

## USE OF RUBBER MOLDS FOR DUPLICATION AND MAKING METAL CASTINGS IN RENOVATIONS

**Lukůvka R., Filípek J., Votava J.**

Department of Engineering and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: [xlukuvka@node.mendelu.cz](mailto:xlukuvka@node.mendelu.cz)

---

### ABSTRACT

The article describes using of the rubber molds for experimental, low-series of metal castings as well as duplication of damaged mechanical parts. The model can be made or obtained by several methods. The experimental wax pattern was made of the original machine part by application of rubber on the original surface. For experiment was tested powdered aluminium into the rubber. Of rubber was made two-piece mold. On the wax pattern was monitored the accuracy of most important surface (combustion chamber). Dimensional accuracy by measurements was evaluated as very well. The castings were poured of AlSi7Mg0.3 alloy. Dimensional inspection of cast tested machine part showed that silicone rubber molding was a suitable approach for production of this part.

**Key word:** rubber mold, silumine, metal casting, renovation, lost wax

## ÚVOD

Kaučukové formy jsou využívány především v experimentálních oblastech, renovacích, či výrobě voskových modelů pro méně náročné odlitky. V praxi jde především o to, že u těchto forem nelze zaručit velkou životnost a mají převažující nevýhody, pokud je vztáhneme na průmyslovou slévárenskou výrobu.

Technologie lití kovů na vytavitelný voskový model je založená na co nejvyšší jakosti voskových modelů. Kvalita modelu přímo ovlivňuje charakteristiku výsledného odlitku. U početných sérií odlitků, kde jsou velké nároky na rychlost chládnutí vosku ve vstřikovacích formách a zejména jejich odolnost kaučuk nenašel uplatnění. Přesto je snaha o zavedení těchto materiálů do praxe, jelikož s jejich aplikací by se proces výroby forem zjednodušil a urychlil, zejména ve spolupráci s technologií Rapid prototyping [2], [6]. Tato negativní skutečnost se dá přisoudit zejména jeho elasticitě a nízké tepelné vodivosti. Vliv na rozšíření materiálu má také i jeho nízká mechanická odolnost. Elasticita kaučuku velmi zvyšuje pravděpodobnost rozměrové odchylky modelu [1]. Naopak v mnoha ohledech napomáhá, například při vyjímání modelu z formy. Formy z kaučuku můžou být o menším počtu svých dílů a při použití vysoce kvalitních kaučuků s vysokou tažností (až 300 %) mohou být vyráběny jako tzv. „svlékací“.

V experimentu je prakticky odzkoušena výroba odlitku, za pomoci kopírování původní součásti. Cílem je zjistit, do jaké míry dojde ke změně rozměrů, jaká je celková tvarová stálost, reprodukovatelnost, pokud možno s nejmenší odchylkou rozměrů jednotlivých voskových modelů. Za pokusnou součást byla vybrána hlava válce dvoutaktního spalovacího motoru. Tato součást může představovat poškozenou součást, i v rámci renovačního procesu, kterou je nutno z určitých důvodů vyrobit odléváním. Samozřejmě je potřeba stanovit si, které rozměry a povrchy součásti jsou klíčové a těm věnovat maximální pozornost při celém výrobním procesu [7].

Dodatečně bylo odzkoušeno sycení kaučuku v nevulkanizovaném stavu práškovým hliníkem, který by mohl zvýšit tepelnou vodivost kaučuku a předpokladem je i zvýšení pevnosti a tuhosti formy.

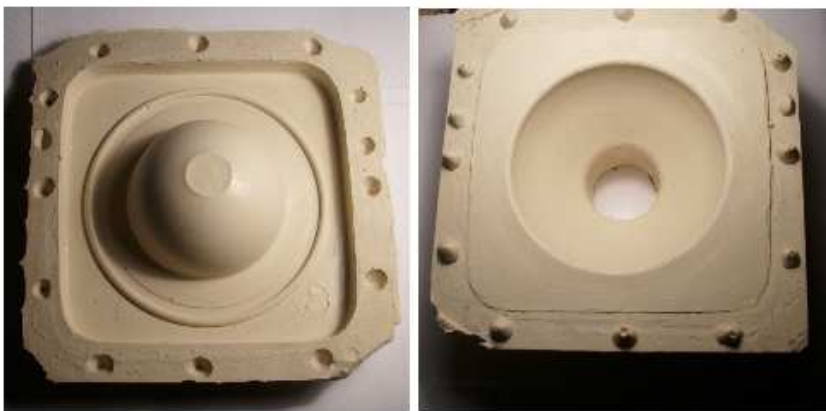
## MATERIÁL A METODIKA

Jako ověřovací součást byla vybrána hlava válce dvoutaktního spalovacího motoru. Původní odlitek byl mírně upraven v rámci předlohy, jelikož získané zkušební odlitky z experimentu budou využity na reálném spalovacím motoru, který je prototypem. Z tohoto důvodu výsledné experimentální odlitky postrádají chladicí žebra, jelikož prototyp motoru je projektován jako kapalinou chlazený. Jako výchozí materiál pro výrobu forem byl vybrán zcela běžně dostupný licí kaučuk Lukopren N1522. Tento základní typ kaučuku nemá nejvyšší mechanické vlastnosti, zejména tažnost

**MENDELNET 2011**

a pevnost, ale vyhovuje nízkou cenou a kdykoliv v případě inovace metody je možno použít kvalitnější kaučuk.

Za povrch s nejvyšší prioritou na přesnost byl vybrán vnitřní spalovací prostor hlavy válce. Jelikož se jedná o dvouválcový motor, je potřeba dosáhnout co největší přesnosti spalovacího prostoru, aby bylo sníženo riziko vysokého opotřebení klikového mechanismu rozdílnými kompresními poměry [4]. Tvar původní součásti umožňuje vyrobit dělicí rovinu po obvodu budoucího modelu. Byl stanoven postup výroby dvoudílné formy, **obr. 1**.



**Obrázek 1:** Spodní a horní polovina formy

Zde se nacházíme v zodpovědném procesu, kdy je nutno postupovat s velkou pečlivostí, tím se sníží riziko budoucího nekvalitního voskového modelu.

Je potřeba věnovat pozornost nerovnostem povrchu předlohy, rýhám a jiným defektům. Protože kaučuk velmi věrně duplikuje veškeré vady, ty se posléze přenášejí na voskový model a ve výsledku i na hotový kovový odlitek.

Pokud srovnáme ostatní metody lití kovů, lití na vytavitelný voskový model umožňuje získat velmi kvalitní povrch, který není potřeba až na funkční plochy téměř vůbec opracovávat [7].

Jakost povrchu je závislá na složení keramických forem, zejména pojitivovém systému a druhu ostřiva v primární břečce. Spodní polovinu formy tvoří původní povrch hlavy válce, viz **obr. 3**,



**Obrázek 2:** Originální hlava válce, předloha **Obrázek 3:** Vulkanizovaný kaučuk, vlevo s hliníkovým práškem, vpravo v čistém stavu

kteřá prošla kompletní předpřípravou povrchu, jako je např. leštění.

Kaučuk je vhodnější před vlastní aplikací odvakuovat. U velkých ploch bez členitého povrchu lze tento krok vynechat, ale u malých a členitých součástí (hlubších reliéfů) může nevakuovaný kaučuk způsobovat shlukování vzduchových bublin, které jsou rozptýleny díky míchání v jeho obsahu [3].

V rámci rozšíření experimentu bylo odzkoušeno plnění kaučuku práškovým hliníkem. Kaučuk je smíchán dle předepsaného poměru s vulkanizátorem, následně přidán hliník a znovu dobře promíchán. Zrnitost prášku se pohybuje v rozmezí od 0,045 do 0,1 mm, čistota 99,7 %. Cílem je získat lepší mechanické vlastnosti v kombinaci se zlepšením tepelné vodivosti formy. Ideálním aditivem by mohl být měděný nebo bronzový prášek, měď má lepší tepelnou vodivost oproti hliníku. Při duplikaci povrch nezpůsobuje hliník v kaučuku žádné problémy, povrch materiálu je vysoce lesklý a hladký. Pevnost a tuhost se zvýšila. Při zkušebnímu tuhnutí vosku na vzorku kaučuku byl zaznamenán kratší interval.

Aditivace kaučuku by mohla být předmětem dalšího zkoumání, včetně kvalitního měření fyzikálních vlastností s porovnáním výsledků oproti původnímu materiálu. Poměr prášku vůči kaučuku byl stanoven na 1:1. Při vyšším poměru je již viskozita hmoty příliš vysoká. Bylo by nutné použít typy kaučuku s velmi nízkou viskozitou.

Při natržení formy je patrný mírný výdrol částic. Směs na řezu vykazuje menší četnost vzduchových bublin, vzorek viz **obr. 2**.

Vosk je do forem odléván gravitačně, bez speciálního plnicího zařízení. Výsledná podoba získaného modelu po vyjmutí z formy viz **obr. 4**.

Modely jsou určeny pro odlití metodou vytavitelného voskového modelu. Skořepina samonosného typu. Pojivový systém primární a sekundární keramické břěčky na vodní bázi (Ranson and Randolph), [7]. Pro odlitky byla použita slitina ČSN 424334 (AlSi7Mg0,3). Odlitky byly tepelně zpracovány a precipitačně vytvrzeny dle normy, stav T6, viz **obr. 5**. Tepelné zpracování bylo

## MENDELNET 2011

provedeno zejména kvůli záměru praktického použití na spalovacím motoru a také bylo přihlédnuto k lepší obrobiteľnosti.



**Obrázek 4:** Vnitřní spalovací prostor na voskovém modelu po vyjmutí z formy

V rámci ověření rozměrové stability a snížení chyby měření bylo odlito 10 voskových polotovarů – modelů, viz **obr. 4**. Jak bylo předesláno, za prioritní rozměr, resp. povrch byl stanoven spalovací prostor. Přesnost spalovacího prostoru na modelech byla sledována skrze jejich objem. Očíslované vzorky byly měřeny po tepelné temperaci, aby byla snížena chyba vnesená tepelnou dilatací modelů. Jelikož vosk reaguje velmi citlivě na změnu teploty změnou objemu. Čehož je mimo jiné využito v řadě technických aplikací. Jako měřicí kapalina objemu byl použitý čistý etanol.

Kapalina i voskové vzorky byly v místě o stejné okolní teplotě minimálně 1-2 hodiny. Objem byl měřen jen v půlkulovité části, tedy bez antidekonační štěrbin. Každý kus byl měřen celkem třikrát, čili v součtu celkem 30 hodnot objemu vzorků. Výsledky byly zpracovány a statisticky vyhodnoceny.



**Obrázek 5:** *Finální odlitek po třískovém obrobení dosedací plochy*

## Výsledky a diskuze

Z experimentu vyplynulo několik praktických poznatků. Při lití voskových modelů se ukazuje, jak bylo postupováno při výrobě formy a do jaké míry je forma přesně vyrobená. Vosk má velkou náchylnost ke staženinám, jeho změna objemu z tekutého stavu do pevného je poměrně velká. Proto dochází ve vzdálených místech k nepatrnému zúžení profilu a model má tendenci k průhybu na stranu rychlejšího odvodu tepla. Což platí zejména pro rohy formy. Tento defekt se dá částečně eliminovat plněním formy alespoň mírným přetlakem, který zajistí doplňování vosku do kritických míst formy. Značnou roli hraje teplota vstřikování, či odlévání vosku do formy. Zbytečně přehřátý vosk vykazuje větší smrštění. Model vykázal stabilní rozměry s velmi přijatelnou přesností. Největší problém vzniká v rozích modelu, které mají tendenci ke kroucení, odchylka zde dosahuje hodnot do 1,5 mm na nejvzdálenějším konci. Po aplikaci plnění za mírného tlaku byla tato odchylka rapidně zmenšena. Na rozměrovou stabilitu spalovacího prostoru neměla problematika lití vosku vliv. Bylo zjištěno, že vnitřní objem spalovacího prostoru u modelu pro výrobu formy má objem 39,7 cm<sup>3</sup>, u voskových modelů dosahuje průměrná hodnota objemu spalovacího prostoru hodnoty 39,55 cm<sup>3</sup>. Nejmenší směrodatná odchylka dosahuje hodnot 0,0236, nejvyšší hodnota byla zjištěna 0,0408. Variační koeficient dosahuje u 9 vzorků hodnoty 0,0596. Údaje viz **tabulka 1**. V případě kaučukové formy se dá hovořit o přijatelné kvalitě získaných modelů. Zjištěný rozptyl parametrů je přijatelný pro stálost spalovacích parametrů zážehového motoru. Vnější rozměry všech vzorků se pohybují s tolerancí do 0,8 %. Hotové odlitky ze slitiny AlSi7Mg0,3 vykazaly průměrný objem spalovacího prostoru 38,7 cm<sup>3</sup>

Vzorek	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
-	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>		
1	39,5	39,55	39,5	39,52	0,0236	0,0596
2	39,6	39,55	39,6	39,58	0,0236	0,0595
3	39,5	39,5	39,55	39,52	0,0236	0,0596
4	39,55	39,6	39,6	39,58	0,0236	0,0595
5	39,55	39,5	39,5	39,52	0,0236	0,0596
6	39,6	39,55	39,55	39,57	0,0236	0,0596
7	39,5	39,5	39,55	39,52	0,0236	0,0596
8	39,5	39,5	39,5	39,50	0,0000	0,0000
9	39,6	39,55	39,5	39,55	0,0408	0,1032
10	39,55	39,5	39,55	39,53	0,0236	0,0596

**Tab.1** Naměřené hodnoty objemu spalovacího prostoru voskových modelů

Bylo by vhodné zaměřit pozornost na zlepšení tepelné vodivosti kaučuku, což by mohlo v cílené a lokální aplikaci kaučuku při výrobě formy vyvolat efekt tzv. chladítek. Pokud by bylo dosaženo rychlejšího odvodu tepla v kritických místech a průřezech, riziko staženin by se odstranilo. Forma nesmí disponovat možností pružení vůči sobě, aby byla zajištěna její rozměrová stálost. Podpůrné obaly měkké formy jsou nezbytnou nutností. Zejména u rozměrných součástí, kde již nejde zaručit stabilitu formy a musela by být vyrobena s velmi tlustými stěnami, což snižuje rychlost chládnutí vosku a zvyšuje cenu formy. Z pokusů je patrné, že stěna formy postačuje od 5-10 mm. Hydrostatický tlak na větší plochy zachytí vnější pevné pouzdro formy.

Poměrně velkou nevýhodou může být fakt, že pro výrobu kaučukové formy je potřeba předloha vyrobená již s výrobními přesahy a přídavky na smrštění odlitku. Pokud se jedná o jednoduché odlitky, duplikované z již existujících součástí, je možno vyrábět formu přímo s jejich využitím.

## ZÁVĚR

Z experimentu vyplynulo, že kaučukové formy mají své opodstatnění, zejména v renovačních procesech a nebo kusové výrobě. Kdy je kladen důraz na co nejnižší náklady pro výrobu formy a rychlost její výroby. V kombinaci s technologií Rapid Prototyping můžeme dosáhnout velmi flexibilní výroby formy a velmi nízké výrobní ceny, s velmi přiměřenou kvalitou voskových modelů.

Získané voskové modely a i finální odlitky byly vyhodnoceny jako přijatelné. Kritérium rozměrové stálosti nejdůležitějšího povrchu vyhovělo prvotním požadavkům. Důkazem praktického významu experimentu jsou plně funkční odlitky, které již v aktivním provozu bezproblémově fungují přes 30 hodin.

Další budoucnost praktického využití kaučukových forem spočívá ve zkoušení pevnějšího kaučuku, pravděpodobně s využitím tepelně vodivých plniv, jak bylo nastíněno výše.

## LITERATURA

[1] CVUT FSID [online]. [cit. 2011-04-10]. Dostupné z:

< <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20liti%20na%20vytavitelny%20model.pdf> >

[2] DURKÁČ, M.; TRÁVNÍČEK, P.; JUNGA, P.; MAREČEK, J. *Moderní postupy konstrukce při vývoji modulového zařízení pro rapid-prototyping*. In *Nové trendy v konstruování a v tvorbě technické dokumentace 2011*. s. 159--164. ISBN 978-80-552-0585-4.

[3] LUKŮVKA, R. -- FILÍPEK, J. -- VOTAVA, J. *Kaučukové formy při malosériové výrobě voskových modelů*. In *Kvalita a spolehlivost technických systémů - Zborník vedeckých prác*. ISBN 978-80-552-0595-3.

[4] MACEK, J.: *Spalovací motory I*. Nakladatelství ČVUT. Praha 2007. ISBN 978-80-01-03618-1

[5] HORÁČEK, M.; CHARVÁT, O.; SMRČKA, V. *Rapid wax patterns obtained by RP and silicone mould technologies*. *Slévárenství*, 2008, roč. LVI, č. 9- 10, s. 398-404. ISSN: 0037- 6825.

[6] VAEZI, M.; SAFAEIAN, D.; CHUA, C.K. *Gas turbine blade manufacturing by use of epoxy resin tooling and silicone rubber molding techniques*, *Rapid Prototyping Journal*, č. 17, str.107-115

[7] SIAS, F. R.. *Lost-Wax Casting: Old, New, and Inexpensive Methods*. Woodsmere Press, 2006. 214 s. ISBN-13: 978-0967960005