí CNC frézování a navařování hliníku. Určujícím faktorem pro úspěšnost renovace je v tomto případě životnost. Na základě podrobného zkoumání stavu funkčních ploch lze konstatovat, že při této renovaci nelze dosáhnout lepších vlastností týkajících se struktury materiálu. Na vině je pórovitost navařovaného materiálu. To lze částečně vyřešit ručním zaleštěním, čímž se dosáhne minimalizace vzniklých trhlin. Ovšem tento problém nemá vliv na správnou funkčnost a životnost renovované součásti. **Ve výsledku dosahuje součást po renovaci stejných vlastností**. Celkové náklady na renovaci víka činí **2 250,00 Kč** bez DPH. V porovnání s cenou nového dílu bylo dosaženo úspory **26 637,00 Kč** a doba opravy trvala **4 pracovní**

dney. Součást byla po renovaci překontrolována a je z hlediska kvality **vyhovující**. Do doby psaní studie byla renovovaná součást vystavena provoznímu zatížení bez závad přibližně **300 dní**. Dle zjištění délky životnosti renovované součásti, **lze doporučit provedený technologický postup pro technickou praxi**.

Tato metoda byla porovnána s první metodou s odlišným technologickým postupem (oprava pomocí lepení tekutého kovu), která nebyla úspěšná. U součásti došlo po 30 dnech k vydrolení materiálu a obnově poškození. Celkové náklady na renovaci víka pomocí lepení tekutého kovu jsou **4380,00 Kč** bez DPH. Z výsledků je zřejmé, že **k provedení kvalitní renovace s vysokou životností není zapotřebí drahá oprava**. Ale podstatné a důležité je správně zvolit technologický postup zajišťující stejné nebo lepší vlastnosti a dlouhou životnost součásti.

6 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- [1] POŠTA, J., HAVLÍČEK, J., ČERNOVOL, M., I. Renovace strojních součástí. /Vědecká monografie/. SVÚM a.s., ČTS, Praha, 1998, 160 s. ISBN 80-902015-6-3.
- [2] FAMFULÍK, Jan, Jana MÍKOVÁ a Radek KRZYŽANEK. *TEORIE ÚDRŽBY*. První. Ediční středisko VŠB – TUO, 2007, 237 s. ISBN 978-80-248-1509-1. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/>
- [3] BAJDA, Miroslav. *Navarování kovů: 1. část*. 2004, 12 s. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Nava%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_complete.pdf
- [4] Laserové svařování s nánosem prášku a drátu: Laserové svařování. *TRUMPF PRAHA* [online]. 2015 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-svareni/navarovani.html>
- [5] KUBÍČEK, Jaroslav. *Speciální metody tavného a tlakového svařování: Díl 2*. Brno, 2006. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>. Syllabus přednášek. VUT Brno.
- [6] Svařování TIG - základní seznámení. *Svarecky-elektrody.cz/* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-zakladni-seznameni/t-356/>
- [7] MRŇA, Libor. *Navarování laserem: Speciální metody svařování*. VUT Brno, 22 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
- [8] BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění: Skripta FS ČVUT*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1989.
- [9] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technologie*. Košice: Edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2000. ISBN 80-7099-430-4.
- [10] MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Tiskové středisko ZČU, 1999. 102 s. ISBN 80-7082-518-9.

- [11] Elektroerozivní řezání drátem (Wire EDM). *SoliCAD* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://solicad.com/i/detailni-popis-funkci-programu-sprutcam/c/sprutcam-detaily/g/sprutcam-info?page=9>
- [12] KUCHARÍK, Milan. *Drátové elektroerozivní obrábění při výrobě přesných střížných nástrojů*. Brno, 2008. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/2860>. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Karel Osička.
- [13] GÁBOR, Radek. *Aplikace elektroerozivního hloubení při technologii výroby vyměnitelných břitových destiček SK*. Brno, 2008. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/2861>. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Karel Osička.
- [14] LÍBAL, Martin. *Stanovení hlavních parametrů ovlivňujících přilnavost a odolnost povlaků žárových nástřiků vytvořených elektrickým obloukem*. ZČU v Plzni, 2013. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/handle/11025/8629>. Diplomová práce. ZČU v Plzni. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž.
- [15] Tvrdost podle Rockwella. *Měření tvrdosti* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost-podle-rockwella.html>
- [16] Scheme of tester. In: *Gstatic.com* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://bit.ly/1aLYgU4>
- [17] Dřevo. In: *Scania Česká republika* [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: http://www.scania.cz/_system/img/medium/39337_medium_05369-007.jpg

7 SEZNAMY OBRÁZKŮ, TABULEK A POUŽITÝCH ZKRATEK

7.1 Seznam obrázků

Obrázek 1.1 - Schématické znázornění druhů opotřebení	20
Obrázek 1.2 - Adhezivní opotřebení pístního čepu	21
Obrázek 1.3 - Abrazivní opotřebení pístu spalovacího motoru	22
Obrázek 1.4 - Erozivní opotřebení koule uzávěru	23
Obrázek 1.5 - Kavitační opotřebení pouzdra válce spalovacího motoru	24
Obrázek 1.6 - Únavový lom kolejničky	24
Obrázek 1.7 - Vibrační opotřebení valivého ložiska	25
Obrázek 1.8 - Zdroj tepla při navařování.....	37
Obrázek 1.9 - Princip svařování TIG.....	40
Obrázek 1.10 - Princip plynového laseru.....	42
Obrázek 1.11 - Stupně navařování laserem	43
Obrázek 1.12 - Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění.....	44
Obrázek 1.13 - Princip WEDM metody	45
Obrázek 1.14 - Princip elektroerozivního hloubení.....	46
Obrázek 2.1 - Schéma tvrdoměru Rockwell.....	49
Obrázek 3.1 - Poškození vyvažovací hřídele.....	53
Obrázek 3.2 - Katalog náhradních dílů VW Etko.....	54
Obrázek 3.3 - Drátová řezačka Fanuc Alpha C400iA	56
Obrázek 3.4 - Hloubení tvaru do vyvažovací hřídele	57
Obrázek 3.5 - Zalepení vložky do hřídele.....	58
Obrázek 3.6 - 3D měřicí přístroj Etalon Derby – naměřené hodnoty.....	59
Obrázek 3.7 - Tahač Scania - Less Forest	60
Obrázek 3.8 - Navařená místa poškození	62
Obrázek 3.9 - Frézování víka na stroji FNG 50 CNC	63

7.2 Seznam tabulek

Tabulka 1.1 - Porovnání metod navařování.....	39
Tabulka 1.2 - Druhy pevnolátkových laserů používaných ve svařování.....	41
Tabulka 3.1 - Technologický postup renovace vyvažovací hřídele.....	55
Tabulka 3.2 - Kontrola rozměrů vyvažovací hřídele.....	58
Tabulka 3.3 - Kontrola tvrdosti.....	59
Tabulka 3.4 - Technologický postup renovace víka retardéru Scania.....	61
Tabulka 3.5 - Kontrola rozměrů víka retardéru.....	63
Tabulka 4.1 - Náklady práce pro opravu vyvažovací hřídele.....	66
Tabulka 4.2 - Náklady na koupi materiálu na opravu vyvažovací hřídele.....	66
Tabulka 4.3 - Náklady práce pro opravu víka retardéru.....	69
Tabulka 4.4 - Porovnání metod renovací víka retardéru.....	71

7.3 Seznam grafů

Graf 4.1 - Náklady na koupi nové hřídele vs. renovace.....	67
Graf 4.2 - Náklady na koupi nového víka vs. renovace.....	70

7.4 Seznam použitých zkratk

MPa	Jednotka tlaku	Pa·10 ⁶
km	Jednotka délky	m·10 ³
mm	Jednotka délky	m·10 ⁻³
μm	Jednotka délky	m·10 ⁻⁶
Hz	Jednotka frekvence	
J	Jednotka energie	
kW	Jednotka výkonu	W·10 ³
N	Jednotka síly	
Kč	Měnová jednotka České republiky	