

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Bakalářská práce

**Materiály používané pro zvýšení životnosti
zemědělských strojů zpracovávajících půdu**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor práce: Viktor Kolář

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kolář Viktor

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Materiály používané pro zvýšení životnosti zemědělských strojů zpracovávajících půdu

Anglický název

Materials used for increasing service life of agricultural machines processing soil

Cíle práce

-Shromáždit literární poznatky o předmětné problematice, tj. metodách používaných pro zvýšení životnosti zemědělských strojů a zařízení.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše), závěry a přínos práce.

Osnova práce

1. Úvod
2. Cíle práce a metodika
3. Metody používané pro zvýšení životnosti
4. Aplikace jednotlivých metod v praxi
5. Závěr

Rozsah textové části

cca 30 stran

Klíčová slova

Stroje, zařízení, opotřebení, spolehlivost, životnost

Doporučené zdroje informací

AHMED, N.: New Developments in Advanced Welding, Woodhead Publ. Ltd., Cambridge, England, 2005.

DASTUR, M., R., MOSKOVITC., L., N.: Tailored coating for hardfacing. In Proceeding of the annual powder. Metallurgy conference, 1983.

DORAZIL, E.: Strojírenské materiály a povrchové úpravy. Brno, VUT, 1988.

Friction and Wear Testing. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1987.

KARAKOZOV, E. S.: Sojedinenije metalov v tverdoj faze. Moskva, Metalurgija, 1976.

KUČERÍKOVÁ, V.: Organické povrchové úpravy. Bratislava, STK 1974.

Další literatura podle vlastního výběru.

Vedoucí práce

Hrabě Petr, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2013

Termín odevzdání

duben 2015

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 3.2.2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího a že jsem použil jen pramenů, které uvádím a cituji v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 05. 04. 2015

.....

Viktor Kolář

Poděkování

Rád bych poděkoval především vedoucímu své práce Ing. Petru Hraběti, PhD. za odborné vedení při psaní této práce, jeho velkou ochotu a trpělivost. Dále bych rád poděkoval své rodině především za podporu nejen při psaní této práce, ale i při studiu.

Abstrakt: Cílem této práce bylo shrnout poznatky o problematice zvyšování životnosti strojů a jejich součástí. V první kapitole „Úvod“ je shrnut obsah problematiky této práce a proč se vůbec vlastně tímto tématem zabývat. Ve druhé kapitole „Metody používané pro zvýšení životnosti“ jsou zahrnuty části, které se zabývají poruchami strojů a jejich součástí a následné metody jejich renovace. Třetí kapitola „Aplikace jednotlivých metod v praxi“ obsahuje možnosti, jak lze v praxi tyto metody aplikovat a tím zaručeně zvýšit jejich odolnost proti poruchám. V závěru této práce je shrnutí současného stavu dané problematiky.

Klíčová slova: Stroje, zařízení, opotřebení, spolehlivost, životnost

Materials used for increasing service life of agricultural machines processing soil

Summary: The aim of this thesis was to summarize facts about increasing the lifespan of machines and their components. The first chapter “Introduction” describes this issue while also covering the reason why it is important to deal with this matter as such. The second chapter “Methods being used for increasing the lifespan of machines and their components” includes basic characterizations of common defects together with possible methods of their renovations. The third chapter “Individual methods applied in practical use” describes the methods used in order to prolong the machines’ resistance to defects. The conclusion points out the actual current status of this particular issue.

Key words: Machines, device, wearing, reliability, lifetime

Obsah

1.	ÚVOD	1
2.	CÍLE PRÁCE A METODIKA	2
3.	METODY POUŽÍVANÉ PRO ZVÝŠENÍ ŽIVOTNOSTI	3
3.1.	Mechanismy poruch a jejich vnější projev	3
3.1.1.	Opotřebení	3
3.1.2.	Koroze	6
3.1.3.	Otlačení	6
3.1.4.	Deformace	6
3.1.5.	Lomy a trhliny.....	7
3.2.	Materiály používané pro zvýšení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení	7
3.2.1.	Vliv abrazivních částic na velikost abrazivního opotřebení	7
3.2.2.	Materiály odolné proti abrazivnímu opotřebení	9
3.3.	Renovace strojních součástí	11
3.3.1.	Renovace na původní rozměry.....	11
3.3.2.	Renovace na opravné rozměry	16
3.3.3.	Renovace deformovaných součástí (tváření).....	19

3.3.4.	Renovace součástí s trhlinami a lomy	19
3.4.	Zvyšování odolnosti materiálů pomocí povrchových úprav	20
3.4.1.	Technologické procesy vytváření otěruvzdorných povrchových vrstev	21
3.4.2.	Technologické procesy vytváření povlaků	23
4.	APLIKACE JEDNOTLIVÝCH METOD V PRAXI.....	25
4.1.	Metoda navařování.....	25
4.2.	Povlakování	26
4.3.	Metoda tváření	27
4.4.	Aplikace lepidel a kompozitů	29
5.	ZÁVĚR.....	30
	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	31
	Seznam obrázků	34
	Seznam tabulek	34
	Seznam symbolů	34

1. ÚVOD

Ve výrobcích, kde je provoz zajišťován strojovou technikou, v zemědělství, které si v dnešní době neumíme bez strojů představit, ale i v jiných odvětvích světového průmyslu jsou životnost, odolnost proti opotřebení a zvyšování životnosti jedním z nejsledovanějších a nejdůležitějších faktorů při jejich provozu.

Opotřebení je jako porucha velmi nežádoucí, ale bohužel se jí při provozu strojů nevyhneme. Lze ho však poměrně dobře minimalizovat, ale musíme znát podmínky provozu stroje, jako je prostředí, vliv fyzikálních a chemických faktorů, vliv ostatních částí stroje, doba provozu apod. Pokud dostatečně známe, jaké vlivy kde působí, jejich velikost a účinky na daný stroj či jeho součást, můžeme zvolit vhodný materiál, který je na daný provoz nejvhodnější a tím zabránit degradaci. Volbu vhodného materiálu lze vyzkoušet v laboratorních podmínkách, které simulují vlivy působící na opotřebovávanou součást. V praxi však působí několik vlivů současně, proto pro volbu vhodného materiálu jsou nejlepší provozní zkoušky.

Je potřeba zvážit, kdy se nám vyplatí součást opravit a zvýšit tím její životnost anebo naopak, koupit součást novou. Snížení opotřebení a zvýšení životnosti výrazně snižují náklady na údržbu a provoz. V dnešní době je kladen velký důraz na to, aby náklady spojené s výrobou, kde jsou stroje nepostradatelnou součástí, byly co nejnižší. Je to velmi jednoduché. Téměř každý chce za minimální náklady co největší zisk a vývoj nových a modernějších technologií tomu napomáhá.

Tato práce je zaměřena především na metody zvyšování životnosti pomocí vybraných renovačních metod a ochranu materiálů pomocí povlaků a jiných povrchových úprav. Tyto poznatky jsou pak popsány v části práce, která se zabývá jejich aplikací v praxi.

2. CÍLE PRÁCE A METODIKA

Cílem této práce bylo shrnout poznatky o problematice poruch strojů nebo jejich částí, zvyšování jejich životnosti pomocí vybraných renovačních metod s jejich následnou aplikací v praxi.

Metodikou bylo zajištění zdrojů zabývajících se danou problematikou a jejich analýza. Z načerpaných informací a dat byla práce rozdělena do jednotlivých kapitol. Většina práce byla sepsána z odborné literatury, ale bylo využito i vlastních zkušeností, které jsem nasbíral ve společnosti Agro Kmínek s. r. o.. V práci je použita i cizojazyčná literatura, která je jistě v oboru abrazivního opotřebení velkým přínosem. Využití navařovacích metod pro stroje a zařízení zpracovávající půdu jsem zpracoval nejen z literatury, ale i na základě exkurze ve svářečské dílně. V práci byly popsány klasické metody používané pro zvyšování životnosti, s tím, že v poslední době je trend v tvrdokovech a aplikaci PVD a CVD povlaků.

3. METODY POUŽÍVANÉ PRO ZVÝŠENÍ ŽIVOTNOSTI

V následující kapitole byly popsány mechanismy poruch a jejich projev, materiály odolné proti opotřebení a jednotlivé druhy renovace.

3.1. Mechanismy poruch a jejich vnější projev

Z hlediska výrobní, konstrukční a montážní složitosti uvažujeme o tzv. elementárním prvku, který též můžeme z hlediska strojírenských výrobků pokládat za funkční plochu strojní součásti. Na elementární prvky mohou působit různé fyzikální, chemické a jiné vlivy či procesy, které vedou ke vzniku poruchy. [1]

U funkčních ploch mechanických strojních součástí se v souvislosti s vnějším projevem mechanismu poruch užívá termín poškození strojní součásti. Mezi nejzávažnější poškození patří:

- Opotřebení
- Koroze
- Otláčení
- Deformace
- Lomy a trhliny

Mohou existovat i jiné druhy opotřebení, které se mohou lišit průběhem a podstatou, nebo může jít o kombinace základních druhů mezi sebou.

3.1.1. Opotřebení

Opotřebení lze charakterizovat jako nežádoucí trvalou změnu rozměrů nebo geometrického tvaru působením mechanických účinků. Je odhadováno, že 60 % všech poruch zařízení a strojů je způsobeno opotřebením. Spolu s korozí, také může urychlit únavový proces či zapříčinit vznik křehkého lomu. [1, 2]

Mezi základní druhy opotřebení patří:

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

Adhezivní

Principem tohoto druhu opotřebení je oddělování a přemísťování částic v místech, kde se k sobě přiblíží stykové plochy během vzájemného pohybu. Tyto plochy jsou k sobě přitlačovány normálovou silou. [1, 2]

Abrazivní

Toto opotřebení vzniká, pokud na sebe navzájem působí dva funkční povrchy. Uvolněné částice se dostávají mezi tyto dva povrchy, zadržávají se a způsobují obroušení povrchu (rýhování a seřezávání materiálu). Toto opotřebení vzniká také nejčastěji u strojů zpracovávajících půdu. [1, 2]

Erozivní

Působením účinků kapaliny či plynu dochází k oddělování částic povrchu opotřebovávaného povrchu. Toto opotřebení je podobné abrazivnímu, protože na povrchu dochází také k rýhování a seřezávání materiálu. Objevuje se u čerpadel, lopatek parních turbín apod. [1, 2]

Kavitační

Ke kavitačnímu opotřebení dochází v oblasti zanikání kavitačních dutin v kapalině procesem zvaným kavitace. Kavitační dutiny vznikají v místech, kde se prudce sníží tlak pod hodnotu tlaku nasycených par při dané teplotě. Právě při zániku dutin dochází ke vzniku hydrodynamických rázů a oddělování částic z povrchu. Objevuje se u hydraulických strojů, jako jsou lopatky vodních turbín, lodní šrouby apod. [1, 2]

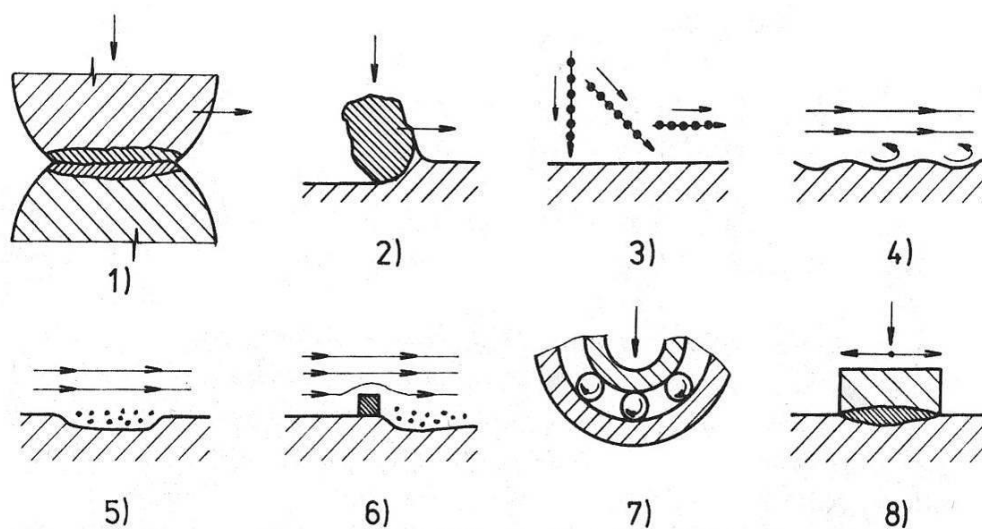
Únavové

Toto opotřebení vzniká v místech, kde se cyklicky opakuje styk dvou těles. Při styku vznikají mezi těmito tělesy velké tlaky. Pokud je hodnota tohoto pnutí natolik velká a působí-li po určitou dobu, vzniknou trhlinky, které se rozšíří po povrchu a způsobí odlupování materiálu. Vyskytuje se zejména tam, kde působí valivé tření, např. u ozubených kol a valivých ložisek. [1, 2]

Vibrační

Vibrační opotřebení vzniká v místech, kde jsou dva povrchy k sobě přitlačovány normálovým zatížením a současně vykonávají vůči sobě tangenciální (kmitavý) pohyb. Často vzniká u točivých strojů, kde ničí pevné spojky, příruby, nepracující ložiska apod. [1, 2]

Obr. 1: Schéma mechanismu opotřebení: 1) adhezivní; 2) abrazivní; 3, 4) erozivní; 5, 6) kavitační; 7) únavové; 8) vibrační



Zdroj: [Dorazil, E., *Kovové materiály*, 1990]

3.1.2. Koroze

Koroze je chemický či elektrochemický proces, při kterém dochází k znehodnocování materiálu jeho vzájemným působením s korozním prostředím. Korozním prostředím většinou bývá kapalná látka nebo plyn. Koroze zapříčiňuje velké ztráty na železe v celosvětovém měřítku, a proto vzniklo mnoho oborů, které se touto problematikou zabývají a to zejména otázkou ochrany před korozi. [2, 3]

3.1.3. Otlačení

Pod pojmem otlačení si můžeme představit trvalou nežádoucí změnu povrchu, způsobenou plastickou deformací, kterou vyvolávají vnější síly při překročení meze kluzu materiálu. [1]

3.1.4. Deformace

Mohou nastat dva druhy deformací, elastická (pružná) a plastická (trvalá). Budeme-li uvažovat o deformaci, jako o určitém druhu defektu, jde o deformaci

plastickou. Vzniká, je-li překročena při provozu stroje vlivem namáhání mez kluzu materiálu. [1, 2]

3.1.5. Lomy a trhliny

Lom lze definovat, jako porušení průřezu v celém jeho obsahu. U trhlin dochází k porušení jen v části průřezu. Lomy a trhliny vyvolává několik faktorů jako např. nekvalitní materiál, nevhodná konstrukce, nesprávný provoz nebo některé nežádoucí vnitřní pochody (únava materiálu, stárnutí). [1, 2]

3.2. Materiály používané pro zvýšení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení

Jak již bylo zmíněno v kapitole o opotřebení (3.1.1), je to jedna z nejčastějších příčin poruch strojů a zařízení, které omezují jejich životnost a odolnost proti opotřebení. Je proto nezbytné brát v úvahu druh použitého materiálu na daný druh opotřebení. U strojů zpracovávajících půdu dochází v největší míře k abrazivnímu opotřebení, charakterizovaného oddělováním částic z funkčního povrchu vlivem tvrdého a drsného povrchu (půda, kameny apod.) druhého tělesa nebo abrazivními částicemi.

3.2.1. Vliv abrazivních částic na velikost abrazivního opotřebení

Vliv tvaru částic

Tvar abrazivních částic hraje velkou roli na velikost opotřebení. Zaoblený tvar částic nemá takovou intenzitu při opotřebení jako u částic ostrých. V tomto směru je také potřeba vzít v úvahu, jak velká síla působí na částice v normálovém směru. [4]

Vliv množství částic

Množství částic hraje významnou roli na velikost opotřebení. Pokud je částic hodně, dojde k jejich shlukování a tím se vytvoří vrstva, která způsobí abrazivní opotřebení, i když je vůle mezi opotřebovávanými povrchy větší, než je velikost abrazivních částic. [4]

Vliv velikosti částic

V případě, kdy jsou abrazivní částice volně mezi dvěma povrchy, dochází k abrazivnímu opotřebení jen těmi částicemi, které jsou větší než vůle mezi oběma povrchy. Abraze roste zvětšováním rozměru abrazivních částic. Při nerovnoměrné velikosti zrn je určujícím rozměrem největší částice. [4]

Vliv tvrdosti částic

Vliv tvrdosti abrazivních částic je také velmi zřejmý. Čím jsou abrazivní částice tvrdší, než opotřebovávaný povrch, tím snáze do něj vnikají a tím je intenzita opotřebení větší a naopak. Tím lze také vysvětlit a odůvodnit běžnou snahu konstruktérů a technologů dosáhnout co možno nejtvrděších povrchových vrstev u těch součástí, kde lze očekávat abrazivní opotřebení. Důležitý je vliv vzájemného vztahu mezi tvrdostí abraziva a opotřebovávaného kovu. Odolnost proti opotřebení ocelí roste rychleji, když tvrdost opotřebovaného povrchu přesáhne 0,5–0,6 tvrdosti abraziva. [4]

Vliv pevnosti částic

Vliv pevnosti abrazivních částic spočívá v tom, že při nízké pevnosti částic dochází k jejich drcení (snižují se rozměry) a k otupování částic olamováním hran. Zároveň se však při drcení vytvářejí nové částice s ostrými hranami. Tyto jevy (zmenšování rozměrů a otupování na jedné straně a vznik nových ostrohranných částic na druhé) působí protikladně. Výsledkem je známý fakt, že s rostoucím zatížením povrchů, působícím na abrazivní částice nedochází prakticky ke změně jejich abraze. [4]

3.2.2. Materiály odolné proti abrazivnímu opotřebení

Pro podmínky opotřebení abrazivními částicemi bez působení silných rázů platí, že otěr je tím menší, čím je tvrdost funkčního povrchu vyšší. Nejmenší odolnost vykazují při působení abrazivního opotřebení struktury feritické a feriticko – perlitické a největší odolnost struktury martenzitické. Přítomnost tvrdých karbidických částic uložených v martenzitické struktuře popř. martenziticko – austenitické matrici odolnost proti opotřebení ještě více zvyšuje.

Uhlíkové a nízkolegované oceli (třída ocelí 11 – 16) mají nejmenší odolnost proti abrazivnímu opotřebení ve vyžíhaném stavu. Zvýšení odolnosti proti abrazi se dosáhne zakalením a popouštěním při nízkých teplotách (struktura popuštěný martenzit). [5]

Nástrojové slitinové oceli mají vysoký obsah uhlíku (ledeburitické oceli) a tím i dobrou odolnost proti abrazi. Lze sem také zařadit některé rychlořezné oceli. Vynikající odolnost proti abrazi má ledeburická ocel 19 581 a rychlořezné oceli legované kobaltem. Tyto oceli mají vysokou tvrdost, ale jsou málo houževnaté. Je vhodné je využít pro podmínky velmi intenzivní abraze s malým dynamickým zatížením. [5]

Legované bílé litiny se používají zejména u součástí, kde je výhodné použít technologii výroby odlévání. Je to skupina materiálů, která má velmi dobrou odolnost proti abrazi bez rázů nebo nižší úrovně dynamického namáhání. Některé litiny lze po vyžíhání naměkko i obrábět (Cr_{27} , $Cr_{15}Mo_3...$), ale většinu obrábět nelze a musí se odlévat na daný rozměr nebo, jen s minimem přídatku na dobroušení. Tyto materiály jsou poměrně velmi křehké, ale např. litiny Cr_{27} nebo Ni – hard4 se používají při zpracování v mlýnech na nerostné suroviny. Hodnoty poměrné odolnosti a chemického složení jsou uvedeny v Tab. 1. Odolnost proti abrazi legovaných bílých litin velmi příznivě ovlivňuje martenzitická či martenziticko – austenitická matrice, kde jsou uloženy tvrdé eutektické karbidy. [5]

Součásti, které jsou vystaveny abrazivnímu opotřebení a současně namáhány rázy, musí mít dostatečně velkou houževnatost. Pro splnění této podmínky se osvědčily vysokopevnostní oceli, které vykazují dobrou houževnatost při pevnosti v tahu 1200 – 1800 MPa. Vysokopevnostní oceli jsou oceli, které jsou nízkolegované (Mo, Si, Cr, V, B, Cu, Mn) a mají střední obsah uhlíku (do 0,55 % C) a používají se ve stavu kaleném a popouštěném. V praxi se tyto oceli používají pro půdní nástroje, kde jsou kromě písků, zemin a štěrků kameny větších rozměrů. [5]

Pro podmínky intenzivního abrazivního opotřebení za vysokých tlaků a rázů s lokální plastickou deformací je vhodná manganová austenitická ocel, tzv. Hadfieldova ocel. Obsahuje 1 % Cr, 1,2 – 1,3 % C a 13 % Mn. Díky plastické deformaci, která vzniká za výše uvedených podmínek, má tento materiál vysokou zpevňovací schopnost. Nejedná se však o deformační zpevnění austenitu, ale o lokální martenzitickou transformaci způsobenou plastickou deformací. Martenzitická struktura na povrchu způsobuje, že je materiál na povrchu tvrdší a odolnější vůči otěru. Zbylá část průřezu zůstává austenitická a tím pádem je zachována dobrá houževnatost materiálu. [5]

Tab. 1: Výběr materiálů s porovnáním poměrné odolnosti proti abrazivnímu opotřebení

Opotřebovávaný materiál	Označení dle ČSN EN	Tvrdość (HV)	Poměrná odolnost proti abrazivnímu opotřebení	Poznámka
ocel 12 014	x	95 - 105	1,00	žíhaná, ferit
ocel 19 152	C80U	167	1,19	žíhaná na měkko, perlit
ocel 12 020	C16E	152	1,20	žíhaná, ferit + perlit
ocel 12 050	C45	195 - 205	1,32	žíhaná, ferit + perlit
ocel 42 2920	x	260	1,59	žíhaná, austenit
ocel 19 255	CT120	750	1,89	kalená, martenzit + cementit
nástřik K50	x	488 - 583	2,30	x
návar OTS 517	x	760	2,96	x
ocel 19 436	X210Cr12	876	3,85	kalená, martenzit + austenit + karbidy M_7C_3
bílá chromová litina Cr27	Cr15Mo2	331	4,10	kalená, martenzit + austenit + karbidy M_7C_3

3.3. Renovace strojních součástí

Renovace je proces, při kterém dochází k opravě strojního prvku. Pojem renovace je tedy rovnocenný pojmu oprava strojní součásti. Nevyskytují se montážní, demontážní a seřizovací práce. Do procesu renovace lze zahrnout takové činnosti, jako je zlepšení vlastností proti původnímu provedení. V našem případě lze tedy tyto metody aplikovat na zvýšení životnosti u strojů zpracovávajících půdu např. navařování na čepele zemědělských strojů (radličky, orební tělesa). Samozřejmě je otázkou, zda se vůbec tento postup vyplatí z ekonomického hlediska. V některých případech je místo opravy vhodná úplná výměna. Je nutné také zvážit fakt, že zasahujeme do již hotové součásti, která má již své vlastnosti z výroby. [6]

3.3.1. Renovace na původní rozměry

Principem této metody renovace je nanášení vrstvy materiálu tak, aby byl zachován původní rozměr a tvar součásti. Výhodné je, že součást má původní nebo lepší vlastnosti (můžeme tím zvýšit životnost) a že se nenarušuje princip zaměnitelnosti. Nevýhodou je, že je to poměrně komplikovaný způsob opravy.

Mezi nejčastější metody renovace na původní rozměry patří:

- Navařování
- Stříkání materiálů
- Galvanizace
- Plastická deformace
- Nanášení kompozitů a plastů

Navařování

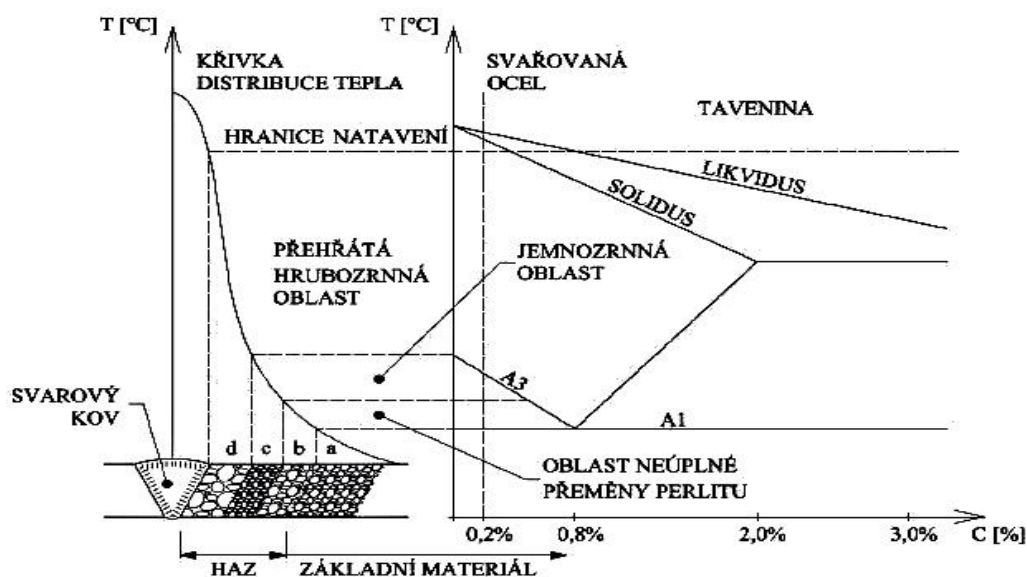
Navařování řadíme mezi nejpoužívanější metodu používanou pro zvýšení pracovní spolehlivosti nebo prodloužení životnosti strojů. V zemědělství je celá řada

strojů či jejich částí namáhána opotřebením, proto lze navařování použít na místa, kde je toto opotřebení největší. Toto je z ekonomického hlediska výhodnější. Navařování vychází z metod konstrukčního svařování. Návary u konstrukčního svařování (spojovací svařování) musí být pevné, hluboce provařené a houževnaté, ale nemají dobrou odolnost proti opotřebení. Proto je u navařování požadována malá hloubka provaření, aby se základní materiál tolik nesmísil s přídavným materiálem a tím se nesnížila jeho odolnost proti opotřebení. Z toho vychází, že je velmi důležité klást důraz na vhodnost přídavného materiálu, který použijeme pro navařování. K navařování můžeme použít materiál přibližně stejného chemického složení, ale mnohem lepší je využít materiálu bohatěji legovaného odolného proti danému druhu opotřebení, aby se zajistila funkční spolehlivost a prodloužila životnost opotřebovávané součásti. [1, 7]

Vhodnost základního materiálu pro navařování

Při posuzování vhodnosti základního materiálu, který použijeme pro navařování, musíme brát v úvahu, že stav a vlastnosti materiálu, z něhož je vyrobena součást, jsou hodnoty dané. Při navařování je ovlivňováno okolí svaru teplem. To způsobí strukturní změny v okolí svaru. Na Obr. 2 je zobrazeno schéma strukturních změn, které vznikají v tepelně ovlivněné oblasti svaru při svařování ocelí. [1, 6]

Obr. 2: Schéma strukturních změn při navařování ocelí



Zdroj: [<http://www.konstrukce.cz/clanek/vliv-svarovani-na-lomovou-houzevnatost/>]

Při navařování na uhlíkovou ocel do obsahu 0,25 % C nejsou vyžadovány žádné zvláštní postupy. Oblast návaru se i při intenzivním ochlazení nezakalí. Pokud použijeme ocel, kde je obsah uhlíku vyšší, může dojít ke vzniku trhlin a vrubů u základního materiálu. U navařování na části strojů, které nejsou v provozu dynamicky namáhány (radlice u pluhů, vyorávačů apod.), lze použít oceli, které mají obsah 0,4 – 0,6 % C. Části strojů, které jsou dynamicky namáhány (ozubená kola, hřídele apod.), se musejí před navařováním tepelně opracovat. [1]

Při navařování na slitinovou ocel, kde jsou kromě uhlíku i další prvky, které způsobí zakalení a ovlivňují i svařitelnost. Pro výběr vhodnosti materiálu ke svařování, tedy jeho svařitelnosti, se užívá parametrická rovnice (2.1) podle tzv. ekvivalentního obsahu uhlíku C_e . Je to fiktivní obsah uhlíku, který by při navařování či svařování vyvolal takové účinky, jaké by vznikly v reálné oceli při tloušťce materiálu t . Hodnota tloušťky materiálu se udává v rovnici v milimetrech. [1]

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{N}{4} + \frac{P}{2} + 0,0024 * t \quad [1] \quad (2.1)$$

Při navařování na povrchově zpevněné (zušlechtěné) oceli je poměrně komplikované. Na oceli, které jsou určeny k cementování lze poměrně dobře navařovat, protože obsahují malé množství uhlíku. Nelze však navařovat na cementační vrstvu, protože ta má obsah uhlíku 0,9 – 1,2 %. Na oceli, jejíž povrch byl upraven nitridací, se velmi špatně navařuje, protože jsou svým složením na hranici svařitelnosti. [1]

Navařování na šedou litinu je velmi obtížné. Je to velmi těžko svařitelný materiál, který vyžaduje velmi pečlivý technologický postup. U některých zvláště složitějších součástí je nutný přehřev na vysokou teplotu (600 – 700 °C). [1]

Volba vhodného návarového materiálu

Volbu návarového materiálu ovlivňuje zejména intenzita namáhání. Pokud je plocha namáhána málo, lze použít levnější materiál. Pokud je však součást namáhána hodně, je třeba zvolit materiál odolnější, tedy i dražší. K posouzení kvality kovu konstrukčního svaru jsou základním kritériem laboratorní zkoušky či zkoušky provozní.

V praxi se používá velké množství návarových materiálů a jejich slitin. Lze použít návarové materiály, které jsou svým složením podobné základnímu materiálu, ale mnohem lepší je využít takový materiál, který je bohatěji legovaný o prvky, které zajistí větší ochranu proti opotřebení. Mezi nejlepší návarový materiál proti abrazi patří návar s wolframovými karbidy. V Tab. 2 je uvedeno rozdělení návarových materiálů a jejich charakteristika. [1, 6]

Tab. 2: Rozdělení návarových materiálů

Typ návaru	Typické složení	Charakteristika návaru
ocel s nízkým obsahem uhlíku	základ Fe; 0,1C; 1Mn; 0,5Si; 0,8Cr; 0,5Ni	nízká odolnost proti abrazivnímu a erozivnímu opotřebení
manganová ocel	základ Fe; 1,1C; 14Mn; 1Ni; 0,5Mo; 2Cr; 0,5Si	vynikající odolnost proti kombinaci abrazivního opotřebení a rázů
martenzitická ocel	základ Fe; 0,5C; 1Mn; 0,5Si; 5Cr; 1,5Mo	dobrá odolnost proti abrazivnímu opotřebení
návar Fe - Cr	základ Fe; 4C; 20Cr; 2Mn; 1Si; 1Mo; 0,5Ni	výborná odolnost proti abrazivnímu a erozivnímu opotřebení za tepla
návar na bázi Cu	základ Cu; 10Al; 1,5Fe; 0,3Sn	nevhodný do podmínek abrazivního a erozivního opotřebení
návar s wolframovými karbidy	60 % částice W; zbytek nízkouhlíková ocel	výborná odolnost proti abrazivnímu a erozivnímu opotřebení

Zdroj: [<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12015/navarove-slitiny-do-podminek-abraze.html>]

Stříkání materiálů

Princip této metody spočívá v nanášení vzduchem neseného roztaveného materiálu na základní materiál. U kovových materiálů se tomuto procesu říká metalizace. Základní materiál musí být velmi dobře připraven (odstranění mechanických nečistot, oxidů, mastnoty apod.), protože na tom závisí kvalita přilnutí stříkaného materiálu na základní. [1]

Mezi nejdůležitější kritéria nástřiku patří pevnost spojení se základním materiálem, pórovitost, odolnost proti opotřebení a tepelná vodivost. Pevnost spojení se základním materiálem závisí především na drsnosti povrchu, teplotě povrchu a na technice stříkání. Odolnost proti opotřebení závisí na druhu opotřebení a nástřiky mají zejména dobrou odolnost proti adhezivnímu opotřebení. [1]

Galvanizace

Galvanizace je proces, který funguje na principu elektrolýzy (Obr. 3) a spočívá v nanášení vrstvy kovu na jiný kov. Galvanizace lze využít k renovaci, ale spíše je využívána jako ochrana povrchu. Mezi nejčastější způsoby renovace opotřebovaných součástí pomocí galvanizace patří chromování. [1]

Plastická deformace

Podstatou této renovace je obnova funkčních vlastností změnou tvaru nebo rozměru materiálu. Celkový objem součásti se nezmění nebo se změní jen nepatrně, čímž se jen přemístí materiál z nepracovních částí na části funkční. [1]

Mezi základní způsoby renovace plastickou deformací můžeme zařadit:

- Pěchování
- Vtlačování
- Zužování
- Rozšiřování [1]

Nanášení kompozitů a plastů

Látky polymerní povahy se stále více prosazují jako konstrukční materiál, který se na jedné straně stává pro kovy konkurencí, na druhé straně však umožňují zcela nová materiálová řešení, založená na polymerech a kovech. Mezi velké výhody patří malá hmotnost a velká odolnost proti korozi. Používají se nejčastěji ve formě povlaků. [8, 9]

3.3.2. Renovace na opravné rozměry

Principem této metody renovace je opracování poškozené funkční plochy tak, že se obnoví její geometrický tvar. Tím pádem dojde ke změně rozměru a součást sdruženou tedy musíme vhodně přizpůsobit. Mezi výhodu této metody patří, že je

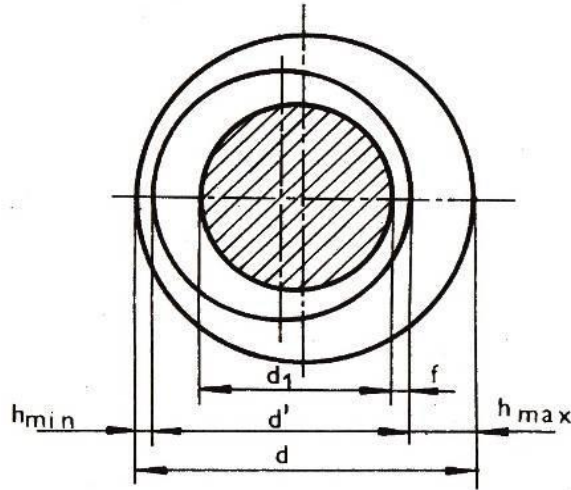
jednodušší, než výroba nové součásti a nevýhodami je, že je narušena vzájemná zaměnitelnost tzn., že součást se nemůže spojit s jakoukoliv součástí, ale pouze se součástí sdruženou ve dvojici, která také musí mít opravné rozměry. Mezi další nevýhody můžeme zařadit také to, že součást je limitována v počtu oprav.

Postup určení opravného rozměru je následující:

1. Vyřazení nepoužitelné součásti
2. Nalezení místa s největším opotřebením (v tomto místě se změří obvodové házení)
3. Nalezení místa s největším házením (v tomto místě se změří největší opotřebením)
4. Zvolení přídavku na opracování
5. Vypočtení nejbližšího možného opravného rozměru pro místo s největším házením a opotřebením
6. Z vypočtených rozměrů se vybere největší (nejmenší), jde-li o opravu vnitřního (vnějšího) rozměru [23]

Na Obr. 3 je znázorněno schéma, jak určit opravný rozměr opotřebovávaného čepu.

Obr. 3: Schéma určení opravného rozměru u opotřebeného čepu. d – původní rozměr; d' – průměr opotřebení; d_1 – průměr opravený; h_{max} a h_{min} – velikost opotřebení; f – přídavek na opracování



Zdroj:[Havlíček, J., Provozní spolehlivost strojů, 1989]

Celková velikost opotřebení se vypočte podle vztahu

$$h = h_{max} + h_{min} \quad [1] \quad (2.2)$$

Při určování opravného rozměru mohou nastat dva případy:

1. Osa čepu s opravným rozměrem je po opracování stejná s osou původního čepu, pak můžeme opravný rozměr vyjádřit vztahem

$$d_1 = d - 2 * (h_{max} + f) \quad [1] \quad (2.3)$$

2. Osa čepu s opravným rozměrem není po opracování stejná s osou původního čepu s minimálním odběrem materiálu, pak je možno opravný rozměr vyjádřit vztahem

$$d_1 = d - (h_{max} + h_{min} + 2 * f) \quad [1] \quad (2.4)$$

3.3.3. Renovace deformovaných součástí (tváření)

Při normálních pracovních podmínkách uvolněním vnitřních sil či při zatížení nad mez pružnosti materiálu dojde k deformaci vlivem vnějších sil. To má za následek deformování materiálu a ztrátu jeho původního geometrického tvaru. Takto deformované součásti se v běžné praxi opravují rovnáním. Existuje několik metod rovnání, které se používají. Jejich použití závisí na druhu materiálu, složitosti konstrukce nebo na tepelném zpracování. [1]

Dvě základní skupiny rovnání:

- Mechanický způsob
- Rovnání místním ohřevem

Mechanické rovnání může probíhat za tepla nebo za studena. Principem je vyvolat pomocí vnější síly plastickou deformaci, pomocí které dojde k vytvoření požadovaného tvaru součásti. Mezi způsoby za studena můžeme zařadit rovnání prostým ohybem nebo povrchovým náklepem.

Rovnění místním ohřevem využívá tepelnou roztažnost kovů, která při ohřevu vyvolává kombinaci plastické a elastické deformace. Při ochlazování nahřátého tělesa vzniknou vnitřní pnutí, která součást vyrovnají. [1]

3.3.4. Renovace součástí s trhlinami a lomy

Jak již bylo zmíněno v kapitole Mechanismy poruch a jejich vnější projev, je příčinou vzniku těchto poruch především nevhodná konstrukce, nesprávný provoz či nesprávná technologie výroby. Tyto příčiny se velmi často projeví na charakteru lomu. Z hlediska energetické náročnosti můžeme lomy rozdělit do dvou skupin a to na lomy křehké a houževnaté. K iniciaci křehkého lomu postačuje relativně malá energie. U lomu houževnatého je tomu naopak. [1, 10]

Mezi nejčastější metody renovace lomů a trhlin patří:

- Svařování
- Pájení
- Kolíčkování, systém Metalock
- Tmelení, lepení

3.4. Zvyšování odolnosti materiálů pomocí povrchových úprav

V praxi často nelze použít pro nástroj nebo strojní součást tak odolný materiál proti opotřebení, které je zastoupeno v největší míře na dané součásti, protože nevyhovuje z hlediska provozního namáhání nebo z ekonomického hlediska. To je však možné zajistit vhodnou povrchovou úpravou materiálu.

Při výběru vhodné povrchové úpravy se musí vzít v úvahu celá řada faktorů:

- Tvar, rozměry a hmotnost nástroje
- Základní materiál
- Vliv provozního prostředí
- Cenu jednotlivých povrchových vrstev apod.

Povrchové vrstvy zlepšují tribotechnické charakteristiky (koeficient tření a odolnost proti opotřebení) a lze je rozdělit do dvou skupin:

- Tvrdé povrchové vrstvy a povlaky
- Houževnaté a měkké vrstvy a povlaky

Tvrdé povrchové vrstvy a povlaky využívají fakt, že u tvrdých povrchů se plastické mikrodeformace výrazně sníží a tím pádem se sníží intenzita abrazivního,

adhezivního a erozivního opotřebení. Dalším důležitým požadavkem je malá drsnost třecích ploch, čímž se zabrání intenzivnímu rýhování funkčního povrchu. [11, 15]

Houževnaté a měkké vrstvy a povlaky se uplatňují především proti adhezivnímu a vibračnímu opotřebení. Porušování povrchových vrstev i smyková deformace se umisťují do tenké vrstvy s vysokou plasticitou. Pevnost materiálu pod povrchem je vyšší a brání rozvoji plastické deformace, čímž brání porušování materiálu ve větší hloubce. [11, 15]

3.4.1. Technologické procesy vytváření otěruvzdorných povrchových vrstev

Povrchové vrstvy lze vytvářet mechanickými, tepelnými, chemicko-tepelnými a elektrochemickými procesy.

Mechanický proces úpravy povrchu spočívá v mechanickém působení na danou součást. Mezi základní druhy patří otryskávání, leštění a broušení, omílání a kartáčování. *Při otryskávání* dochází k dopadu částic nesených vzduchem či vrhaných lopatkami na otryskávaný povrch, které způsobí jeho čištění či malé deformační zpevnění. Při leštění a broušení dochází k ubírání materiálu a tím pádem k odstranění hrubých nedokonalostí a nerovností. Slouží také pro přípravu povrchu před pokovováním. *Omílání* je proces, při kterém dochází vlivem omílacích těles k omílání součásti v omílacích zvonech a bubnech, čímž se obrušují a otloukají. *Kartáčování* je využíváno spíše k mechanickému čištění povrchu např. po kalení. Kartáče mohou být drátěné, umělé nebo z přírodních vláken. [3, 12, 22]

Tepelný proces úpravy povrchu spočívá v působení tepla na danou součást tak, aby bylo dosaženo požadované struktury materiálu. Metodami tepelného zpracování jsou žíhání, kalení a popouštění. Pro dosažení tvrdé struktury povrchu je vhodné povrchové kalení. Tvrdou strukturu vyžadujeme obzvláště při zvýšené abrazi materiálu. Principem je působení tepla z tepelného zdroje (plamen, elektronový svazek, laser,

indukce) na danou součást, dosažení austenizační teploty s krátkou dobou výdrže na dané teplotě s následujícím prudkým zchlazením vodou nebo minerálními oleji. Čím větší je hloubka prohřátí materiálu, tím je větší hloubka zakalení. Protože materiál zakalený na martenzitickou strukturu je křehký s vysokým pnutím, je potřeba ho popouštět (proces ohřevu na popouštěcí teplotu, vydrž na této teplotě asi 2 hodiny a pomalé ochlazování). [3, 13, 15, 22]

Chemicko-tepelný proces spočívá v modifikaci povrchových vrstev uhlíkem, dusíkem, borem a dalšími prvky (Al, V, Cr, Nb, Ti, Cr) či difuzním sírováním, chromováním sulfonitridací nebo kombinací uhlíku a dusíku (nitrocementace a karbonitridace). Nejčastějším způsobem tohoto procesu je syčení povrchu uhlíkem neboli cementace. *Cementací* se sytí povrchy ocelí, které mají obsah uhlíku maximálně do 0,3 %. Syčení probíhá v prostředí pevném, kapalném nebo plynném a to až do obsahu uhlíku 0,7 – 0,9 %. Tloušťka nauhličené vrstvy je až 1,5 mm. Povrch materiálu je velmi tvrdý, ale pod povrchem materiálu zůstává houževnatý. Cementační teploty se pohybují v rozmezí 850 – 950 °C a platí, že čím větší teplota, tím rychlejší je cementační proces a tím větší hloubka cementace. Vhodné tvrdosti a odolnosti proti opotřebení dosáhne materiál po cementaci popouštěním. Další z nejpoužívanějších způsobů je syčení povrchu dusíkem neboli nitridace. *Nitridací* se sytí povrchy, kde je zapotřebí získat vysokou tvrdost. Výhodou oproti cementování je, že povrch dosáhne svých požadovaných vlastností při vlastním procesu nitridace. Nasycuje se při teplotách v rozmezí 500 – 550 °C. Zdrojem dusíku je čpavek. Při syčení povrchu uhlíkem i dusíkem zároveň jsou rozdílné teploty pochodu, množství uhlíku a dusíku a způsob, jakým se dosahuje požadovaných vlastností. Pokud převládá uhlík, procesu se říká *nitrocementace*. Probíhá při teplotách v rozmezí okolo 820 – 840 °C v atmosféře čpavku ve směsi s uhlovodíkem. Při karbonitridaci převládá dusík. [2, 3, 14, 20, 22]

Elektrochemickým procesem úpravy povrchu je anodizace, která vytváří na povrchu Al a jeho slitin vrstvu porézního a tvrdého oxidu Al_2O_3 , který lze sytit kapalinným mazivem. To umožňuje alespoň částečně odstraňovat velmi špatné tribologické

charakteristiky hliníku a většiny jeho slitin. Základní charakteristiky některých technologických postupů pro vytváření povrchových vrstev jsou shrnuty v Tab. 3.

Tab. 3: Základní parametry jednotlivých technologií pro vytváření povrchových vrstev

Technologie přípravy povrchové vrstvy	Teplota procesu [°C]	Tloušťka povrchové vrstvy [μm]	Základní materiál	Tvrdość [HV]
iontová implantace	do 150	0,15 - 0,3	kovové materiály	
povrchové kalení (plamenem, indukci)	>A _{c3}	do 2500	uhlíkové oceli s 0,4 - 0,5 %C, nízkolegované oceli	650
povrchové kalení (laserem)	>A _{c3}	do 1500	oceli, litiny, kalitelné slitiny Al, Ti, Ni	x
cementace	850 - 950 (zásyp i plyn)	>2000	oceli s max. 0,3 %C	800 - 900*
nitridace	450 - 600 (sůl, plyn, plazma)	100 - 650	oceli legované Cr, Mo, Al, V	500 - 1150
karbonitridace	540 - 620 (sůl, plyn)	20 - 50	nízkolegované oceli s 0,4 %C	1000
nitrocementace	800 - 860 (sůl, plyn)	400 - 800	oceli legované Cr, Mo, V	800*
difuzní sírování	570 - 600 (sůl, plyn)	20 - 60	oceli, litiny	
bórování	900 (zásyp)	20 - 120 (i 500)	nelegované oceli	1550 - 2000
vanadování	1000 - 1100 (zásyp)	5 - 15	oceli >0,4 %C	2500 - 3000
anodizace	elektrolyt	do 100	Al slitiny	400 - 500

*po tepelném zpracování (kalení a popouštění na nízké teploty)

Zdroj: [<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/oteruvzdorne-povrchove-upravy-1-cast-.html>]

3.4.2. Technologické procesy vytváření povlaků

Galvanické pokovování patří mezi nejpoužívanější druh vytváření povrchových povlaků. Principem je pomocí elektrolýzy vodných roztoků vytvořit na povrchu kovu povlak, který má za úkol zvýšit korozní odolnost, snížit vliv okolního prostředí či dodat požadovaný vzhled. Jedná se o poměrně dost složitý proces. Druh povlaku se volí podle toho, jak bude předmět využíván či podle požadavků na vzhled. Jednotlivé druhy pokovování se nazývají podle toho, jaký kov je zrovna používán (chromování, mědění, cínování atd.). [14]

Termodifuzní pokovování funguje na principu difuze, která je charakterizována jako relativní pohyb částic (atomů, elektronů, molekul apod.) vůči okolí. Spolu s teplem se projevuje změnou rozkmitu molekul či atomů. Pokud se částice dvou různých hmot dostanou blízko sebe, vzniknou mezi nimi síly, která mají snahu vyrovnat kinetickou energii. Každý druh částic má totiž jiný rozkmit. Pro povrchovou úpravu má difuze mezi základem a povlakem velký vliv na přilnavost a jiné další vlastnosti. [14]

Žárové pokovení v roztavených kovech spočívá v ponoru výrobku do roztavených kovů. Metoda je dobrá k vytváření povrchových ochranných vrstev proti korozi s dostatečně velkou tloušťkou a malou pórovitostí. Podmínkou tohoto procesu je, aby základní kov měl vyšší teplotu tavení než povlakový kov. [14]

Keramické povlaky zahrnují sklovité smalty, žáruvzdorné sklovité a keramické povlaky a skleně krystalické povlaky. Nejdůležitější v technické praxi je smalt. Vzniká natavením na podkladový kov (ocel, šedá litina, hliník a jeho slitiny a ve speciálních případech i měď, mosaz či některé drahé kovy). Ochranná funkce smaltu spočívá ve vytvoření celistvé vrstvy natavené na povrchu kovu. Tato vrstva je nepropustná a její hlavní úkol spočívá v izolaci kovu od okolního prostředí. [14]

Povlakování ve vakuu je jedna z nejzajímavějších technologií nanášení tenkých povlakových vrstev. Tyto vrstvy jsou velmi tvrdé a odolné proti abrazi. Využívají se materiály jako TiN, TiCN, TiC, CrN, Al₂O₃ a další. Procesy povlakování ve vakuu se rozdělují do dvou skupin a to na *chemické povlakování z plynné fáze (CVD)* a *fyzikální povlakování (PVD)*. Chemické povlakování představuje soubor chemických reakcí. Z plynných látek vznikají látky tuhé, které ve formě tenkých povlaků přilnou k povrchu. Fyzikální povlakování má obrácený mechanismus. Z pevných látek vznikají látky plynné. Ty vznikají procesem napařování nebo katodové napařování. Metody fyzikálního povlakování lze rozdělit na napařování ve vakuu, iontové povlakování, iontová implantace, katodové napařování a reaktivní iontové napařování. [14]

V Tab. 4 jsou uvedeny některé druhy povlaků a jejich základní parametry.

Tab. 4: Základní parametry vybraných technologií vytváření povlaků

Technologie přípravy povlaku	Teplota procesu [°C]	Tloušťka povlaku [μm]	Základní materiál	Tvrдость [HV]
navařování slitinami Co, Fe, Ni	> teplotou tavení	250<	oceli, slitiny kovů	podle chemického složení návarů
termické nástřiky plamenem, obloukem	200 - 400	do 2000 kovy, do 500 keramika	kovové materiály, keramika	podle chemického složení nástřiku
plazmový nástřik	50 - 300	do 1000 kovy, do 500 keramika	kovové materiály, keramika	podle chemického složení nástřiku
tvrdý Cr	50 - 80 elektrolyt	1 - 250	oceli	900 - 1200
CVD - TiC, TiN, TiCN apod.	>800	do 10	slitiny kovů, oceli	1800 - 5200
PVD - TiN, TiCN, CrN	400 - 550	2 - 4	oceli, slitiny kovů	2300 - 3000

Zdroj: [<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42011/oteruvzdorne-povrchove-upravy-2-cast.html>]

4. APLIKACE JEDNOTLIVÝCH METOD V PRAXI

4.1. Metoda navařování

Svařování patří k nejpoužívanějším a nejdůležitějším technologiím v rámci průmyslové výroby a opravárenství. Je to technologie, která je využívána prakticky po celém světě a mezi její hlavní odvětví patří také navařování. Technologie navařování vhodně doplňuje proces spojovacího svařování a společně se uplatňují při vytváření důmyslných konstrukcí, výrobě či renovaci zemědělských strojů a zařízení a dalších oblastí, do kterých člověk může svými prostředky zasáhnout. Tato technologie se v posledních několika letech dočkala velkého rozšíření, protože nárůst navařovacích technologií a návarových kovů zapříčinil velký rozvoj této technologie. Výsledek tohoto procesu může být použit k běžnému doplnění rozměrů opotřebeného nástroje, či výrobku, až po vytváření vrstev, které mají zcela odlišné vlastnosti než základní materiál, na kterém jsou navařeny. Tímto jsme schopni dosáhnout nejrůznějších námi

požadovaných vlastností výsledného výrobku. Tato schopnost je dnes hojně využívána jako součást výrobní technologie a také ke zvýšení životnosti strojů, zařízení a součástí nástrojů, které slouží například ve výrobě, údržbě, zemědělství a zejména v renovačních technologiích. [15, 16]

V zemědělství je tato metoda ukázkovým příkladem. Stroje zpracovávající půdu jsou vystaveny velkému abrazivnímu opotřebení. Toto opotřebení způsobuje degradaci materiálu a může mít za následek porušení stroje či jeho částí (radličky, orebního tělesa). U těchto částí nedochází k opotřebení rovnoměrně po celé části, a proto se navařování uplatňuje v místech, kde je právě toto opotřebení největší. Na Obr. 4 je ukázka navařů na čepel a na hrot podrýváků.

Obr. 4: Kolmý návar na ostří čepel (vlevo) a návar na hrot podrýváku (vpravo)



Zdroj:[<http://www.technolit.de/App/WebObjects/XSeMIPS.woa/cms/page/pid.102.104.193/agid.1.3805.47/ecm.ag/Agrar-Dur-700.html>]

4.2. Povlakování

Metody povlakování jsou založené na principu nanášení vrstev materiálu za účelem zvýšení odolnosti povrchu proti opotřebení, zvýšení tvrdosti a zlepšení fyzikálních a chemických vlastností upravované povrchové vrstvy nástroje. V dnešní době se samozřejmě tato metoda uplatňuje i v zemědělství. Nejčastější metody

nanášení povrchových vrstev je povlakování a galvanické pokovování (metody CVD a PVD). Aplikace povlaků dosáhla v poslední době velkého rozvoje. [17, 18]

V roce 2011 byl proveden výzkum v nanášení povlaků na plužní čepel. Šlo o tzv. povlak DLC (Diamond Like Carbon). Jedná se o povlak složený z grafitického uhlíku, diamantového uhlíku a vodíku v rozdílných poměrech. Předností tohoto povrchu je malé tření. Čepel s povlakovou vrstvou vykazovali mnohem menší tření, než čepel bez povlaku (Obr. 5). Snížení tření má také vliv na výkon traktoru, který pro operaci s pluhem opatřenými povlakem DLC nepotřebuje takový výkon. [21]

Obr. 5: Polní zkouška u špičky radlice (vlevo bez povlaku, vpravo s povlakem)



Zdroj: [<http://www.gizmag.com/dlc-coated-plows/19334/picture/138593/>]

4.3. Metoda tváření

Je to proces, při kterém dochází k plastické deformaci, která je pro nás žádoucí. Spočívá v působení vnějších sil za účelem získání požadovaného tvaru. Dělení tváření je podle teploty a rozděluje ho na *tváření za studena* a *tváření za tepla*. *Tváření za tepla* probíhá při teplotě nad rekrystalizační teplotou tvářeného materiálu. *Tváření za studena* probíhá pod teplotou rekrystalizace. V tváření výrobním a renovačním není velký rozdíl, protože jsou prakticky totožné. [10]

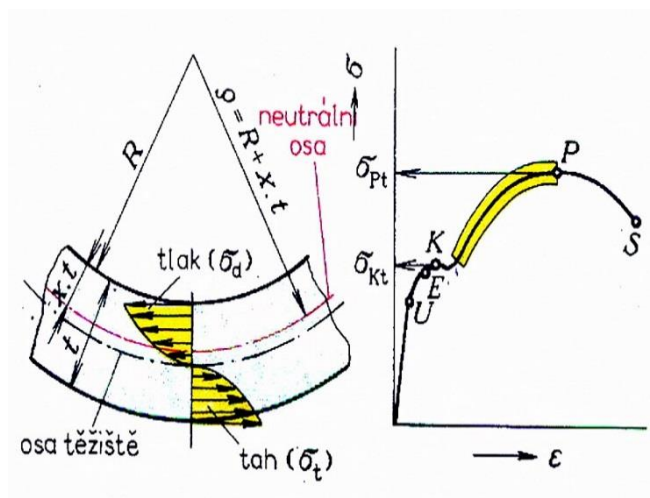
Jak již bylo uvedeno v kapitole o metodách renovace deformovaných součástí, můžeme sem zahrnout metodu rovnání ohybem. V běžné praxi se používají dva typy a to mechanický způsob rovnání a rovnání místním ohřevem. Mechanický způsob může probíhat buď za studena anebo za tepla.

U metody za studena je potřeba si uvědomit, že nelze dosáhnout úplně přesných rozměrů. Horní strana součásti je namáhána silou a dochází k tlačení této strany, kde jsou vlákna materiálu zkracována. Na druhé straně je materiál naopak tažen a vlákna se tedy prodlužují. Síla působící okolo neutrální osy způsobuje pouze elastickou deformaci, čili nepřekračuje mez kluzu materiálu. Povrch materiálu je ale namáhán plastickou deformací. Při odlehčení působící síly se materiál bude vracet pomocí vnitřních pnutí do původního tvaru, dojde k vymizení elastické deformace a materiál je deformován v opačném směru. [1, 7]

Metoda za tepla je velmi podobná metodě za studena. Rozdíl je v tom, že se součást ohřeje na teplotu tváření. Tím se sníží velikost potřebné síly pro rovnání a dojde ke změně vlastností materiálu. Nedojde k elastické deformaci, ale jen k plastické. [1, 7]

Při rovnání místním ohřevem se změní rozložení vnitřních pnutí, a pokud se vhodně provede, dojde k vytvoření požadovaného tvaru. Materiál, který je ohříván se roztahuje a okolní chladnější materiál se tomuto roztahování brání. To způsobuje vznik tlaku na okolí ohřívajícího materiálu. Po přerušení přívodu tepla začne materiál chladnout a teploty se pomalu vyrovnají. Vznikne tahové napětí, které způsobí v rozložení vnitřních pnutí takové změny, že se součást vytvaruje do požadovaného tvaru. Na Obr. 6 je znázorněno obecné rozložení sil a jejich velikost v ohýbaném materiálu. [1, 7]

Obr. 6: Rozložení sil a jejich velikost v ohýbaném materiálu



Zdroj: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm]

4.4. Aplikace lepidel a kompozitů

Lepení je technologie, která je velmi hojně využívána téměř ve všech odvětvích. Užívá se jak ke spojování, tak k renovaci součástí. Je to metoda poměrně levná a efektivní a v poslední době dost používaná. Základem je vhodně připravit povrch (mechanicky, chemicky) a zvolit vhodný druh lepidla. V zemědělství tato metoda nemá velké uplatnění.

Aplikace kompozitů se v poslední době hodně rozvíjí. Mají takové chemické a fyzikální vlastnosti, které ostatní materiály postrádají a zároveň tolik neovlivňují hmotnost součástí. Používají se jak k renovaci, tak k výrobě celých součástí. Aplikace kompozitů v praxi je dnes velmi hojně využívána především v automobilovém a leteckém průmyslu. [19]

5. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo shromáždit a sepsat poznatky o poruchách strojů či jejich součástí a jednotlivé metody jejich renovace. Začátek práce je zaměřen na jednotlivé druhy poruch včetně nejdůležitějšího, tedy opotřebením. Navázáno je kapitolami, které se zabývají jejich opravami čili renovací a shrnul poznatky o materiálech, které jsou pro ně vhodné. V závěrečné části jsou uvedeny jednotlivé metody renovace v praxi na příkladech, týkajících se především aplikace na strojích pracujících v zemědělství konkrétně zpracovávajících půdu.

Je odhadováno, že až 60 % všech poruch strojů a zařízení je způsobeno právě opotřebením. Od toho se také odvíjí jejich životnost a spolehlivost. Je však možné toto opotřebením alespoň poměrně dobře minimalizovat a to volbou vhodného materiálu, který na stroj či jeho součást použijeme. Pokud už dojde k poruše opotřebením, je možné zvolit vhodnou volbu renovace a v krajním případě i pořízení nové součásti.

Je třeba si také uvědomit, že nároky zákazníků se stále zvyšují. Tomu se přizpůsobují i výrobci. Vytvářejí nové a vyspělejší technologie, více spolupracují přímo s odběrateli svých výrobků, aby bylo dosaženo nejvyšší možné kvality odvedené práce a byla zajištěna její kvalitnější kontrola.

Správná volba základního materiálu je rozhodující v jakémkoliv výrobním procesu. Snaha technologů a konstruktérů by měla směřovat k tomu, aby byla preventivně zajištěna co možná nejvyšší kvalita použitého materiálu za účelem zajištění co nejdelší životnosti a provozuschopnosti strojů. Samozřejmě je potřeba dbát na ekonomickou hospodárnost, kterou lze právě prevencí, volbou vhodného materiálu apod. zajistit.

Při sepisování této práce bylo zjištěno, že v praxi neexistuje univerzální metoda ochrany. Je volena tak, aby splňovala konkrétní požadavky každého podniku a ekonomicky se vyplatila.

POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- [1] HAVLÍČEK, J. aj.: *Provozní spolehlivost strojů* (2. přepracované vydání). Praha, SNZ, 1989, 616 s., ISBN 80-209-0029-2
- [2] CHOTĚBORSKÝ, R.: *Nauka o materiálu*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-213-2236-3.
- [3] MÍŠEK, B. a kol.: *Strojírenské materiály a povrchové úpravy – Koroze a povrchová úprava strojů*. Praha, SNTL, 1982, 208 s.
- [4] SUCHÁNEK, J. a kol.: *Abrazivní opotřebení materiálů*. Praha: [České vysoké učení technické], 2007, 162 s. ISBN 978-80-01-03659-4.
- [5] DORAZIL, E.: *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: Československá redakce VN MON, 1991, 249 s. ISBN 80-214-0239-3.
- [6] LÖBL, K.: *Navařování*. Praha, SNTL, 1961, 132 s.
- [7] POŠTA, J.: *Technologie údržby a oprav strojů*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 1995, 193 s., ISBN 80-213-0248-8
- [8] STEIDL, J.: *Plasty a kompozity naplňují materiálové požadavky moderního strojírenství*. MM Průmyslové spektrum, 2005 / 1, 02. 02. 2005 v rubrice Komerční příloha / Plasty, str. 35 ISSN 1212-2572
- [9] POŠTA, J.: *Technologie údržby a oprav strojů*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 1995, 193 s., ISBN 80-213-0248-8
- [10] PLUHAŘ, J.: *Nauka o materiálech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 549 s.

- [11] SUCHÁNEK, J.: *Vrstvy odolné proti opotřebení: Sborník referátů = Sborník dokladov = Sammelband von Vorträgen* : Celost. konf. se zahr. účastí Praha 1989, Dům techniky ČSVTS. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1989, 162 s. ISBN 80-029-9710-7
- [12] BROŽEK, M.: *Strojírenská technologie I (návody ke cvičením)*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2008, 80 s., ISBN 978-80-213-1780-2
- [13] HLUCHÝ, M. a kol.: *Strojírenská technologie 1: metalografie a tepelné zpracování*. 3., přepracované vydání. Praha: Scientia, 2002, 173 s. ISBN 80-718-3265-0.
- [14] SUCHÁNEK, V. a kol.: *Speciální technologie povrchových úprav*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1993, 115 s. ISBN 80-01-01018-X.
- [15] HRABĚ, P., CHOTĚBORSKÝ, R.: *Zvyšování životnosti abrazivně opotřeбенých strojních částí*. MM Průmyslové Spektrum, 2005 / 5, 18. 05. 2005 v rubrice Výroba / Technologie, str. 80 ISSN 1212-2572.
- [16] MÜLLER, M., aj.: *Aplikace návarů a kompozitů v oblasti technologie pěstování a sklizně cukrové řepy*. Listy cukrovarnické a řepařské. Praha: VUC Praha, a. s. ve spolupráci s ČMCS a SPC, 2011, roč. 127, 9/10, s. 304-307. ISSN 1210-3306.
- [17] HOREJŠ, S.: *Povlakování nástrojů metodou PACVD*. MM průmyslové spektrum. 2008, c. 4, s. 60.
- [18] HOREJŠ, S.: *Trendy v povlakování slinutých karbidu*. MM průmyslové spektrum. 2001, c. 7, s. 43.
- [19] JANČÁR, J.: *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vydání. Brno: VUT - Brno, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5

[20] SUCHÁNEK, J.: Otěruvzdorné povrchové úpravy - 1. část [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/oteruvzdorne-povrchove-upravy-1-cast-.html>

[21] QUICK, D.: *Diamond-like carbon-coated plows to save fuel by sliding through the soil.* *Www.Gizmag.com* [online]. 26. 7. 2011 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/dlc-coated-plows/19334/>

[22] SUCHÁNEK, J.: *Otěruvzdorné povrchové úpravy - 2. část* [online]. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/oteruvzdorne-povrchove-upravy-1-cast-.html>

[23] Údržba a renovace. [online]. 2008 [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Predmety/PUS/Prednasky/7_Udrzba_renovace_RGB.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma mechanismu opotřebení

Obr. 2: Schéma strukturních změn při navařování ocelí

Obr. 3: Schéma určení opravného rozměru u opotřebovávaného čepu

Obr. 4: Kolmý návar na ostří čepu (vlevo) a návar na hrot podrýváků (vpravo)

Obr. 5: Polní zkouška u špičky radlice

Obr. 6: Rozložení sil a jejich velikost v ohýbaném materiálu

Seznam tabulek

Tab. 1: Výběr materiálů s porovnáním poměrné odolnosti proti abrazivnímu opotřebení

Tab. 2: Rozdělení návarových materiálů

Tab. 3: Základní parametry jednotlivých technologií pro vytváření povrchových vrstev

Tab. 4: Základní parametry vybraných technologií vytváření povlaků

Seznam symbolů

d	původní rozměr	[mm]
d'	opotřebovaný průměr	[mm]
d_1	opravený průměr	[mm]
h	celkové opotřebení	[mm]
h_{\max}	velikost opotřebení	[mm]
h_{\min}	velikost opotřebení	[mm]

f	přídavek na opracování	[mm]
Ce	ekvivalentní obsah uhlíku	[%]
C	obsah uhlíku	[%]
P	obsah fosforu	[%]
Mn	obsah manganu	[%]
Ni	obsah niklu	[%]
Cu	obsah mědi	[%]
V	obsah vanadu	[%]
Ti	obsah titanu	[%]