Analýza životnosti pístů na vysokotlakých licích strojích

Bc. Barbora Vaňková

Vedoucí práce: Ing. Petr Zikmund

Abstrakt
Práce je zaměřena na výzkum životnosti pístů u vysokotlakých licích strojů ve slévárně hliníku automobilky Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi. Analýza je prováděna na strojích Müller Weingarten, kde probíhá sériová výroba skříní převodovek a spojek. Cílem práce je vyhodnotit životnost u třech licích pístů s rozdílnými povlaky, jednotlivé povlaky popsat a zhodnotit nejvhodnější variantu z hlediska technologie, nákladů a časové náročnosti sériové výroby.

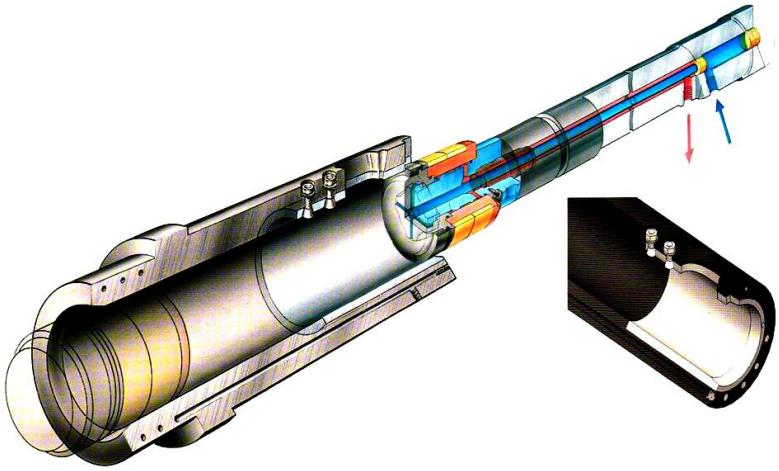
Klíčová slova
vysokotlaké licí stroje, lisovací mechanismus, licí píst, povlaky, PACVD

1. Úvod

Hlavním úkolem této práce je porovnání životností jednotlivých pístů. Jedná se o konvenční sériový píst Copromec bez další povrchové úpravy, píst napovlakovaný zařízením Rocklinizer® a píst s PACVD povlakem od firmy VÚHŽ a. s.. Písty přicházející do styku s tekutým kovem jsou namáhány cyklickým tepelným zatížením. Tento způsob namáhání vede k tepelné únavě materiálu, vzniku trhlin či nalepování zpracovávaného materiálu na povrch stykové plochy (čela pístu). Proto je nutné stále hledat způsoby prodloužení životnosti těchto pístů, aby bylo možné dosahovat co nejefektivnější výroby odlitků.

2. Lisovací mechanismus

Hlavními součástmi lisovacího mechanismu jsou licí komora, licí píst s pístními kroužky, držáku pístu a pístnice (viz. *Obr. 1*). Lisovací mechanismus musí dopravit značným specifickým tlakem množství kovu do dutiny formy v co nejkratším čase. [2] Rychlost lisovacího pístu musí být regulovatelná v širokém rozmezí, přičemž požadované maximální rychlosti především u strojů s horizontální komorou jsou až 6 $m.s^{-1}$ i víc. Velké rychlosti lisovacího pístu lze dosáhnout pomocí přívodního tlakového potrubí a hydro-pneumatickým akumulátorem. Regulace rychlosti licího pístu se provádí hydraulickým regulátorem, u kterého je možné měnit plynule průřez přívodního potrubí. [6]



Obr. 1 Lisovací mechanismus [1]

Pohyb lisovacího pístu je možné rozdělit do tří fází:

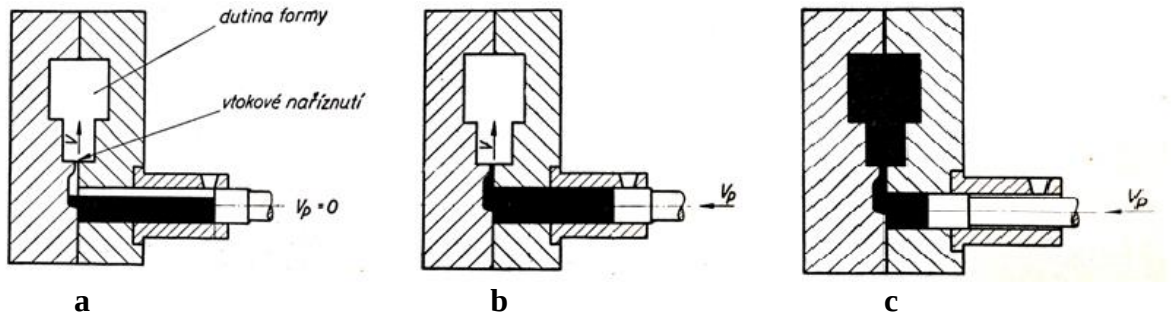
I. fáze: Předplnění licí komory
Tato fáze nastává po naplnění licí komory taveninou. Píst se pohybuje velmi pomalou rychlostí kolem 0,2 $m.s^{-1}$ až do polohy nalévacího otvoru. Tato rychlost je nízká, aby se hladina ustálila a tavenina nevystříkla ven z nalévacího otvoru. Poté nastává pohyb rovnoměrně zrychlený až do rychlosti 0,9 $m. s^{-1}$.

II. fáze: Plnění formy
Plnění formy začne v okamžiku, kdy kapalný kov dosáhne zářezu formy. V této poloze nastává prudké zrychlení až do rychlosti nastavené řídicí jednotkou. Samotné plnění se děje konstantní rychlostí kolem 5 m/s.

III. fáze: Dotlak
Kapalný kov, který vyplnil formu je vytlačovaný velkou silou až do nejvzdálenějších míst formy. Velikost tlaku v této fázi, a tím i velikost lisovací síly, je možno nastavovat na regulátorech tlaku. [5]

S růstem lisovací síly na začátku procesu lisování souvisí i vzrůst tlaku pracovní kapaliny v lisovacím válci a též lisování kovu do formy. Kapalný roztavený kov je dávkovaný do plnící komory tak, že po dávkování zaujme cca 75% objemu komory. [6]

Hodnota tlaku na kov v plnicí komoře má být taková, aby se dutina formy vyplnila vhodnou rychlostí, tj. za optimální čas. Vliv tlaku na kov v plnící komoře se výrazně projeví na době plnění formy. Zvýšení tlaku na kov se výrazně projeví i na homogenitě odlitku a na jeho mechanických vlastnostech.



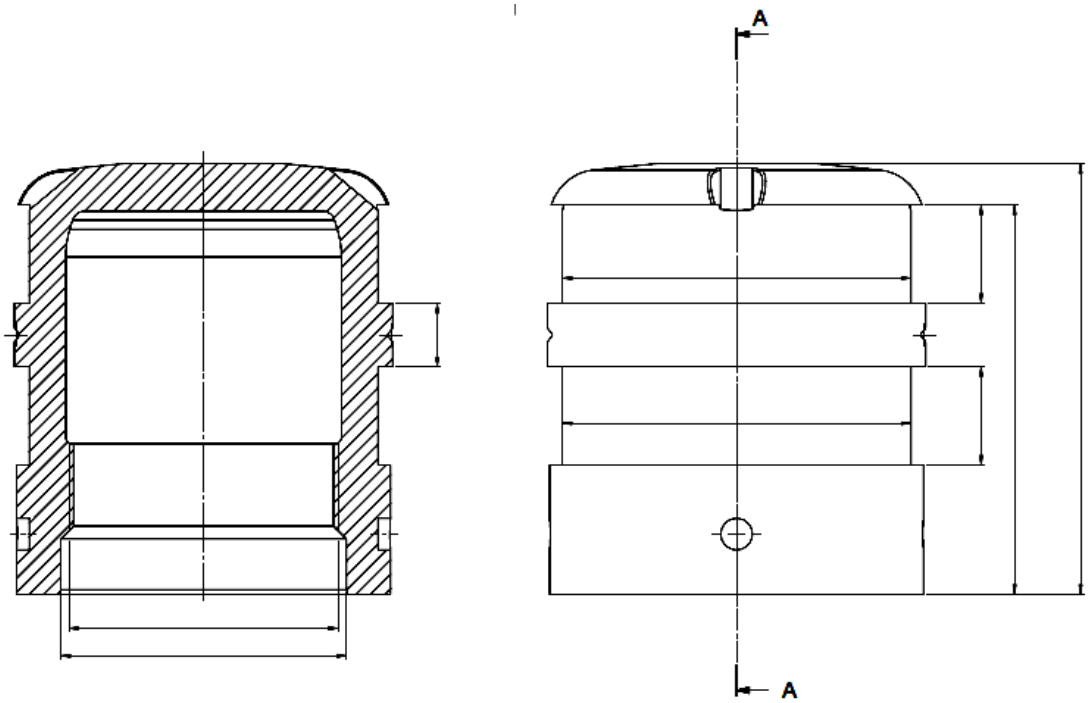
Obr. 2 Jednotlivé fáze zalisování kovu do formy (a- předplnění, b- plnění formy, c- dotlak)[1]

3. Sériový licí píst bez povlaku
Sériový píst Copromec® je vyroben z chrommolybdenové nástrojové oceli s následnou nitridací. Tyto oceli obsahují obvykle 0,30 %C, 2,8 až 5 %Cr, 0,5 až 2,5 %Mo, nejčastěji i s přísadou vanadu, wolframu či kobaltu. Kobalt snižuje sklon ke křehkému lomu za vyšších teplot a zvyšuje plastické vlastnosti za tepla. Přesný chemický rozbor této oceli byl proveden spektrální analýzou v laboratoři, viz. ***Tab. 1***. [6,7]

Tabulka 1: *Chemické složení oceli licího pístu Copromec®*

Prvek	Obsah v %
C	0,3350
Mn	0,3180
Si	0,9390
P	0,0169
Si	0,0069
Cr	5,0100
Ni	0,0940
Mo	1,2100
Al	0,0226
Cu	0,0940
Ni	0,0200
Ti	0,0038
V	0,0940
B	0,0004
Nb	0,0108
Sn	0,0066
Pb	0,0020
Co	0,0126
W	0,0102
Ca	0,0026
Sb	0,0039
Fe	91,0000

V těchto vysokolegovaných ocelí je obsah karbidotvorných prvků tak velký, že popouštěním při teplotě vyšší než 400°C dochází ke zvýšení tvrdosti, tzv. druhotná tvrdost. Proto se vývoj ocelí na výrobu pístu posunul od chromových a wolframových ke kombinacím W-Cr, W-Cr-Co, Cr- Mo, Cr-Mo-V apod. Při zakalení pod teplotou počátku tvorby martenzitu obsahuje ocel martenzit a zbytkový austenit, který se při popouštění rozpadá na martenzit nebo bainit a tím může přispět k druhotné tvrdosti. Pro snížení vnitřního pnutí oceli se volí kalení na vzduchu. [5]



Obr. 3 Výkres licího pístu Copromec ∅120 mm [1]

Důležitým činitelem jakosti oceli vhodné pro výrobu licích pístů je nejen chemické složení, ale i čistota. Zejména se jedná o nízký obsah síry a fosforu, a také co nejmenší obsah vměstků, jejich velikost a pravidelné rozložení. Vměstky totiž vždy snižují odolnost proti vzniku síťových trhlinek. Odolnost proti trhlinám též ovlivňuje chemicko-tepelné zpracování oceli. Zvýšené ochranné vrstvy se v tomto případě dosahuje nitridací či sulfonitrdidací. [6]

Obr. 4 Sériový licí píst Copromec® bez povlaku

Píst je chlazen pomocí vnitřního okruhu, který je veden k čelu pístu. Na vnějším průměru pístu Copromec® zajišťují kluznou plochu pístní kroužky - opracované prstence ze slitiny CuCoNiBe. Tyto prstence jsou jednotlivě navařovány k samotnému tělu pístu.

4. Píst povlakovaný metodou Rocklinizer®

Rocklinizer® je patentovanou metodou, kterou lze preventivně impregnovat všechny druhy kovových nástrojů pomocí nanášení vrstvy tvrdokovového materiálu odolného vůči opotřebení na povrch. Oproti jiným metodám impregnace či povlakování dochází při této metodě k nanášení tvrdokovu studenou cestou. Na rozdíl od technologie nanášení vrstvy svařováním nebo jiným postupům nanášení povrchů se forma, písty či jiný díl nevystavují jmenovitému tepelnému zatížení. Tloušťku vrstvy povlaku lze nastavit do max. 175 µm. Po provedení ochranné impregnace pomocí techniky Rocklinizer® není zapotřebí dalšího zpracování či ošetření. [1,11]

Obr. 5 Zařízení Rocklinizer® model 800E [11]

Obr. 6 Nasazený píst s povlakem Rocklinizer®

Hlavní výhodou technologie Rocklinizer® je možnost nanášení povrchu na nástroje či licí formy v každém provozu. Vibrační elektrodová pistole přenáší při kontaktu s obrobkem tvrdokov (wolfram nebo titankarbid) v krátkých jiskřeních. Ošetřovaná oblast není vystavena žáru ani tepelnému namáhání, proto zůstává její pojivá struktura a forma zachována.

Patentovaná metoda Rocklinizer® se používá zejména v technologiích třískového obrábění, kde poskytuje ochrannou vrstvu na soustružnických nožích, závitnících, frézách, protahovacích nástrojích aj., u tvrdokovových nástrojů slouží jako ochrana před vydrolováním a řezání chrání především nože, břity, pily a listy v potravinářském, dřevozpracujícím a gumárenském průmyslu. [11] Dále se užívá v technologii vstřikování plastů, kde jsou chráněny hrany forem, vyhazovače, a řeší i problémy s netěsností tlakové formy. Právě díky podobnosti technologií vstřikování plastů a technologii lití pod tlakem se začala metoda Rocklinizer® využívat i ve slévárenství. U technologie tlakového lití jde především o zamezení tvoření trhlin vlivem tepla, ulpívání dílů ve formě a řešení problémů s netěsnostmi formy, chrání také vtok, či další kritická místa v licí formě.

5. Píst s povlakem PACVD

Povlak PACVD (Plasma Assisted-CVD) je jedním za 3 metod povlakování: PVD, CVD a právě PACVD. PVD (Physical Vapour Deposition) je metoda tzv. iontového plátování, ke kterému dochází při kondenzaci nanášené vrstvy z plynného skupenství za velmi nízkého tlaku (typicky 0,01 - 10 Pa). Kondenzační látka je ve vakuové komoře nanášena přímo na povrch fyzikálním procesem - odpařování či rozprašování. Iontové plátování se rozděluje podle způsobu uvolňování atomů nanášené látky do třech hlavních skupin: obloukové napařování, magnetové napařování a napařování s přídavnou ionizací. [2,4]

CVD (Chemical Vapor Deposition) technologie je metoda nanášení povlaků, které vykazují nízké pnutí prostřednictvím tepelně iniciovaných chemických reakcí. Metoda vzniká v povlakovací komoře, kde dochází k zahřátí směsi plynů, které pak reagují na povrchu povlakovaného materiálu, a tím utváří pevnou vrstvu povlaku požadované látky. Nevýhodou této metody je nutnost udržení teploty povlakovaného předmětu na teplotě, při které dojde k rovnovážné chemické reakci, a tím vznikne požadovaná vrstva povlaku. [9,10]

Oproti konvenčním CVD technologiím dochází u PAVCD (Plasma Assisted-CVD) k nanášení povlaků při mnohem nižších teplotách. Tím, že je CVD proces aktivovaný plazmou, je možné snížit teplotu nanášení povlaku až na cca 500°C. [4]

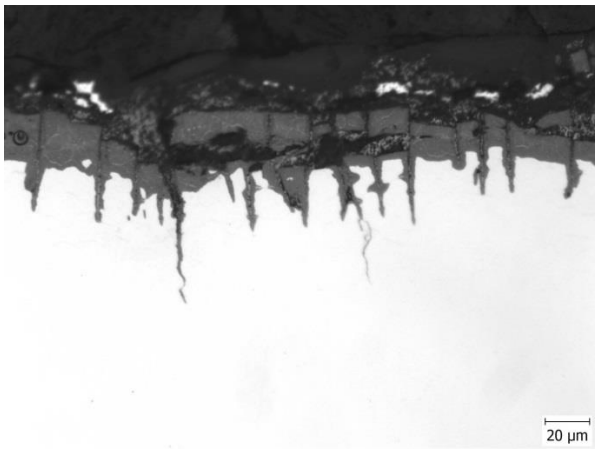
Obr. 7 Ukázka napovlakovaných pístů

Tabulka 2: *Porovnání jednotlivých povlaků [2]*

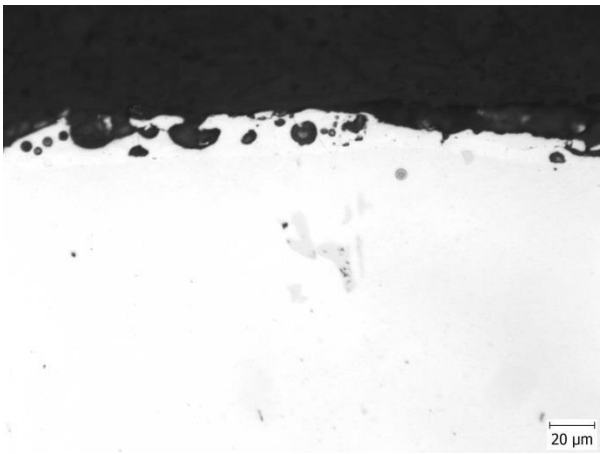
Technologie povlakování	Teplota	Tlak	Rotace	Drsnost povrchu
CVD (Chemical Vapor Deposition)	800 - 1000°C	atmosferický	Ne	Největší
PVD (Physical Vapor Deposition)	240 - 250°C	~ 1 Pa	Ano	Střední
PACVD (Plasma Assisted-CVD)	~ 500°C	~ 200 Pa	Ne	Nejnižší

6. Analýza

Oba napovlakované písty jsou nasazeny na licích strojích značky Müller Weingarten s uzavírací silou 1800t. Na obou těchto strojích probíhá výroba stejného dílu - skříně převodovky MQ 200, která je dodávána do většiny vozů značky Škoda a také do části koncernových vozů. Oba povlakované písty jsou porovnávány s průměrnými hodnotami životnosti sériových pístů nasazených na stejných strojích. Tyto hodnoty se pohybují mezi 30 000 - 45 000 cykly licího pístu. Licí píst napovlakovaný zařízením Rocklinizer® byl nasazen 1. 3. 2014 a k 28. 3. 2014 nadávkoval píst 10 727 kusů. Počet zalisování pístu s povlakem PACVD nasazený 17. 2. 2014 dosáhl k 28. 3. 2014 16 327. Z hlediska mikrostruktury je vidět, že rozdíl na povrchu pístu je značný. Na obr. 8 je vidět nenapovlakovaný sériový píst Copromec s jednotlivými trhlinkami na povrchu čela pístu vzniklé cyklickým tepelným namáháním. Tento jev je eliminován právě vrstvou Rocklinizer, jak je vidět na obr. 9.



Obr. 8 Struktura nenapovlakovaného pístu Copromec®



Obr. 9 Struktura pístu s povlakem Rocklinizer®

7. Závěr

Práce je zaměřena na životnosti pístů na vysokotlakých licích strojích, která je pro plynulý chod sériové výroby klíčovým faktorem. Písty jsou namáhány jak tepelně přímým stykem s taveninou, tak tlakově při zalisování kovu do formy. Tím dochází ke značnému opotřebení, a proto je důležité nacházet nové technologie k prodloužení jejich životnosti. K těmto technologiím patří především povlaky PVD, CVD a PACVD, které jsou v práci popsány. Pro tuto práci jsem si k porovnání s klasickými sériovými písty vybrala 2 typy povlaků, povlak PACVD, který zhotovuje a dodává firma VÚHŽ, a.s. a povlak zařízením Rocklinizer®. Ten jsem nanesla na čelo pístu, běžně se však ve Škoda Auto, a. s. používá na opravu forem.

Dílčím cílem této práce bylo i zjištění, jak se povlak, který ji primárně určen na opravu licí formy, bude chovat na licím pístu, a zda je pro povlak pro píst vhodný. Ze zjištěné analýzy, která bude probíhat až do konce životnosti daných pístů, lze zjistit, že povlak nejenže je vhodný, ale díky ekonomického a technologickému hledisku je v porovnání s ostatními povlaky nejvýhodnější. K výhodám ekonomickým patří především primární náklady na pořízení zařízení. Provoz i obsluha jsou dále minimálními položkami. K technologickým přednostem pak patří nanášení povlaku v jakémkoli provozu, protože přístroj je přenosný a lehce ovladatelný. Celkový závěr a zhodnocení bude však možné posoudit až po ukončení dalších zkoušek a analýzy.

Seznam použité literatury

[1] Interní materiály ŠKODA AUTO, a. s. Mladá Boleslav

[2] *Povlaky PVD, CVD, PACVD*. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka _331.pdf

[3] *VÚHŽ, povlaky PACVD*. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.vuhz.cz/media/povlaky-PACVD/Prospekt%20Coating%20centrum.pdf

[4] *Ionbond, zakázkové povlakování*. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.ionbond.cz/cz/technologii/pacvd/

[5] RAGAN, Emil a kolektív *Liatie kovov pod tlakom*. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, 2007, 383 s., ISBN 978-808-0739-799.

[6] Studijní materiály: *Grundlagen der Gießereitechnologie*; Volswagen AG; AutoUni Gießerei Technologie Aalen; 15. - 16. 11. 2007

[7] *BGE, výrobce nářadí pro tlakové licí stroje* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.bge.cz/naadi-pro-tlakove-lici-stroje-komorypisty/id-95

[8] *Konvintrade, výrobce technologických zařízení pro tlakové lití* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.kovintrade.cz/web/index.php/cs_CZ/lici-komory-pro-tlakove

[9] *Časopis MM spektrum, článek o povlakování nástrojů* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/povlakovani-nastroju-metodou-pacvd.html

[10] *Oerlikon Balzer Coating, výrobce PACVD povlaků* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bcz/cze/01-products-services/03-coating-technology/07-pacvd/indexW3DnavidW261.php

[11] *Rocklinizer Manufacturing Co.* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.rocklinmanufacturingco.com/