FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE

ZVYŠOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI NÁSTROJŮ URČENÝCH K LISOVÁNÍ ŽÁROVZDORNÝCH MATERIÁLŮ

Ing. Jiří Kyncl; prof. Ing. Antonín Zelenka, CSc.; Ing. Libor Beránek, Ph.D.

Strojírenská technologie

Tato disertační práce se zabývá vývojem nové metodiky experimentálního ověřování životnosti konstrukčních materiálů v extrémních podmínkách při lisování žárovzdorných materiálů. Opotřebení nástrojů používaných pro lisování žárovzdorných (keramických) materiálů patří mezi nejdůležitější faktory, které určují kvalitu finálního výlisku. Na základě analýzy mechanismu vzniku opotřebení lisovacích nástrojů a rešerše standardních metod experimentálního ověřování životnosti materiálů lisovacích nástrojů je vyvinuta nová experimentální metoda pro určení abrazivní odolnosti konstrukčních materiálů. Dále jsou určeny varianty vhodného materiálového složení funkční vrstvy lisovacího nástroje, které jsou podrobeny experimentálnímu ověření životnosti a jejímu porovnání s běžnými nástroji. Celkem je zkoumáno a porovnáno 117 konstrukčních materiálů. Výsledky experimentů jsou aplikovány na prototyp reálného lisovacího nástroje. Výsledkem práce je dosažení řádového zvýšení životnosti lisovacích nástrojů.

Motivace pro další řešení

Stávající metody experimentálního ověřování životnosti strojních zařízení nejsou schopny simulovat extrémní podmínky, kterým musí odolávat reálný lisovací nástroj určený pro lisování žárovzdorných materiálů. Dalším faktorem jsou nutné náklady spojené s prováděním poloprovozních testů na skutečném výrobním zařízení. Tyto dva faktory, náklady a nevhodná vypovídací schopnost standardních testů odolnosti pak vedou k vlastnímu vývoji nové experimentální metody pro určování abrazivní odolnosti materiálů při extrémních podmínkách, tak jako při lisování žárovzdorných materiálů. Hlavní motivací řešení je vývoj experimentálního zařízení, které umožní testovat materiály za provozních podmínek ovšem za diametrálně odlišných nákladů provozních testů.

Cíle disertační práce

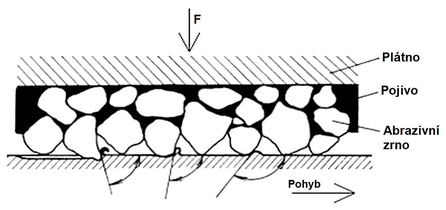
Hlavním cílem disertační práce je na základě teoretického základu a experimentálního měření navržení metody pro experimentální ověřování životnosti lisovacích nástrojů odpovídající reálnému lisovacímu cyklu při lisování žárovzdorných výrobků pomocí hydraulického lisu.

K dosažení tohoto cíle je samotné řešení rozděleno do následujících dílčích cílů:

1. Charakteristika a popis mechanismu vzniku opotřebení při lisování žárovzdorných materiálů
2. Vlastní návrh metody pro experimentální ověřování životnosti lisovacích nástrojů určených pro lisování žárovzdorných materiálů
3. Realizace experimentálního výběru materiálů a jejich reálná aplikace pro lisovací nástroje určené pro lisování žárovzdorných materiálů
4. Dosažení řádově vyšší životnosti lisovacích nástrojů

Problematika opotřebení lisovacích nástrojů pro žárovzdorné materiály

- Existuje několik druhů opotřebení (adhezní, erozivní, kavitační, atd.)
- Lisovacích nástrojů se týká především opotřebení abrazivní, kde dochází k oddělení částic funkčního povrchu vlivem tvrdosti a drsnosti druhého povrchu
- Zásadní je volba konstrukčního materiálu, který je odolný vůči opotřebení
- Existují dva mechanismy vzniku abrazivního opotřebení (viz Obr. 1 a Obr. 2)



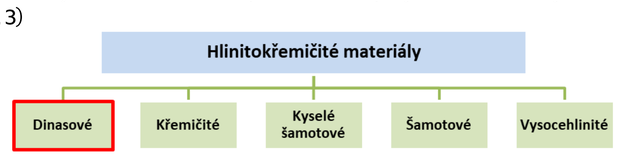
Obr. 1: Vzájemné působení tvrdých abrazivních vázaných částic a funkčního povrchu

Obr. 2: Postupné zatěžování a fragmentace abrazivních částic mezi funkčními povrchy

- U žárovzdorných materiálů dochází k abrazivnímu opotřebení zejména kvůli přítomnosti tvrdých částic Al_2O_3 a SiO_2

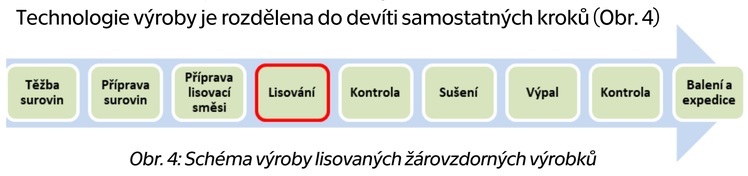
Žárovzdorné materiály

- Normou definovány jako nekovové materiály, které díky svým vlastnostem lze používat při vysokých teplotách (více než 1000 °C)
- Důležitými vlastnostmi jsou pevnost v žáru, odolnost proti tečení, objemová stálost, odolnost proti změnám teploty a odolnost proti korozi
- Práce se zabývá opotřebením funkčních ploch nástrojů při lisování žárovzdorných materiálů dinas patřící do skupiny hlinitokřemičitých materiálů (Obr. 3)



Obr. 3: Rozdělení hlinitokřemičitých žárovzdorných materiálů

- Nejvýznamnějším českým producentem dinasových materiálů je společnost P-D Refractories CZ a.s., která umožní realizaci experimentů souvisejících s řešením disertační práce na vlastním výrobním zařízení
- Technologie výroby je rozdělena do devíti samostatných kroků (Obr. 4)



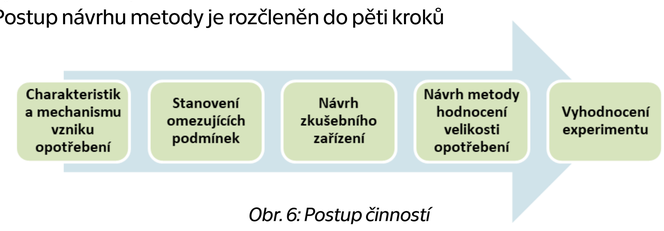
Obr. 4: Schéma výroby lisovaných žárovzdorných výrobků

- Standardní nástroj pro lisování dinasových materiálů dosahuje kritického opotřebení po cca 5000 kusech výlisků, poté je renovován nebo vyroben nový
- Abrazivní opotřebení lze pro konkrétní aplikaci predikovat nebo modelovat velice obtížně, a proto je kladen vysoký důraz na provedení zkoušek

Obr. 5: Životnosti lisovacích nástrojů při použití dinasové lisovací směsi

Návrh metody experimentálního ověřování životnosti odpovídající reálnému lisovacímu cyklu

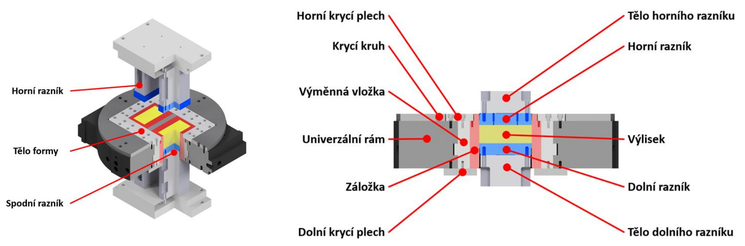
- K návrhu nové metody vedla nemožnost simulace extrémních podmínek v reálném provozu, zkrácení testů a potřeba vypovídajícího a porovnatelného vyhodnocení opotřebení
- Postup návrhu metody je rozčleněn do pěti kroků



Obr. 6: Postup činností

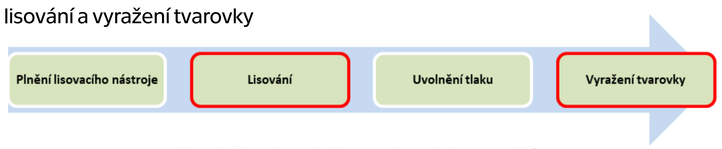
Charakteristika mechanismu vzniku opotřebení

- Popis lisovacího nástroje a jeho částí, kde dochází k abrazivnímu opotřebení
- Díly nástroje, které jsou vystaveny abrazi nazýváme funkční díly a jedná se o horní razník, dolní razník a záložky
- Z hlediska disertační práce jsou zásadní materiály pro výrobu záložek



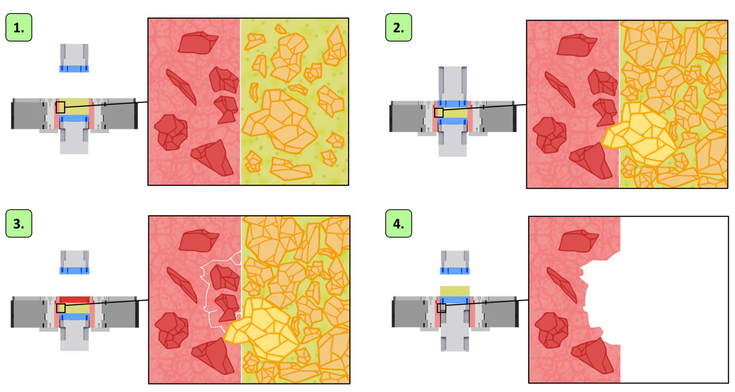
Obr. 7: Schématický řez lisovacím nástrojem

- Hlavní příčinou opotřebení lisovacích nástrojů jsou abraze, koroze a adheze
- Nejvýznamnější z těchto tří jevů je abrazivní opotřebení záložek, které jsou nejslabším místem lisovacího nástroje
- Disertační práce se zaměřuje především na abrazivní opotřebení záložek během všech fází lisování žárovzdorného materiálu, především na samotné lisování a vyražení tvarovky



Obr. 8: Fáze lisování žárovzdorných materiálů

- Fáze plnění (1) a fáze uvolnění tlaku (3) jsou z hlediska opotřebení nepodstatné
- Ve fázi lisování (2) se zapichují tvrdé částice do pojiva, faktorem opotřebení jsou velikost tvrdých částic, vysoké lisovací tlaky a relativně málo odolné konstrukční materiály
- Během vyražení tvarovky (4) dochází k rýhování funkčních ploch nástroje

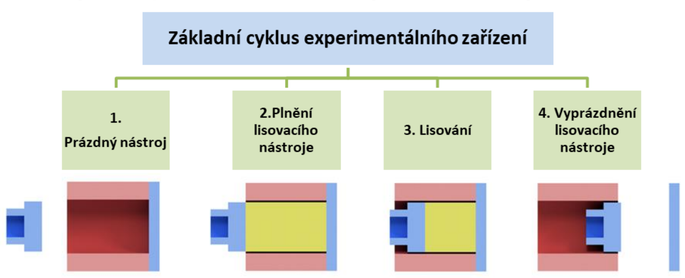


Obr. 9: Schématické znázornění čtyř fází lisování žárovzdorných materiálů

- Analýza u konkrétního výrobce žáruvzdorných materiálů ukázala, že životnost lisovacích nástrojů se pohybuje na úrovni 5 000 lisovacích cyklů
- Pro návrh nové metodiky byla stanovena základní kritéria, která jsou zásadní pro stanovení srovnávací základny
- Vstupními parametry jsou: počet lisovacích cyklů, lisovaný materiál, referenční vzorek, průběh lisovacího cyklu, vyhodnocení velikosti opotřebení

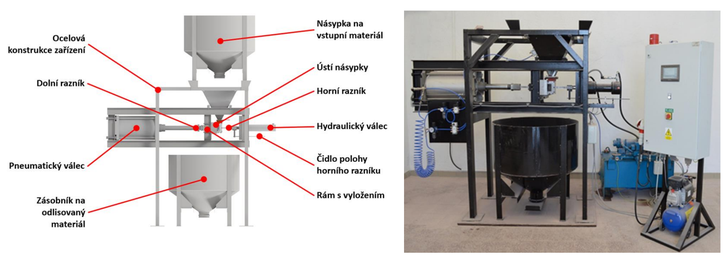
Vývoj experimentálního zařízení

- Vychází ze základních vstupních parametrů za předpokladu vzniku co nejjednoduššího zařízení
- Dalšími požadavky je použití optimálně suchého lisovacího materiálu, aby odpadly problémy s transportem a gravitačním sypáním, kde po odlisování dojde k samovolnému rozpadu tvarovky
- Vlastní cyklus experimentálního zařízení je rozdělen do čtyř základních částí



Obr. 10: Schéma funkce experimentálního zařízení

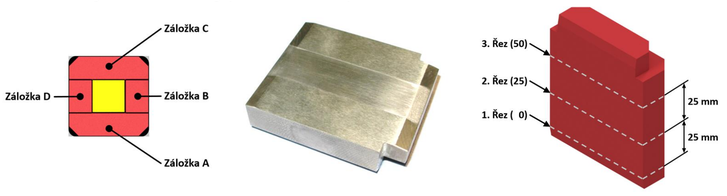
- V navrženém experimentálním zařízení lze dosáhnout velice extrémních podmínek, které převyšují standardní způsob lisování
- Při vlastním lisování je v tomto zařízení dosaženo tlakové špičky, kdy dochází k vzájemnému pohybu lisovaného materiálu a funkčních dílů nástroje a k zapichování tvrdých abrazivních částic
- Při vyprazdňování pak rovněž dochází k extrémnímu abrazivnímu tření na povrchu funkčních dílů experimentálního lisovacího nástroje
- Velikost opotřebení této třecí plochy je měřitelným parametrem velikosti opotřebení experimentálního lisovacího nástroje



Obr. 11: Schématický popis a prototyp experimentálního zařízení

Metoda porovnání výsledků a výsledky experimentálních zkoušek

- Experimentální nástroj je sestaven ze čtyř záložek s definovanou pozicí a určenými třemi řezy pro měření opotřebení



Obr. 12: Značení záložek (vlevo), měřená záložka (uprostřed) a vyznačené řezy (vpravo)

- Bylo vyrobeno celkem 117 experimentálních lisovacích nástrojů
- Všechny nástroje byly podrobeny prvnímu testu na 5 000 lisovacích cyklů

Obr. 13: Vyhodnocení velikosti opotřebení experimentálních lisovacích nástrojů v řezu 25 po 5000 cyklech

- Druhému testu bylo podrobeno celkem 26 experimentálních lisovacích nástrojů, třetímu testu 8, čtvrtému testu 6, pátému testu 5 a poslednímu testu byly podrobeny 3 experimentální lisovací nástroje
- Poslední tři experimentální lisovací nástroje dosáhly životnosti 110 000 cyklů

Tab. 1: Porovnání potencionálních materiálů vhodných pro konstrukci lisovacích nástrojů

Název	Označení experimentálního nástroje			
	000	70	84	126
Cena nového lisovacího nástroje [Kč]	500 000	19 000 000	-	1 500 000
Násobek životnost [x]	1	58	40	25
Teoretický počet výlisků [Ks]	5 000	225 000	200 000	125 000
Náklady na 1 výlisek [Kč]	**100**	**65**	-	**12**

- Výsledkem je řádové snížení nákladů na lisovací nástroje na 1 výlisek

Aplikace výsledků na reálný lisovací nástroj

- Ve spolupráci s P-D Refractories CZ a.s. je vyvinut prototyp lisovacího nástroje, jehož funkční povrch odpovídá experimentálnímu lisovacímu nástroji číslo 126
- Nástroj pro lisování konkrétní tvarovky DGSI 3/55K, která splňuje požadavky
- Nelze uvést další detailní prvky řešení z důvodu uzavření licenční smlouvy mezi společností P-D Refractories CZ a.s. a ČVUT v Praze, Fakultou strojní

Shrnutí

Z pohledu důsledků a přínosů pro průmyslovou praxi je možné konstatovat, že prostřednictvím nové metodiky pro zvyšování životnosti lisovacích nástrojů bylo dosaženo takového materiálového a konstrukčního řešení lisovacího nástroje, které zabezpečí řádové zvýšení životnosti s minimálním navýšením nákladů. Technické řešení je unikátní na světové úrovni. Technické řešení je mezioborově přenositelné například do oblasti stavebnictví, do oblasti těžby surovin, zemědělství nebo potravinářství. Další výzkum bude směřován do optimalizace výrobní technologie tvarově složitých dílců lisovacích nástrojů pro lisování žárovzdorných směsí na hydraulických lisech.

© 2019 ČVUT FS, 12134 – Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie