

Vystružování velmi přesných děr u hydrostatických komponent

Jan Řehoř¹, Jaroslava Fulemová¹, Daniel Rut¹, Veronika Třísková¹, Kouril Karel²

¹Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta Strojní, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň. Česká republika. E-mail: rehor4@rti.zcu.cz, fulemova@rti.zcu.cz, daniel.rut.cz@gmail.com, triskova.v@gmail.com.

²HAM-FINAL s.r.o., Vlárská 22, 627 00 Brno. Česká republika. E-mail:kouril@ham-final.cz.

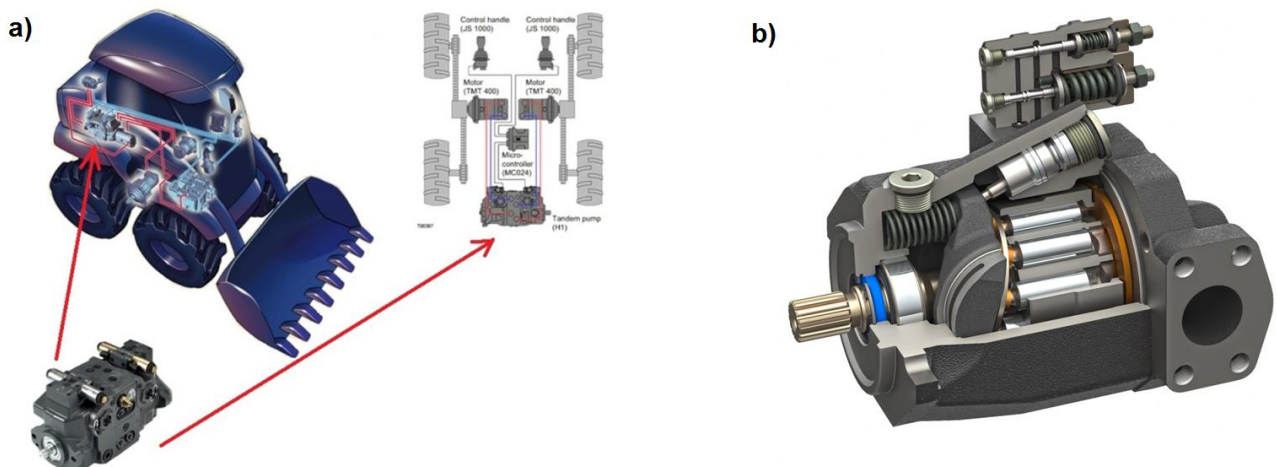
Dopravní a manipulační technika je jedním z hnacích motorů v oblasti strojírenské výroby. Mezi nejdůležitější komponenty patří hydrostatické mechanismy, jež jsou tvořeny hydromotory, čerpadly, rozvaděči, apod. Nedílnou součástí hydromotoru je servoventil, který mikropohybem pístku řídí průtok média. Servoventil je odlitek, obvykle z tvárné litiny, který je nutné ještě dále obrábět. Funkčnost hydrostatických obvodů je výrazně ovlivněna přesnými pohyby pístů. Z tohoto důvodu je nutné zajistit dostatečnou přesnost rozměru, kvalitu opracování a také geometrický tvar děr. Tento článek popisuje problematiku vystružování děr u hydraulických komponent výstružníky ze slinutého karbidu a cermetu.

Klíčová slova: Hydromotory, vystružování, slinuté karbidy, cermety

1 Hydraulické obvody

Jedním z hnacích motorů dnešní doby v oblasti strojírenství je bezesporu dopravní a manipulační technika. Právě v oblasti manipulační techniky nebo zemědělských strojů jsou hojně využívány hydrostatické převody. Jejich rozvoj v posledních letech rostl ruku v ruce s vývojem v oblasti elektroniky, které se nezdá jako řídicí jednotky těchto systémů.

Hydrostatické obvody mají mnohé neoddiskutovatelné výhody, které jsou důvodem jejich širokého využití. Dosahují vysoké účinnosti, protože oproti mechanickým přenosům (například třecí spojkou) nedochází k přeměně energie na teplo. Zároveň umožňují přenos výrazně vyššího krouticího momentu i za nižších otáček. Dalšími výhodami jsou pak celkově klidný chod, plynulá regulace otáček či možnost reverzace chodu. Z těchto důvodů jsou hydrostatické převodníky s čerpadly a hydromotory nezbytnými články například v pohonech lesní techniky, manipulační techniky nebo traktorů a jiných zemědělských strojů. Výše zmíněná řada výhod však zároveň vyžaduje vysoké nároky na jejich kvalitu.



Obr. 1 a) Využití tandemového hydromotoru [1], b) hydraulická pumpa[2]
Fig. 1 a) Usage of tandem hydrogenerator [1], b) Hydraulic Pumps[2]

Jak již bylo zmíněno, nejdůležitějšími prvky hydrostatických obvodů jsou čerpadla a hydromotory. Čerpadlo mění naklápěním bloku válců směr a rychlost proudění pracovní kapaliny dodávané do hydromotoru. Pro správnou funkci čerpadel je nutné zajistit rovnoměrnost toku a těsnost, aby nedocházelo ke ztrátám. Z hlediska výroby jsou poměrně složitá například hydrostatická axiální pístová čerpadla, která však disponují řadou výhod, díky nimž jsou i přes složitost výroby značně rozšířená. Pístová čerpadla fungují na principu pohybu několika pístů, které jsou spojeny a poháněny unašecí deskou, v bloku válců, přičemž regulace dodávaného objemu pracovní kapaliny k hydromotoru je prováděna naklápěním buď naklápěcí desky, nebo bloku válců. Rozsah naklápění je řízen servoválcem, který je ovládán za pomoci servoventilů. Ty jsou právě v návaznosti na již zmíněný rozvoj elektrotechniky, ovládané pomocí cívek, které přeměňují elektrický impuls na magnetický, čímž mění polohu pístu servoventilu [1] a [3].

2 Výroba přesných děr

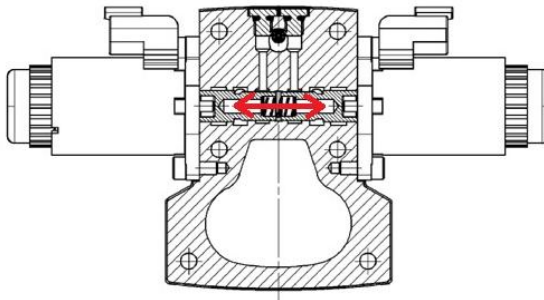
Z předcházejících odstavců je zcela evidentní, že funkčnost hydrostatických obvodů je výrazně ovlivněna přesnými pohyby pístů ve válcích a to na více úrovních. Z tohoto důvodu je nutné zajistit dostatečnou přesnost rozměru, kvalitu opracování a také geometrický tvar děr. Ať už se tedy jednotlivé hydrostatické komponenty využívají těchto prvků liší průměry, výškou zdvihu či materiálem, lze říci, že bez přesného dodržení předepsaných rozměrových a tvarových parametrů pístních válců, je jejich správná funkčnost prakticky nemožná.

Výroba děr vrtáním umožňuje získat otvory dosahující třídy přesnosti mezi IT9-IT12, což je v případě pístních válců nevyhovující. Pro zvýšené kvalitativní parametry je tedy nutné zařadit ještě dokončovací operace, jejichž počet se odvíjí od požadovaného stupně přesnosti. Volba dokončovací operace závisí nejen na požadované kvalitě, ale také na rozměrech. Jednou z dokončovacích operací je vystružování. Vystružováním můžeme dosáhnout stupně přesnosti v rozmezí IT5-IT8 a kvality obrobeného povrchu až Ra 0,4. Pro výrobu děr o větším průměru nebo při vyšších nárocích na geometrickou přesnost vyrábění díry může vystružování předcházet vyvrtávací nebo hrubovací operace. V některých extrémních případech, kdy je vyžadována ještě vyšší přesnost a kvalita obrobené plochy, lze použít další dokončovací operace jako válečkování, honování, broušení či lapování [4].

Vystružování je tedy nejčastěji používáno jako finální operace při výrobě děr. Výroba stružených děr ve vyšších stupních přesnosti, často bývá problematickým procesem, obzvlášť když jsou kladeny vysoké požadavky na tvarovou přesnost děr, stabilitu reprodukovatelnosti rozměru a tvaru a ekonomiku obrábění [5]. Z hlediska řezného materiálu jsou nejvíce rozšířeny výstružníky ze slinutého karbidu s deponovanou tenkou vrstvou. V posledních letech byl učiněn také pokrok ve vývoji výstružníků z cermetu, kubického nitridu boru nebo PKD. Tyto materiály umožňují díky vyšší tvrdosti zvýšit řezné podmínky. Cermetové výstružníky se vyrábí buď jako monolitní nebo s ocelovou stopkou a cermetovými destičkami [4].

3 Problematika

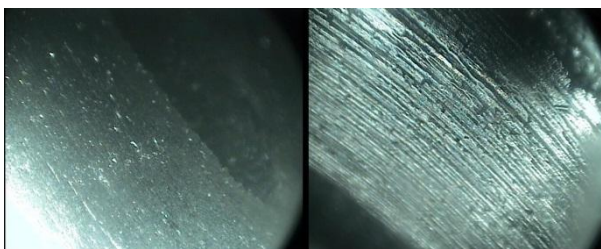
Jedním z příkladů aplikace vystružování ve výrobě hydraulických komponent může být již výše zmíněný servoventil. Ten mikropohybem pístu řídí průtok média, které mění polohu servoválece, čímž dojde ke změně naklopení bloku válců a k regulaci průtoku pracovní kapaliny hydrostatického obvodu.



Obr. 1 Ovládací ventil servoválece[1]
Fig. 1 Control valve for servocylinder[1]

Průměr díry pro píst servoventilu znázorněný na Obr. 1 je $12^{+0,008}_{+0,002}$. Dalšími požadovanými parametry obvykle bývají geometrické tolerance kolmosti, polohy a válcovitosti. Dodržení těchto tolerancí by mělo zajistit dostatečnou těsnost v okolí válce a především jeho plynulý pohyb. Pro zabezpečení těchto požadavků bývají často předepisovány hodnoty tolerancí v řádech tisícín milimetru. Ze zkušenosti jednotlivých výrobců servoventilů bývá funkčnost těchto komponent možná i při nižších hodnotách tolerancí. Při výrobě tak bývají jednotlivé součásti vyráběny s tzv. „dostačujícími“ parametry/rozměry, které se pohybují i v řádech setin milimetru.

Nicméně i při výrobě v „dostačujících“ parametrech/rozměrech může docházet k překračování jednotlivých tolerancí, tzn. průměru, válcovitosti, drsnosti obrobeného povrchu, apod. Není výjimkou, že bývá dosahováno třeba až 8x vyšších hodnot drsnosti obrobeného povrchu než ty, jež jsou předepsané. V takovém případě obvykle dochází k zasekávání pístu nebo k proudění nesprávného množství pracovního média, což má vliv na spolehlivou a správnou funkčnost ventilu a tedy i celého hydrostatického obvodu. Soustavná a pečlivá kontrola ve výrobě takové součásti k zákazníkovi samozřejmě nepustí, ovšem i tak mají tyto problémy za následek vysoké finanční náklady. Vzhledem k tomu, že produkce hydraulických komponent se pohybuje až v řádech statisíců kusů za rok, není pak v případě vysoké zmetkovitosti možné plnit plánovaný objem výroby. Navíc je v takovém případě nutná pečlivější kontrola a samozřejmě rostou i náklady na údržbu a opravy.



Obr. 2 Příklady vyhovujícího a nevhovujícího opracování vystružovaných děr pro ovládací ventil [1]
 Fig. 2 An examples of acceptable and unacceptable roughness of reamed holes for control valve [1]

4 Nastavení experimentu

Na základě výše uvedených nedostatků provedla Katedra technologie obrábění Západočeské univerzity v Plzni experiment, jehož cílem bylo porovnat vliv řezného materiálu na kvalitu povrchu stružené díry a na její rozměrovou přesnost. Materiálem polotovaru byla litina. Litina je používána pro výrobu hydromotorů, a to díky jejím kluzným vlastnostem.

Na základě spolupráce s firmou HAM-FINAL, která se dlouhodobě zabývá výrobou a vývojem vystružovacích nástrojů, byly pro experiment vybrány dva druhy nástrojů o jmenovitém průměru 12H7. Prvním druhem nástroje byl zvolen velmi rozšířený slinutý karbid deponovaný vrstvou TiAlN. Jako druhá varianta pak byl vybrán cermetový výstružník. Během experimentu byly od každého druhu řezného materiálu provedeny vystružovací operace pro průchozí (A1) a neprůchozí (A2) díru do hloubky 4D. Průměr vrtané díry před stružením byl 11,8mm. Kritéria experimentu byla zvolena: 20m vystružené díry nebo překročení tolerance 12H7. Dalšími měřenými a vyhodnocovanými parametry díry byla drsnost obrobeného povrchu (R_a a R_z) a opotřebení břítu.

Tab. 1 Parametry nastavené pro experiment

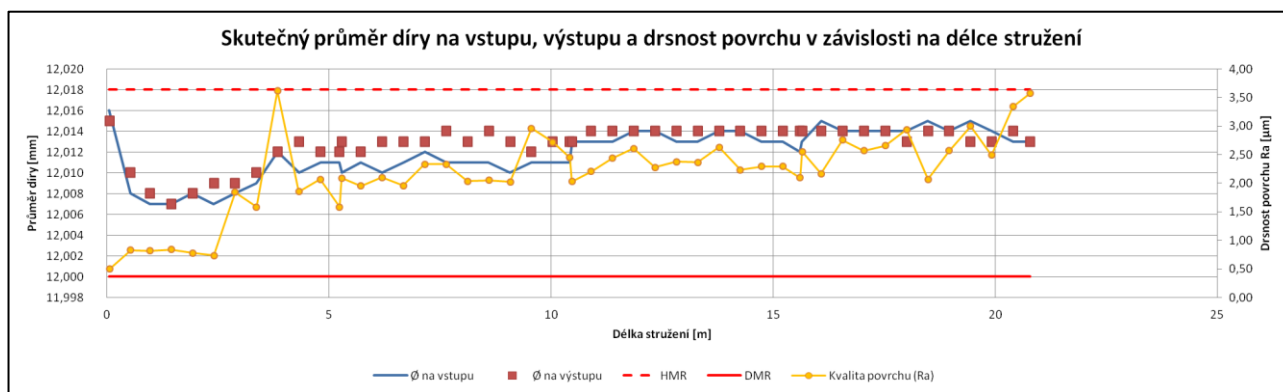
Tab. 1 Set-up parameters for experiment

Řezný materiál	Technologie	v_c [m/min]	f_z [m/min]	n [min ⁻¹]	v_f [mm/min]
SK	A1, A2	60	0,12	1592	1146
Cermet	A1, A2	150	0,1	3980	2387

5 Výsledky experimentu

5.1 Výstružníky ze slinutého karbidu

V grafu na obr. 4 je znázorněn průběh skutečného průměru díry na vstupu, výstupu a drsnosti obrobeného povrchu v závislosti na délce stružení slinutým karbidem. Skutečný rozměr díry jak na vstupu, tak výstupu se po celou dobu obrábění pohyboval v toleranci díry 12H7. Z počátku obrábění došlo k prudkému poklesu hodnoty průměru doprovázeného nárůstem parametru R_a . Tento jev nastal jak u varianty A1 (viz obr. 4), tak u varianty A2. V případě průchozí díry přesáhla drsnost obrobeného povrchu hodnotu stupně přesnosti díry IT7 hned po cca 3 m. V dalším průběhu experimentu dosáhla drsnost obrobeného povrchu hodnot až $R_a = 3,5\mu\text{m}$ a dokonce hodnot blízkých se k $R_a = 4\mu\text{m}$ u varianty s neprůchozí dírou.

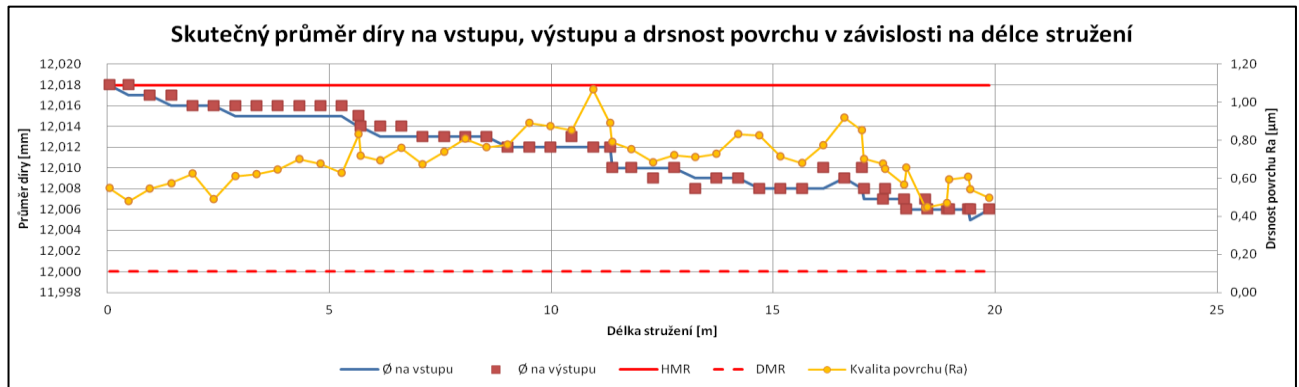


Obr. 4 Průběh drsnosti obrobeného povrchu a skutečného průměru díry u průchozích děr při vystružování se SK
 Fig. 4 Behaviour of roughness, inlet and outlet diameter during reaming with SC at through holes

5.2 Cermetové výstružníky

Naměřené hodnoty skutečného průměru díry u výstružníků z cermetu se v počátku experimentu blížily k horní hranici tolerance (především u varianty A1 – průchozí díry) a v jeho průběhu velmi pozvolna klesaly, přičemž po dvaceti metrech stružení dosáhly hodnoty cca 12,006 mm. Hodnoty drsnosti obrobeného povrchu R_a v případě varianty A1 po celý

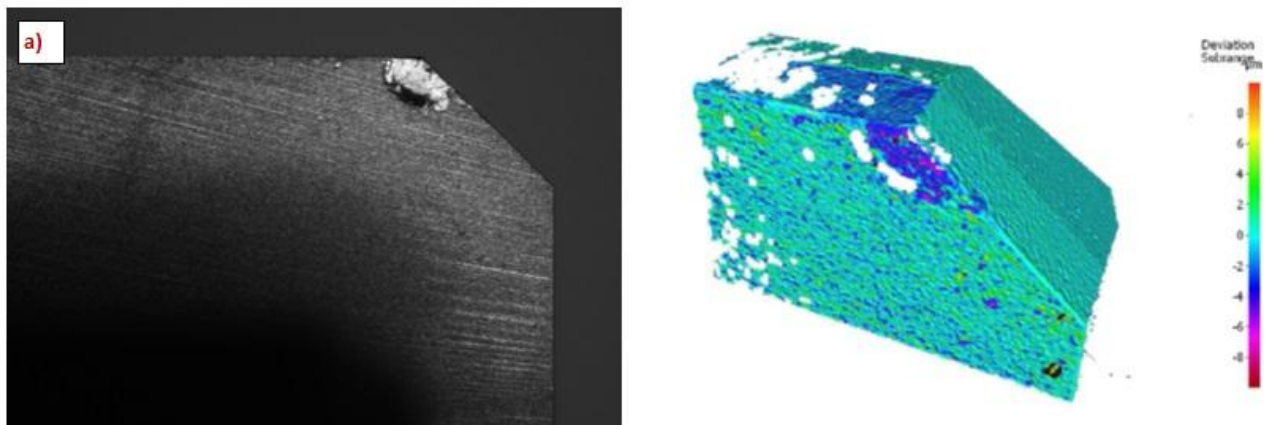
průběh experimentu nepřekročily hodnotu $R_a = 1,2 \mu\text{m}$, tzn. že stružené díry byly vyráběny ve stupni přesnosti IT7 a to jak z hlediska průměru, tak drsnosti obroběného povrchu. Podobný průběh skutečného průměru díry jak na vstupu, tak výstupu a stejně tak i drsnosti obroběného povrchu, byl zaznamenán i pro variantu neprůchozích děr.



Obr. 5 Průběh drsnosti obroběného povrchu a skutečného průměru díry u průchozích děr při vystružování s Cermetem
Fig. 5 Behaviour of roughness, inlet and outlet diameter during reaming with cermet at through holes

6 Vyhodnocení

Na základě nevyhovujících parametrů drsnosti při vystružování nástrojem ze slinutého karbidu byla provedena diferenční analýza tohoto nástroje. Při ní byl naměřen úbytek materiálu na čele nástroje v hodnotách okolo 2 až 4 μm (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**6). Tyto hodnoty odpovídají tloušťce deponované vrstvy TiAlN, z čehož se dá odvodit, že došlo ke stržení této tenké vrstvy již na samém počátku obrábění.

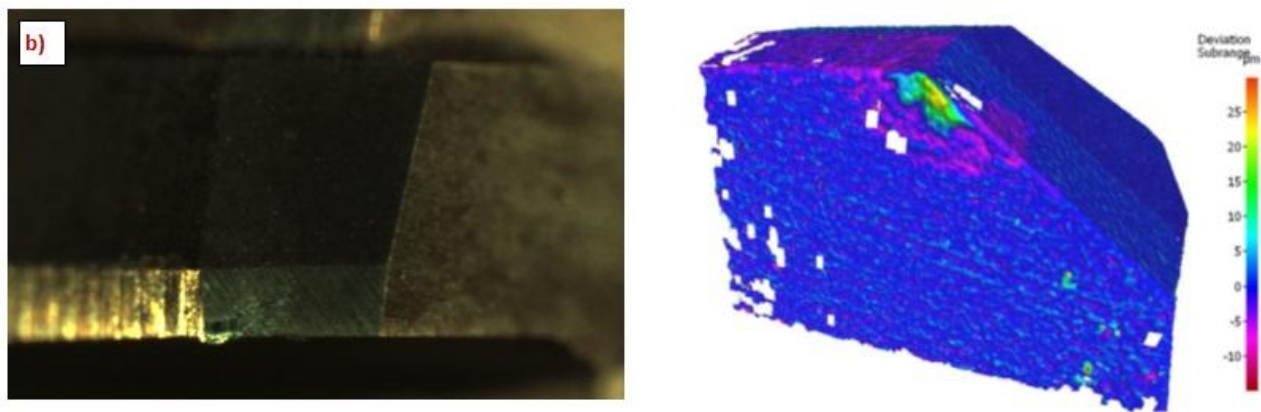


Obr. 6 a) Vlevo opotřebení čela nástroje; vpravo model diferenční analýzy
Fig. 6 Left tool wear of rake face; right model of differential analysis

Při dalším proměření nástroje na optickém mikroskopu a provedení diferenční analýzy bylo zjištěno, že stržení tenké vrstvy TiAlN mělo za následek vznik nárůstku (viz kladné hodnoty na modelu diferenční analýzy – obr. 7), který byl příčinou vzniku nekvalitního povrchu.

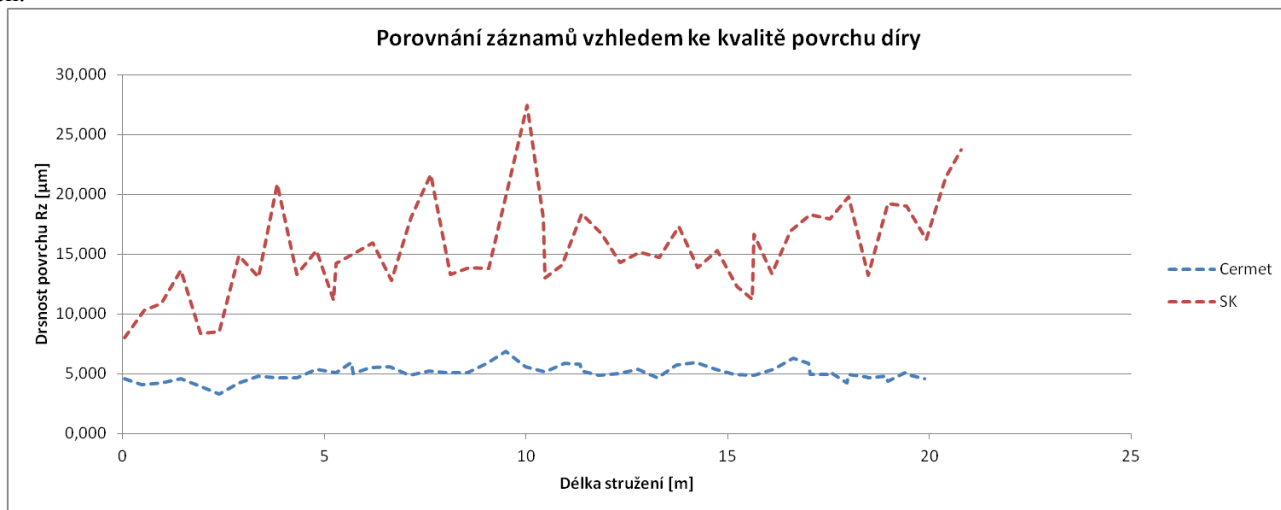
Vzájemné porovnání výstružníků z Cermetu a ze SK vyznívá ve prospěch cermetových nástrojů. Během experimentu byly sice oba druhy materiálů schopny udržet rozměr v požadované toleranci H7, ale cermetové výstružníky udržely na předepsané toleranci i hodnoty drsností R_a a R_z . Při vystružování nástroji ze SK došlo k překročení těchto hodnot již po cca 2,5 m. Trvanlivost z hlediska dosažené kvality povrchu R_a je tedy u nástroje z cermetu minimálně osmkrát vyšší než u nástroje ze slinutého karbidu, přičemž ze stabilního průběhu křivek drsnosti je patrné, že trvanlivost bude výrazně vyšší.

Zásadní rozdíl je vidět především v hodnotách parametru drsnosti R_a , jehož průměrné hodnoty u nástrojů ze slinutého karbidu nabírají v průběhu experimentu hodnot až 4x vyšších než je tomu v případě nástrojů cermetových. Na základě diferenční analýzy bylo zjištěno, že nekvalitní povrch vystružené díry byl zapříčiněn stržením tenké vrstvy TiAlN hned v počátku obrábění, čímž již nic nebránilo vzniku nárůstku. Naměřené hodnoty především v případě hodnot drsnosti odpovídají problémům při výrobě servoválce hydrostatickému obvodu.

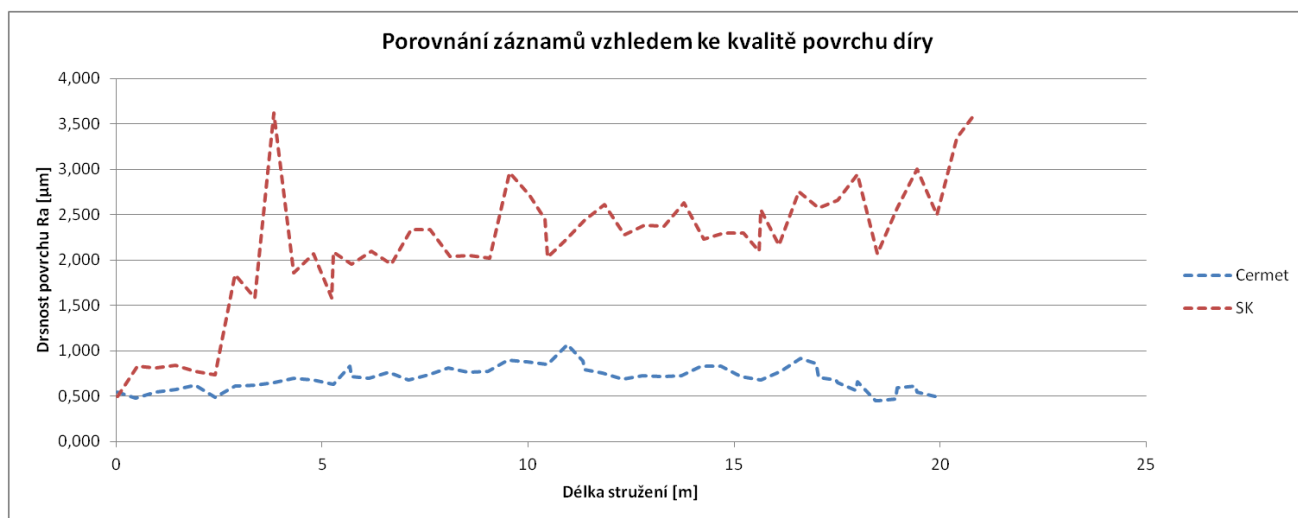


Obr. 7 b) Vlevo opotřebení hlavního břitu nástroje; vpravo diferenční analýza
 Fig. 7 b) Left tool wear of flank face; right differential analysis showing build-up edge

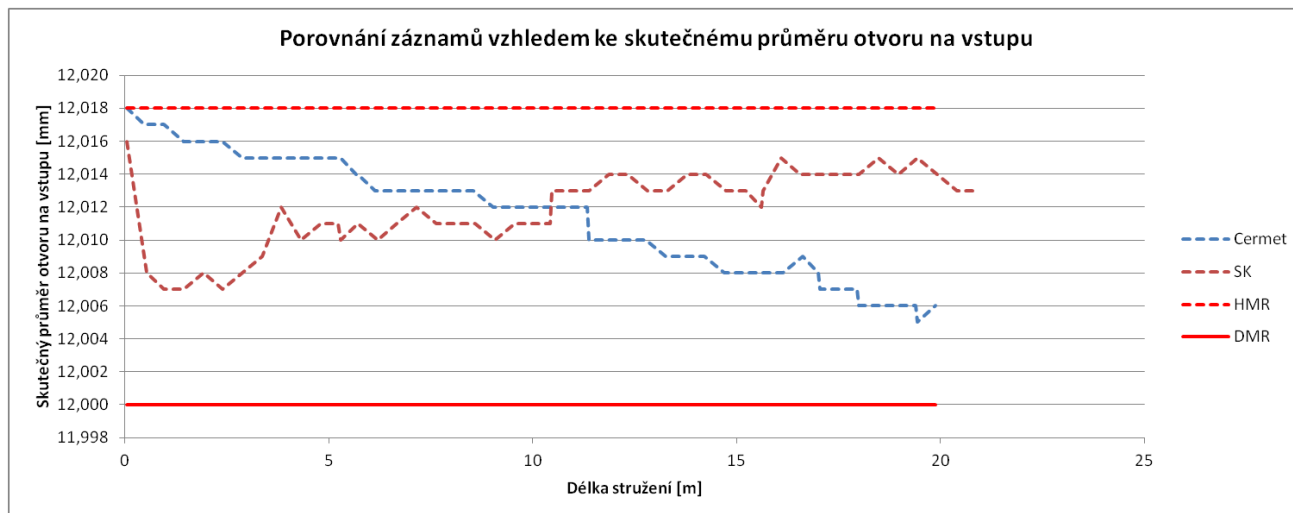
Z výsledků experimentu jednoznačně vyplývá, že cermetové výstružníky jsou spolehlivějšími nástroji jak z hlediska trvanlivosti, tak dosahované kvality drsnosti povrchu. Další výhodou cermetových výstružníků je jejich vyšší tvrdost, která umožňuje použití vyšších řezných podmínek než je tomu u výstružníků ze SK. Tím je možné docílit zkrácení výrobních časů a tedy zvýšení produktivity. Tato výhoda se poté projeví především v hromadných a velkosériových výrobcích.



Obr. 8 Vzájemné porovnání průběhu hodnot drsnosti Rz pro nástroje ze SK a cermetu u průchozího otvoru
 Fig. 8 Comparison of Rz values for Solide Carbide and Cermet tools at through holes



Obr. 9 Vzájemné porovnání hodnot drsnosti Ra pro nástroje ze SK a cermetu u průchozího otvoru
 Fig. 9 Comparison of Ra values Ra for Solide Carbide and Cermet tools at through holes



Obr. 10 Vzájemné porovnání hodnot průměru otvoru na vstupu pro nástroje ze SK a cermetu
 Fig. 10 Comparison of the inlet diameter values for Solide carbide and Cermet tools

7 Závěr

Pro funkčnost hydraulických komponent je velmi často využíváno pohybu pístu ve válci. To s sebou přináší i zvýšené nároky na kvalitu všech součástí, které s tímto pohybem přímo souvisí. Přírodně je pak pro výrobu přesného válcového otvoru využíváno vystružovací operace. Nejvíce rozšířenými nástroji pro tyto operace jsou výstružníky ze slinutého karbidu, avšak často dochází k tomu, že nejsou splněny požadavky na vysokou kvalitu obráběného povrchu.

Z tohoto důvodu byl proveden experiment, který měl porovnat vhodnost řezného materiálu vzhledem k rozměru a kvalitě obrobene díry. Pro experiment byly zvoleny nástroje právě ze slinutého karbidu s nadeponovanou tenkou vrstvou TiAlN a také z cermetu. Jako kritéria experimentu pak byly zvoleny trvanlivost 20 m stružené díry nebo dodržení předepsaných paramterů rozměru a drsnosti povrchu.

Provedením experimentu bylo zjištěno, že tolerance rozměru dokáží zajistit jak cermetové nástroje, tak i nástroje ze SK. Zásadní rozdíl byl však v dodržování kvality opracování díry. Cermetové výstružníky udržely velmi stabilní hodnoty drsnosti po celou dobu experimentu (a dá se předpokládat, že by tyto hodnoty byly schopny udržet i nadále) zatímco výstružníky ze SK pouze v jeho úvodu. Na základě diferenční analýzy nástroje ze SK bylo zjištěno, že nedodržení předepsaných drsností bylo způsobeno stržením nadeponované vrstvy TiAlN a následnou tvorbou nárůstku. Cermetové nástroje tak mají výrazně lepší výsledky a výrazně delší trvanlivost v dané problematice.

Poděkování, Acknowledgements

Tento příspěvek vznikl v rámci podpory projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0093 – Regionální technologický institut. Projekt je financován z Evropského fondu pro regionální rozvoj a ze státního rozpočtu České republiky.

The Contribution was created due to the project CZ.1.05/2.1.00/03.0093 – Regional Technological Institute. The project is supported by the European Regional Development Fund and the state budget of the Czech Republic.

Literatura

- [1] Interní podklady společnosti Danfoss Power Solutions a.s. [cit. 2015-01-14]
- [2] Hema's Hydraulic Pumps. Diesel Progress [online]. 2013 [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://www.dieselpress.com/April-2013/Hemas-Hydraulic-Pumps/#.VLZ13S6VOQ1>
- [3] GALDA, M. (2011). Návrh hydraulického pojezdu univerzální pohonné jednotky žacího stroje. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Brandejs, CSc.
- [4] FIALA, Stanislav, KOUŘIL, Karel, ŘEHOŘ, Jan., a kol. Výzkum a vývoj vysoce přesných produktivních řezných nástrojů nové generace s využitím inovativních technologií a progresivních materiálů. Průběžná zpráva k projektu TA02010236 za rok 2012, HAM-FINAL s.r.o., Brno, 2012.
- [5] ŘEHOŘ, J., KOUŘIL, K., KROFT, L., SKLENIČKA, J. Trendy v konstrukci výstružníků. Strojirenská technologie. 2014, XIX, 3,4. s. 227- 232. ISSN 1211-4162

Abstract**Artilece:** Reaming of very precise holes in hydrostatic component**Authors:** Řehoř Jan¹
Fulemová Jaroslava¹
Rut Daniel¹
Třísková Veronika¹
Kouřil Karel²**Workplace:** ¹Faculty of Mechanical Engineering, UWB in Pilsen, PILSEN, Czech Republic
²HAM-FINAL s.r.o., BRNO, Czech Republic**Keywords:** Hydrogenerators, Reaming, Solide Carbide, Cermets

Nowaday, one of the motivity in engineering industry is vehicular and manipulating technology. At this branch there are very often used hydrostatic gears. The most important parts of hydrostatic circuit are pumps and hydraulic motors. The pump changes by tilting of block-cast cylinders direction and speed of working fluid. Working fluid is delivered into the hydraulic motor. For the correct operation there is necessary to ensure uniformity and tightness. If it be to the contrary there will be losses. Piston pumps work on principle of piston movement. Pistons are connected and driven by tenton plate. Regulation of working fluid volume is done by tilting either tilting plate or block-cast cylinder. The tilting range is driven by a servo-valve. As was mentioned above, the function of hydrostatic circuits je dramatically influenced by accurate movement of pistons. For that reason there is necessary to ensure sufficient dimensional accuracy, surface quality and geometric hole shape as well. The hole diameter, which can be seen in the Fig. 2 is $12_{+0,002}^{+0,008}$. The next required parameters are geometric toleration of perpendicularity, position and cylindricity.

At the Department of Machining Technology there were done experiments with two different kinds of cutting material. First one was sintered carbide deposited by TiAlN thin layer and the second one was cermet. Reamed material was cast iron and the dimension of reamed hole was 12H7 in the accuracy grade IT7. The main aim of this experiment was explain which cutting material is the best for reaming holes at servo valves. When there was used sintered carbide the real diameter of hole was decreasing. It was caused by removing TiAlN thin layer from cutting edge, see in the Fig. 4. After 3m of reaming the hole dimension was increasing and the roughness of machined surface was increasing too. Explanation of this event is easy, there was build-up edge tool wear, see in the Fig. 7. Due to high values of roughness, there was not kept the the parameter of accuracy grade. In this case the accuracy grade was around IT8 or IT9. On the other hand cermet tool had much better results. The hole diameter and the roughness of machined surface was kept in IT7 and the tool life was much better in comparison with sintered carbide. As a results it is possible to write, for reaming holes at servo valves is better cermet to sintered carbide. There is also higher productivity during using cermet tool.

