Kompozitní Cr povlaky pro pístní kroužky

Composite chromium coatings for piston rings

Chocholatý O., Kríž A.

Západočeská univerzita v Plzni

E-mail: chochola@kmm.zcu.cz

Článek se zabývá přehledem a technologií výroby kompozitních chromových povlaků pro pístní kroužky. Popisuje funkční podmínky pístních kroužků a způsob výroby kompozitních povrchových úprav s chromovou maticí a plnivem z tvrdých částic.

This paper deals with an overview of the technology of production of composite hard chromium coatings for piston rings. Describes the functional conditions of piston rings and the method of manufacturing of composite surface treatments with hard chromium matrix filled with hard paparticles.

ÚVOD

Tvrdé chromování, jako povrchová úprava pro pístní kroužky, bylo používáno pro letecké motory již během druhé světové války. Důvodem použití je výrazné snížení opotřebení pístního kroužku a snížení tření tribologického systému pístní kroužek – vložka válce. V současné době se tvrdé chromování stále používá pro úpravu pracovní plochy těsnicích i stíracích kroužků, jak litinových, tak ocelových [1].

Jelikož se stále zvyšují požadavky na životnost komponentů spalovacích motorů, dochází k situacím, kdy již tvrdochromový povlak přestává být vyhovující. Snižování emisí vede k výrazné redukci mazacího oleje a zároveň stoupá výkon agregátu. Tyto požadavky mají zásadní vliv na návrh pístního kroužku, kdy dochází ke snižování průřezů pístních kroužků a zejména ke snižování axiálních výšek. Z těchto příčin je již Cr povlak na hranici použitelnosti a v některých případech je jeho použití již nevyhovující. Z tohoto důvodu je chromový povlak neustále inovován.

Prvním zlepšením Cr povrchové úpravy bylo použití takzvaného porézního chromování. Z důvodu vnitřních napětí je tvrdý chrom porézní. Tato porozita je u porézního chromování zvýšena periodickou změnou polarity při elektrochemickém pokovení. Vytvořené mikrotrhliny slouží jako rezervoár mazacího oleje, čímž se zlepšují tribologické vlastnosti systému pístní kroužek-vložka válce. Dalším zlepšením Cr povlaku bylo přidání tvrdých částic do chromové matrice, čímž byl vytvořen kompozitní materiál. Tuto inovaci povrchové úpravy

pístního kroužku uvedla jako první německá firma Götze (dnes součástí koncernu Federal Mogul). Jako plnivo byly použity částičky korundu. Použitím plniva se zásadně zvýšily užité vlastnosti výrobku, zejména otěruvzdornost, a tím i životnost [2].

Kompozitní Cr povlaky se používají zejména pro diesellové motory pro těsnící kroužek. U benzinových motorů je na prvním kroužku nejvíce používán ocelový nitridovaný kroužek.

Funkční podmínky pístních kroužků

U naftového motoru jsou pístní kroužky vystaveny teplotě přesahující 250 °C u benzinového 220 °C [3].

Síly, které působí na pístní kroužek, jsou uvedeny na Obr. 1. Předpokládá se, že kroužek přiléhá po celém obvodu na stěnu válce a spodní boční plochou na odpovídající plochy drážky pístu. Z obrázku je také patrné, že síla přitlaku se znásobuje s tlakem plynů, které proniknou do vnitřního prostoru dna drážky. Na spalovací motory jsou kladeny stále vyšší nároky z hlediska emisí a z hlediska měrného výkonu. U diesellových motorů je z těchto důvodů nutné snížit množství mazacího oleje a zvýšit maximální tlak ve válci. Pro pístní kroužek to znamená, že je třeba zvýšit odolnost proti opotřebení a proti zadírání. Teplota ve spalovacím prostoru výkonných diesellových motorů se stále zvyšuje a tlaky již v některých případech přesahují hodnotu 20 MPa, viz Obr. 2. Toto zvyšování zátěže součástky vede k tomu, že standardní tvrdochromový povlak je již nedostačující [1,4].

Obr. 1. Síly a tlaky plynů působících na pístní kroužek [1]
Fig. 1. Forces and gas pressures acting on piston ring

Obr. 2. Trend maximálního tlaku ve válci a měrného výkonu motoru pro nákladní automobil [4]
Fig. 2. The trend of maximum pressure in the cylinder and specific power in the heavy truck engine

Jedním z řešení je použití plniva do chromové vrstvy a vytvoření kompozitního povlaku, který se vyznačuje zejména vyšší odolností proti opotřebení ve srovnání se standardním chromem.

Tvrdé chromování pístních kroužků

Většina předních výrobců pístních kroužků používá moderní chromovací lázně s organickým katalyzátorem. Katodický proudový výtěžek těchto dosahuje hodnoty až 28 % oproti 10-13 % výtěžku běžné síranové lázně [5].

Katodické proudové hustoty se pohybují v intervalu 50-80 A dm⁻². Jelikož je velká část výrobků z litiny, má zásadní vliv na přilnavost a kvalitu povlaku ano-

dické zdrsňení. Při tomto postupu se před začátkem chromovacího procesu elektrochemicky naleptá povrch výrobků. Zdrsňení je možno provádět přímo v lázni, kde ihned následuje chromovací proces, případně ve „zdrsňovací lázni“ určené pouze k tomuto účelu. Tento parametr je nutno volit v závislosti na chromovaném materiálu. U výrobků z litiny je nebezpečí, že při přílišném naleptání povrchu dojde k odhalení grafitu, což způsobí, že se materiál nenachromuje.

Tab. 1. Proudový výtěžek chromovacích lázní / Current efficiency chromium - plating bath

Typ chromovací lázně	Katodický proudový výtěžek [%]
běžná síranová	10 - 13
fluoridová	18 - 22
s organickým katalyzátorem	24 - 28

Pístní kroužky se chromují ve staženém stavu a jsou upevněny na chromovací trn (Obr. 3). Zámky jsou utěsněny lakem, aby nedošlo k nekvalitnímu nachromování. Důvodem je vodík, který vzniká při elektrolýze. Finální tloušťka vrstvy Cr povlaku se pohybuje od cca 40 μm do cca 150 μm. Jelikož se výrobky dále brousí a honují, případně pouze honují, že je nutno chromovat vrstvu 90-200 μm. Pro některé aplikace může být vrstva vyšší, ale je trend vrstvu snižovat [6,7].

Z důvodu toxicity šestimocného chromu, který tvoří základ chromovacího elektrolytu, je snaha o vylučování tvrdochromových povlaků z elektrolytů na bázi trojmocného chromu. Tento proces však ještě není dostatečně stabilní pro průmyslové nasazení [6].

Obr. 3. Chromování pístních kroužků
Fig. 3. Chromium plating of piston rings

Kompozitní chromové povlaky pro pístní kroužky

Tvrký chrom má velmi dobré kluzné vlastnosti. Velké tepelné a mechanické zatížení pístního kroužku, zejména v naftových motorech, společně s požadavky na vyšší životnost si žádá nové povrchové úpravy.

V současné době je vývoj kompozitních elektrochemicky vylučovaných povlaků důležitým směrem elektrochemie. Přidané částice mohou zvýšit užité vlastnosti materiálu, případně přidat nové vlastnosti (magnetismus, katalytické vlastnosti...) [8].

Princip vylučování

Pro vylučování kompozitních Cr povlaků se využívá elektrolyt o stejném chemickém složení jako pro standardní tvrdý chrom. V elektrolytu jsou rozptýleny částice plniva. Toto plnivo je nutno dispergovat. K tomuto účelu lze použít mechanická míchadla, ejektorové míchání, případně stlačeného vzduchu.

Samotný proces chromování probíhá pomocí cyklování. Během procesu je měněna polarita chromovacího proudu. Tímto způsobem je dosaženo vytvoření mikrotrhlinek v chromové vrstvě. Tyto mikrotrhlinky mají velice důležitou úlohu. Slouží totiž jako velmi dobrý rezervoár oleje. To je výhodné zejména při lokálním

krátkodobém nedostatku mazacího media, kdy olej v mikrotrhlinkách zabraňuje přidírání. U kompozitních povlaků je vytvoření mikrotrhlin důležité, protože se do nich zabudovávají částice plniva. Princip vylučování je uveden na Obr. 4.

Obr. 4. Schéma porézního Cr povlaku a cyklování při chromování

Fig. 4. Porous chromium coating and schema of change of polarity during plating process

Použitá plniva

Jak již bylo uvedeno, prvním sériově využitým plnivem byl korund. Technický název této povrchové úpravy, kterou vyrábí firma Federal Mogul, je CKS (Chromceramics surface). Ještě do nedávné doby používala velká část evropských diesellových motorů na prvním kroužku povlak $\text{Cr-Al}_2\text{O}_3$. Tento materiál má nejenom velmi dobré užité vlastnosti, ale byl dlouhou dobu, v porovnání např. s PVD, levnější. Přestože v poslední době dochází ke stále většímu zlevňování depozice PVD vrstev, povrchová úprava $\text{Cr-Al}_2\text{O}_3$ si stále zachovává

výrazné postavení mezi povlaky pro pístní kroužky. Po vypršení patentové ochrany uvedli tuto povrchovou úpravu na trh i další přední výrobci pístních kroužků, např. MAHLE, či český výrobce Buzuluk a.s. (obchodní název povrchové úpravy BCr).

Další inovací, se kterou opět přišla na trh firma Federal Mogul, je chromový povlak s obsahem diamantových mikročástic. Princip vylučování je stejný, jako v případě CKS povrchové úpravy. Rozdíl je pouze v plnivu. Komerční název této povrchové úpravy je GDC (Goetze Diamond Coatig). Je uváděno, že GDC má při použití na prvním kroužku v moderním dieselovém motoru cca 2× vyšší otěruvzdornost oproti povlaku s korundem. Porovnání jednotlivých povrchových úprav je uvedeno v grafu na Obr. 5. Užité vlastnosti povlaku GDC umožňují další snižování finálních vrstev chromového povlaku, což je výhodné z důvodu snížení chromovacích časů a zvýšení kapacity výrobní linky. V neposlední řadě se ušetří značná část elektrické energie, chromovacích chemikálií, sníží se náklady na likvidaci odpadních vod atd.

Obr. 5. Porovnání opotřebení povrchových úprav (Federal Mogul) [2]

Fig. 5. Comparison of wear of chromium surface treatments (Federal Mogul)

Další výrobci zareagovali na GCD povlak vlastní technologií. Firma MAHLE přišla s kompozitním chromovým povlakem s obsahem nanočástic CBN [4]. Princip vylučování je opět stejný, proces se liší pouze použitým plnivem. Dle publikace výrobce dosahuje tento povlak v některých případech lepších užitečných

vlastností než konkurenční GDC. Český zástupce na poli pístních kroužků firma Buzuluk a.s. uvedl na trh povlak, kde jsou do chromu zabudovány jak nanočástice diamantu, tak grafitu [7]. Toto řešení slibuje jak dobrou otěruvzdornost, tak i dobré kluzné vlastnosti. Tento výrobek je prodáván pod obchodním názvem BDG (Buzuluk Diamond Graphite).

Budoucnost

Přestože kompozitní povrchové úpravy na bázi tvrdochromu mají stále co nabídnout, dochází k pozvolnému přechodu, zejména u osobních dieselových motorů, k nitridovanému pístnímu kroužku s PVD vrstvou. Důvodem je snižování cen PVD technologie, neekologičnost chromování a v neposlední řadě také to, že PVD je v dnešní době „moderní“. PVD vrstvy také nabízí velmi velké množství různých modifikací a ve spojení s ocelovým nitridovaným kroužkem se stále více uplatňují u těsnících pístních kroužků.

Chromové a kompozitní chromové povrchové úpravy mají ale stále své místo na stíracích pístních kroužcích a v aplikacích některých dieselových motorů.

Poděkování

Článek byl realizován na základě na základě řešení projektu SGS – 2012-044 a projektu NEXLIZ.

LITERATURA

1. Hrabák, V.; et al. *Pístní kroužky, Konstrukce, výroba, provoz*; Charlie Hořovice a.s.: Hořovice, 2000.
2. Buran, U. *Chrom-Keramik-Kombinationsschichten für Kolbenringe*; ATZ: Stuttgart, 1996.
3. Macek, J. *Spalovací motory I*; ČVUT: Praha, 2007.
4. Soares, E.; et al. *Nanobor – Reinforced Chromium Top Ring Coating for Diesel Engines Application*; SAE Technical Paper Series, 2009-36-0179; SAE, 2009.
5. Obr, L. *Funkční chromování – Heef 25*; Jihlava, 2008.
6. Lausmann, G. A.; Unruh, J. N. *Die galvanische Verchromung*, 1st ed.; Schriftenreihe Galvanotechnik und Oberflächenbehandlung; Eugen G. Leuze Verlag: Bad Saulgau, 1998.
7. Chocholatý, O. Vlastnosti, zkoušení a vývoj kompozitních Cr povlaků pro PK. Dizertační práce, ZČU.
8. Tseluikin, V. N. Composite Electrochemical Coatings: Preparation, Structure, Properties. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* **2009**, 45 (3), 595–599.