

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 821

ISSN 1213-4198

thesis
?
IS

Ing. Petr Hlavsa

**Interakce jádro-tavenina
při odlévání hlav válců
z Al slitin do kovových forem**



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**INTERAKCE JÁDRO - TAVENINA PŘI ODLÉVÁNÍ
HLAV VÁLCŮ Z AL SLITIN DO KOVOVÝCH FOREM**

INTERACTION CORE - MELT BY CASTING OF CYLINDER
HEADS FROM AL ALLOYS IN SEMI-PERMANENT MOULDS

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D.THESIS

OBOR	Strojírenská technologie
AUTOR PRÁCE	Ing. Petr Hlavsa
ŠKOLITEL	prof. Ing. Karel Rusín, DrSc.
OPONENTI	doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc. Ing. Michal Tegel, Ph.D.
DATUM OBHAJOBY	29. srpna 2016

Brno 2016

Klíčová slova:

Pojivový systém, Cold-Box, Rotacast, nalepené ostřívo, penetrace, Cogas analýza, hlava válců, Šajdíkovce Humence.

Keywords:

Binder system, Cold-Box, Rotacast, sticky sand, metal penetration, Cogas analysis, cylinder head, Sajdikove Humence.

Místo uložení práce:

Dizertační práce je uložena v Areálové knihovně fakulty strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2, 616 69 Brno.

© Petr Hlavsa, 2016

ISBN 978-80-214-5442-2

ISSN 1213-4198

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	6
3	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ	6
3.1	Křemenná ostřiva jádrových směsí	6
3.2	Technologie výroby jader metodou Cold-Box.....	6
3.2.1	<i>Princip technologie Cold-Box.....</i>	6
3.3	Technologie odlévání ROTACAST	7
3.3.1	<i>Princip odlévání na RC lince</i>	7
3.4	Interakce písková forma / jádro - tavenina.....	8
3.5	COGAS analýza	8
4	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	9
4.1	Definice projektu.....	9
4.1.1	<i>Popis problému</i>	9
4.1.2	<i>Důvod výběru projektu a metrika.....</i>	9
4.1.3	<i>Cíle a přínosy projektu.....</i>	10
4.2	Měření - vyhodnocení informací o současné situaci.....	10
4.2.1	<i>IPO diagram</i>	10
4.3	Analýza - určení kořenových příčin problému	11
4.3.1	<i>Analýza pravděpodobných příčin problému - Ishikawa diagram.....</i>	11
4.3.2	<i>Laboratorní analýzy povrchu odlitků s nalepeným ostřivem</i>	12
4.3.3	<i>Hledání hlavních příčin problému / DOE.....</i>	18
4.4	Zlepšování - implementace řešení.....	25
4.4.1	<i>Aktivita na odstranění problému s nalepeným ostřivem</i>	25
4.5	Řízení - udržování zlepšeného stavu.....	27
5	ZÁVĚR.....	27
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	29
	AUTOROVO CV	32
	ABSTRACT	34

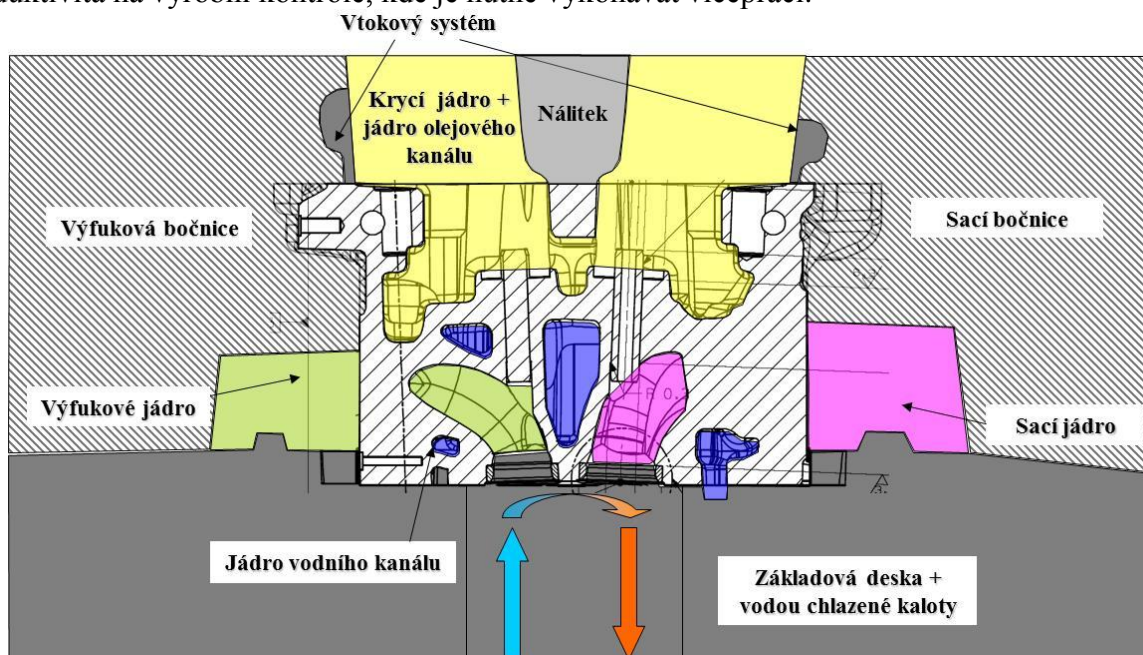
1 ÚVOD

Automobilový průmysl si vyžaduje stále kvalitní odlitky a tím klade na slévárny vysoké jakostní požadavky. Týká se to hlavně tvarově složitějších odlitků pracujících při teplotním a tlakovém namáhání, jako jsou hlavy válců. Ve všech fázích výroby hlav válců jsou nastaveny přísná kritéria pro kontrolu kvality podle požadavků zákazníků. Fáze výroby hlav válců můžeme rozdělit následovně:

- výroba jader
- odlévání
- odjadrování, odstraňování náliček a vtokového systému (Fettling cell)
- výrobní kontrola, součástí VK je i cídění (odstraňování otřepů, zabrušování povrchových vad atd.)
- tepelné zpracování
- CNC opracování
- 3D měření, kontrola průchodnosti kanálů ("flow test")
- konečná kontrola → balení k zákazníkovi

Aby slévárna fungovala produktivně bez jakýchkoliv činností navíc - víceprací (např. tryskání, broušení a kartáčování) při výrobě jednoho odlitku, musí být všechny procesy v jednotlivých fázích výroby robustně nastavené. Už i s ohledem na to, že slévárnictví je obor specifický tím, že i změna klimatických podmínek může jednotlivé procesy výroby citelně ovlivnit.

V dizertační práci jsou detailně popsány použité technologie v prvních dvou fázích výroby (výroba jader a odlévání) odlitku naftové hlavy válců, kde dochází ke kvalitativním problémům na povrchu sacích a výfukových kanálů (nalepené ostřivo). Tímto problémem je výrazně ovlivněna produktivita na výrobní kontrole, kde je nutné vykonávat víceprací.



Obr. 1 Průřez odlitku hlavy válců v kokile i s pískovými jádry

2 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Dizertační práce je zaměřena na studium interakcí mezi jádry vyrobenými technologií Cold-Box a hliníkovými slitinami při odlévání do kovových forem. Hlavním cílem práce je teoreticky zdůvodnit a popsat problém s nalepeným ostřivem v sacích a výfukových kanálech po odjadrování u odlitku naftové hlavy válců. Vzhledem na to, že do procesu odlévání vstupuje celá řada faktorů (od vstupních surovin na jaderně, přes výrobu jader až po samotné vstupní suroviny a technologické parametry na odlévání), tak si dále klade za cíl zmapovat tyto procesy a najít kombinaci hlavních faktorů, které tento kvalitativní problém způsobují.

3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

3.1 KŘEMENNÁ OSTŘIVA JÁDROVÝCH SMĚSÍ

Křemenná ostřiva (dále jen ostřiva) jsou ve slévárnách nejvíce používaným a také nejekonomičtějším materiálem pro přípravu formovacích a jádrových směsí. S příchodem technologií využívajících syntetických pryskyřic (např. nejvíce rozšířená technologie studeného jaderníku Cold-Box/amin ale i modernější technologie teplého a horkého jaderníku Warm-Box a Hot-Box) do sléváren se začal velký důraz klást i na kvalitu ostřiv. Slévárny využívající vysoce produktivní metody výroby jader vyvíjejí v posledních letech vysoký tlak na pískovny (výrobce ostřiv) a vystavují je vysokým požadavkům na kvalitu ostřiv. Vysoké požadavky na kvalitu ostřiv se hlavně odrážejí v stále náročnějším vývoji tvarově složitějších odlitků, které si vyžadují i velmi komplikované tvary jader. Dále je i tlak sléváren na výrobce ostřiv odvozený od tlaku zákazníků sléváren, kteří požadují stále nižší ceny odlitků a slévárny tak lepší kvalitou ostřiv chtějí dosáhnout co nejnižších dávkování pojivových systémů a v neposlední řadě je to i kvalita vyráběných jader (např. vliv nižšího dávkování pojivových systémů na plynatost odlitků). V České republice a na Slovensku jsou i slévárny, které vzhledem na výrobu tvarově složitějších a přesných odlitků neodebírají ostřiva od lokálních výrobců, ale sáhnou pro kvalitnější, sice někdy i trojnásobně dražší, ostřiva do zahraničních pískoven v Německu (např. Haltern, Frechen), Polsku (např. Grudzen Las, Szczakowa) a v posledních letech se dostávají na český a slovenský trh i ostřiva z USA (např. rakouská firma GIBA dodává ostřiva z ložisek ve Wisconsinu z pískovny BMC (Badger Mining Corporation) pod označením GBM+AFS ostřiva).

3.2 TECHNOLOGIE VÝROBY JADER METODOU COLD-BOX

3.2.1 Princip technologie Cold-Box

Princip technologie studeného jaderníku Cold-Box/amin je založen na chemické reakci dvou organických kapalných složek za vzniku polyuretanové pryskyřice. První složkou pojivového systému je vytvrditelná pryskyřice a druhou složkou je tvrdidlo. Obě kapalné složky jsou v stejném čase nadávkovány do mísiče s ostřivem, kde jsou homogenně promíchány, tak aby

došlo k dokonalému obalení jednotlivých zrn ostřiva a k vytvoření tzv. pojivového filmu na povrchu zrn ostřiva. Následně je namíchaná jádrová směs vstřelena do jaderníku, kde je profukována plynným médiem, které vznikne zplyněním katalyzátoru (aminu) vzduchem zahřátým na teplot 80–100 °C. Katalyzátor slouží jako urychlovač reakce mezi již spolu velmi pomalu reagujícími organickými složkami na povrchu zrn ostřiva, které po reakci vytvoří mezi zrny ostřiva pojivové můstky, které určují výslednou pevnost jádra. Z reakce vychází katalyzátor beze změny a vedlejších produktů chemické reakce. K likvidaci nespotřebovaného katalyzátoru se používají aminové pračky, kde dochází k chemické absorpci v H₂SO₄ a vzniká aminosulfátová sůl, z které je možné chemickým zpracováním opět získat amin k novému použití.

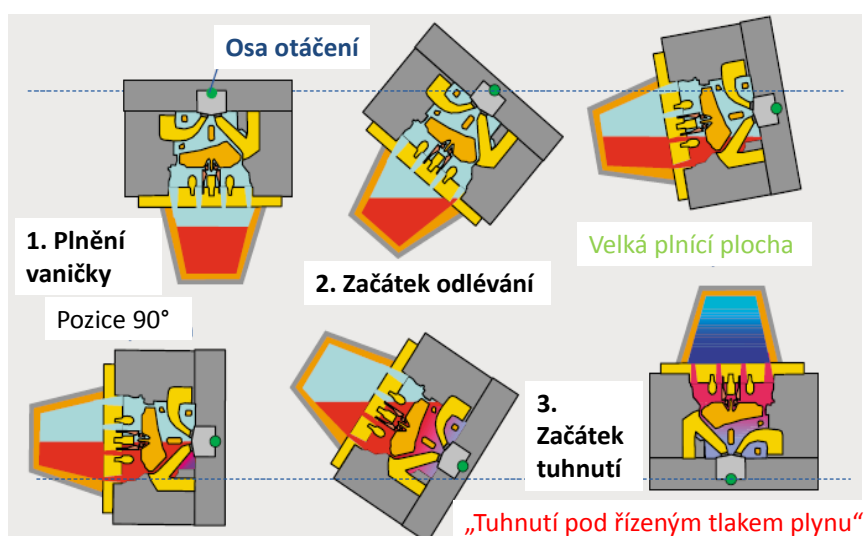
3.3 TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ ROTACAST

ROTACAST (dále jen RC) byl vyvinutý v Linci v 90 letech na optimalizaci průběhu plnění kovové formy (kokily) jako alternativa k standardním technologiím - sklopné, nízkotlaké a gravitační odlévání pro výrobu hlav válců. Linka RC pracuje na principu rotačního odlévání a má vedle vysoké produktivity řadu výhod oproti výše uvedeným technologiím odlévání [13].

3.3.1 Princip odlévání na RC lince

Technologie RC je rotačním typem odlévání do kovové formy (kokily) se založenými pískovými jádry. Princip odlévání ilustrovaný na obrázku 1 lze rozdělit na následující fáze [13]:

- 1. Naplnění vaničky** - jedná se o speciální keramickou vaničku, která je naplněna z naběračky taveninou z udržovací pece. Teplota taveniny se pohybuje v rozmezí 710–730 °C [13].
- 2. Začátek odlévání taveniny do formy** - při plnění formy je u RC výhodou velká plnicí plocha přes krycí jádro, čímž je dosaženo rychlého plnění a tím redukce vzniku staženin v odlitku [13].
- 3. Začátek tuhnutí odlitku** - pro dosažení co nejnižšího nálitku bylo teoreticky počítáno s tuhnutím pod řízeným tlakem plynu. Tato myšlenka nebyla ovšem v praxi potvrzena vzhledem na problémy s utěsněním vaničky na vrchu kokily a s mechanickou penetrací [13].



Obr. 2 Princip technologie ROTACAST [13]

3.4 INTERAKCE PÍSKOVÁ FORMA / JÁDRO - TAVENINA

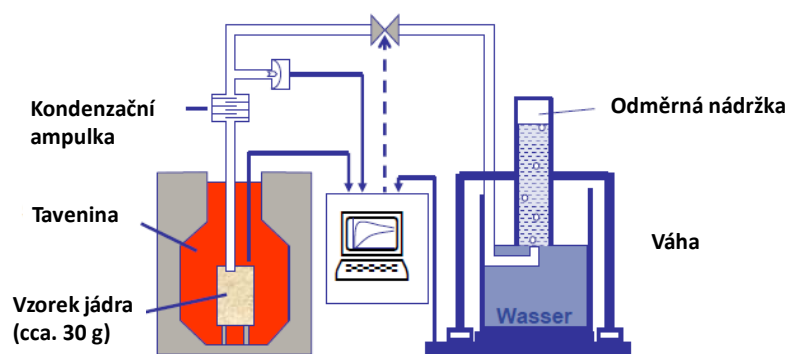
Výroba jakostních odlitků si vyžaduje, aby povrch odlitku byl hladký a bez povrchových vad. Obzvláště u odlitků jako jsou hlavy válců je třeba dbát na kvalitní povrchy. U sacích a výfukových kanálů se obvykle vyžaduje povrch odlitku o drsnosti do 70 μm bez jakýchkoliv nečistot. Další prostory odlitku jako vodní nebo olejový kanál musí být bez nečistot a zbytků po jádrech vzhledem na přísnou zbytkovou nečistotu vyžadovanou zákazníkem (obvykle do 100 mg, velikost částic: $< 2 \times 1 \text{ mm}$). Dalším rizikem nečistot v kanálech odlitku by bylo časté zanášení filtrů při funkci motoru, což by mohlo mít za následek jeho poškození. Aby se předešlo těmto nežádoucím vadám u odlitků, je třeba pamatovat na určité fyzikálně-chemické reakce a zákonitosti, které na rozhraní písková forma / jádro - tavenina vznikají a platí.

Na rozhraní písková forma / jádro - tavenina dochází k řadě složitých reakcí, a jejich výsledkem mohou být různé povrchové vady: nalepené ostřívo, drsný povrch, připečeniny, zapečeniny - hluboké připečeniny a penetrace. Pojem nalepené ostřívo není v odborné literatuře klasifikován. Pojem byl zvolen vzhledem na řešenou problematiku v sacích a výfukových kanálech u odlitku naftové hlavy válců, která je v práci řešena. Zbývající pojmy (drsný povrch, připečeniny, zapečeniny - hluboké připečeniny a penetrace) jsou klasifikovány a dostatečně známé. Hlavně penetrací je celá řada typů a souvisí s různými litými materiály. U odlitků hlav válců z hliníkových slitin gravitačně odlévaných do kovových forem jsem hlavně zmínil penetraci mechanickou a klasifikoval jsem zde vznikající vady.

3.5 COGAS ANALÝZA

Jedná se o metodu k určování množství vznikajících plynů a kondenzátu z jádra. Metoda umožňuje měřit a srovnávat jádra jak z aktuální produkce tak i porovnávat různé druhy parametrů na normovaných trámečcích (trámečky pro pevnost ohybu). Měřené parametry: množství pojiva, typ pojiva, vlastnosti namíchané jádrové směsi, vliv skladování na kvalitu jader a vliv technologických parametrů výroby jader [9].

Princip metody: vzorek jádra o rozměrech 22,36×22,36×35 mm (váha cca. 30 g) je ponořen do Al taveniny o teplotě 720 °C a trubičkou umístěnou na povrchu jádra jsou odváděny plyny přes ampulku se skleněnými kuličkami, kde dochází ke kondenzaci. Zbytky plynů pak dále odchází trubičkou do odměrného válce naplněného definovaným množstvím vody. Množství plynů a kondenzátu se určuje z váhového rozdílu. Doba ponoření vzorku jádra do Al taveniny je 300 s [9].



Obr. 3 Schematické znázornění principu COGAS analýzy [9]

4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

4.1 DEFINICE PROJEKTU

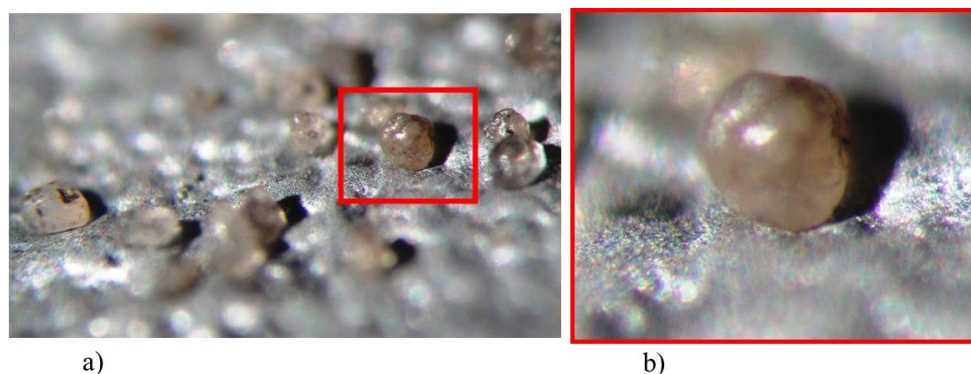
4.1.1 Popis problému

Problém popisujeme jako nalepené ostřívo v sacích a výfukových kanálech odlitku naftové hlavy válců. Ostřívo zůstane v kanálu přichyceno (nalepeno) po odjadrování. Zrna ostřiva zůstávají přichycena (nalepena) na odlitku i po tepelném zpracování a praní odlitků po CNC opracování, přitom jdou z povrchu odlitku velmi lehce odstranit prstem.

Na obrázku 4 můžeme vidět povrch sacího a výfukového kanálu odlitku naftové hlavy válců po odjadrování. Z detailu na obrázku 5 je patrné, že zrno ostřiva je pouze přichyceno (nalepeno) neznámou silou na povrch odlitku.



Obr. 4 Sací a výfukový kanál odlitku naftové hlavy válců s nalepeným ostřivem po odjadrování



Obr. 5 Detail nalepeného ostřiva na povrchu výfukového kanálu odlitku naftové hlavy válců
a) zvětšeno 40x, b) zvětšeno 80x

4.1.2 Důvod výběru projektu a metrika

Důvodem výběru projektu pro řešení v týmu metodikou DMAIC je vysoký výskyt nalepeného ostřiva v sacích a výfukových kanálech odlitku naftové hlavy válců. Tento problém způsobuje ztrátu výkonu na výrobní kontrole, kde je nutné kartáči ostřívo z kanálů odstranit. Pokud by nedošlo k jeho odstranění, tak by byl ohrožen zákazník z hlediska zbytkové nečistoty v odlitku.

Metrikou projektu je procento výskytu nalepeného ostříva v sacích a výfukových kanálech po odjadrování.

4.1.3 Cíle a přínosy projektu

Cílem projektu je zdůvodnění a snížení výskytu nalepeného ostříva v sacích a výfukových kanálech odlitku naftové hlavy válců, tak aby nemuselo být z kanálů čištěno kartáči na výrobní kontrole. Přínosem by mělo být zvýšení produktivity na výrobní kontrole.

4.2 MĚŘENÍ - VYHODNOCENÍ INFORMACÍ O SOUČASNÉ SITUACI

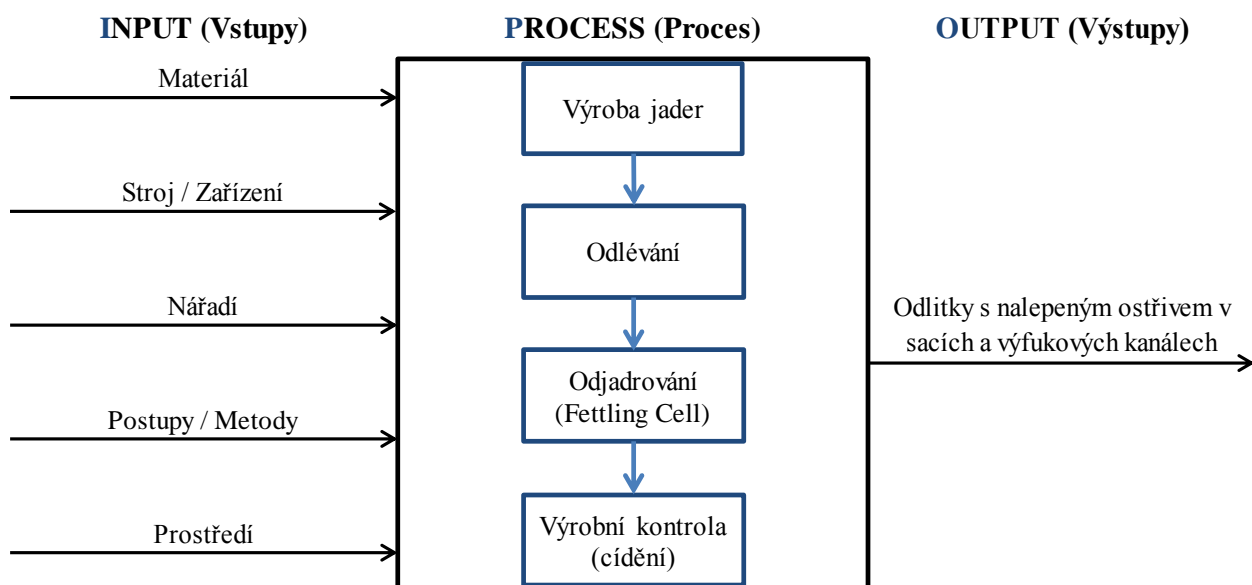
V tabulce 1 můžeme vidět průměrný výskyt nalepeného ostříva v sacích a výfukových kanálech. Problémem je postižená celá produkce odlitku naftové hlavy válců.

Sací kanál		Výfukový kanál		Množství výskytu
Strana příruby	Strana spalovacího prostoru	Strana příruby	Strana spalovacího prostoru	
15 %	70 %	15 %	70 %	Celá produkce 100 %

Tab. 1 Průměrný výskyt nalepeného ostříva v sacích a výfukových kanálech

4.2.1 IPO diagram

IPO diagram popisuje vstupy do procesu a řízení výstupů z procesu. Na pravé straně diagramu máme jako výstup problém s nalepeným ostřivem, který může být způsoben vlivem vstupů na levé straně diagramu.

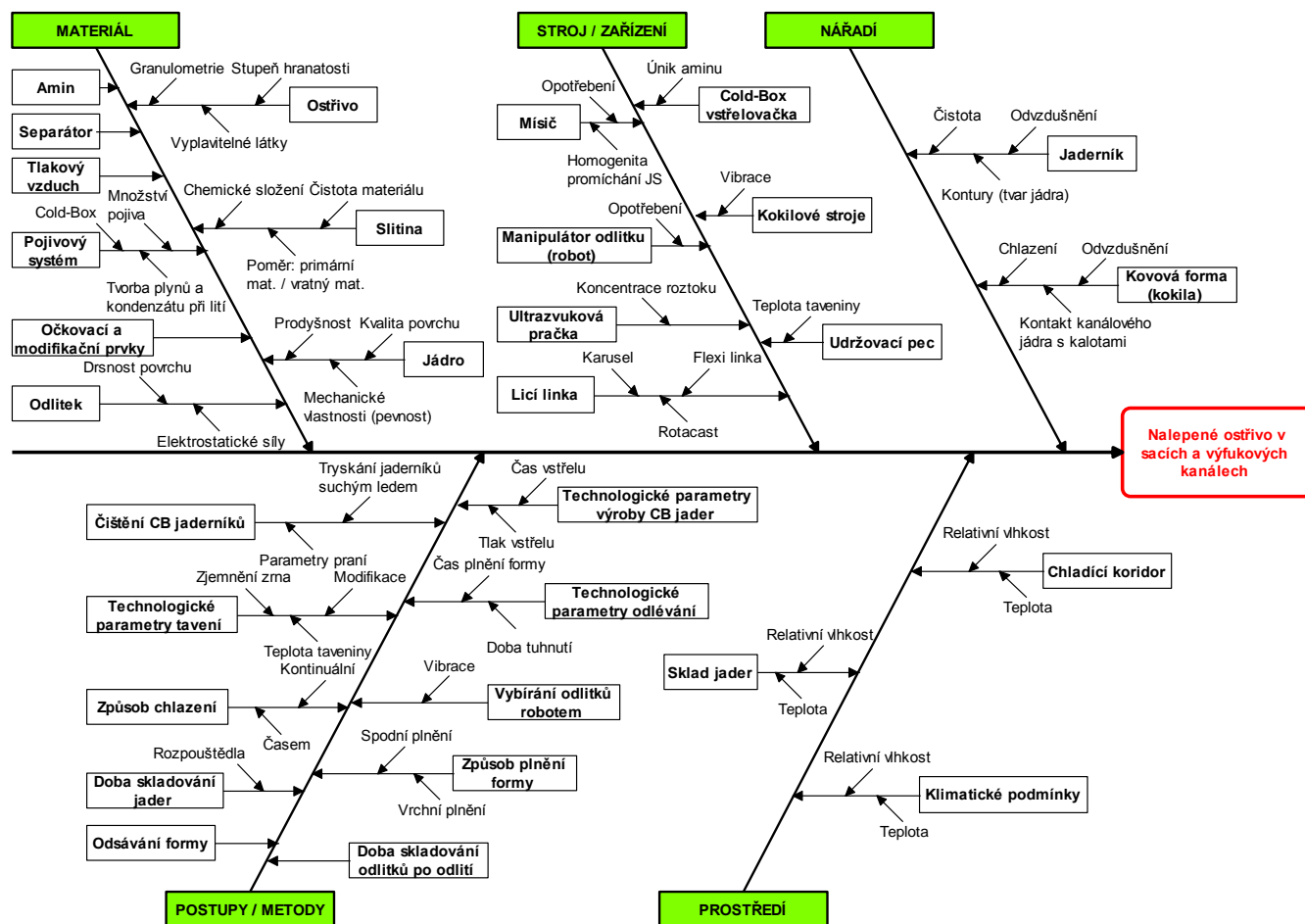


Obr. 6 IPO diagram pro problém s nalepeným ostřivem v sacích a výfukových kanálech

4.3 ANALÝZA - URČENÍ KOŘENOVÝCH PŘÍČIN PROBLÉMU

Pro určení pravděpodobných příčin problému byl zvolen Ishikawa diagram, někdy též nazývaný diagram rybí kost nebo diagram příčin a následků. Tým s ohledem na proces výroby odlitku naftové hlavy válců, kde se problém vyskytuje, zvolil následující základní kategorie příčin: materiál, stroj / zařízení, nářadí, postupy / metody a prostředí.

4.3.1 Analýza pravděpodobných příčin problému - Ishikawa diagram



Obr. 7 Ishikawa diagram pro problém s nalepeným ostřivem v sacích a výfukových kanálech odlitku naftové hlavy válců

Po vyčerpání všech možností a nápadů pro sestavení Ishikawa diagramu, ohodnotil každý člen týmu příčiny váhovým koeficientem. Pro ohodnocení příčin byl zvolen tento váhový koeficient:

- 1 - nevýznamný faktor - nebudeme se tímto faktorem zabývat
- 2 - významný faktor - bude kontrolován (měřený), ale zatím nebudeme ověřovat jeho vliv na problém
- 3 - potenciální faktor kořenné příčiny problému, který budeme ověřovat

Analyzovány jsou potencionální faktory, které získaly největší váhové koeficienty, v našem případě 3.

MATERIÁL		Váha	STROJ / ZAŘÍZENÍ		Váha	NÁRADÍ		Váha
Ostřivo	Granulometrie	2	Cold-Box vstřelovačka	Únik aminu	1	Jaderník	Čistota	2
	Stupeň hranatosti	1	Mšič	Opořebenění	1		Kontury (tvar jádra)	1
	Vypalitelné látky	1		Homogenita promíchání JS	2		Odvzdušnění	2
Pojivový systém	Cold-Box	1	Kokilové stroje	Vibrace	2	Kovová forma (kokila)	Chlazení	3
	Množství pojiva	3	Manipulátor odlitku (robot)	Opořebenění	1		Kontakt kanálového jádra s kalotami	3
	Tvorba plynů a kondenzátu při lití	3	Lici linka	Karusel	2		Odvzdušnění	3
Amin	1	Flexi linka		1	Udržovací pec	Teplota taveniny	3	
Separátor	1	Rotacast	2	Ultrazvuková pračka		Koncentrace roztoku	2	
Slitina	Chemické složení	2	Ultradřívka	Teplota taveniny	3			
	Čistota materiálu	1			2			
	Poměr: primární mat. / vratný mat.	2						
Očkovací a modifikační prvky	2							
Tlakový vzduch	1							
Odlitek	Drsnost povrchu	2						
	Elektrostatické síly	1						
Jádro	Kvalita povrchu	2						
	Mechanické vlastnosti (pevnost)	3						
	Prodyšnost	2						

Nalepené ostřivo v sacích a výfukových kanálech

POSTUPY / METODY		Váha	PROSTŘEDÍ		Váha
Čištění CB jaderníků	Tryskání jaderníků suchým ledem	2	Chladičský koridor	Relativní vlhkost	1
	Parametry prání	2		Teplota	1
Technologické parametry výroby CB jader	Čas vstřelu	2	Sklad jader	Relativní vlhkost	2
	Tlak vstřelu	2		Teplota	2
Vybírání odlitků robotem	Vibrace	1	Klimatické podmínky	Relativní vlhkost	1
Odsávání formy		1		Teplota	1
Způsob plnění formy	Spodní plnění	2			
	Vrchní plnění	2			
Způsob chlazení	Kontinuální	3			
	Časem	3			
Technologické parametry odlévání	Čas plnění formy	2			
	Doba tuhnutí	2			
Technologické parametry tavení	Zjemnění zrna	2			
	Modifikace	2			
Doba skladování jader	Teplota taveniny	3			
Doba skladování odlitků po odlití	Rozpouštědla	2			
		1			

- 1 Nevýznamný faktor - nebudeme se tímto faktorem zabývat
- 2 Významný faktor - bude kontrolován (měřen), ale zatím nebudeme ověřovat jeho vliv na problém
- 3 Potencionální faktor kořenové příčiny problému, který budeme ověřovat

Obr. 8 Ishikawa diagram pro problém s nalepeným ostřivem - příčiny ohodnoceny váhovým koeficientem

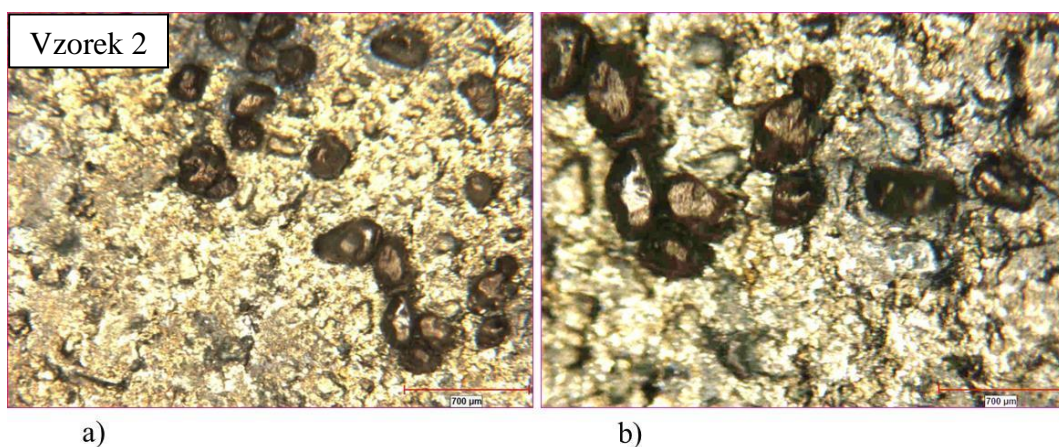
4.3.2 Laboratorní analýzy povrchu odlitků s nalepeným ostřivem

Jednou z hypotéz nalepeného ostřiva je jeho nalepení způsobené zbytky pojivového systému z jádra při jeho rozkladu. U jader tvořících sací a výfukové kanály se to dá předpokládat pro jejich nižší prodyšnost vzhledem na použité jemné ostřivo. Odvod vznikajících plynů při pyrolýzních efektech potom není dostatečný a dochází ke kondenzaci na povrchu odlitku. Vznikající kondenzát potom obsahuje zbytky uhlíku, který může způsobovat nalepení zrn ostřiva z povrchové vrstvy jádra. Pro ověření hypotézy byly vzorky s nalepeným ostřivem podrobeny externí laboratorní analýze.

Analýza na stereomikroskopu



Obr. 9 Vzorky z odlitku s nalepeným ostřivem v sacím a výfukovém kanále



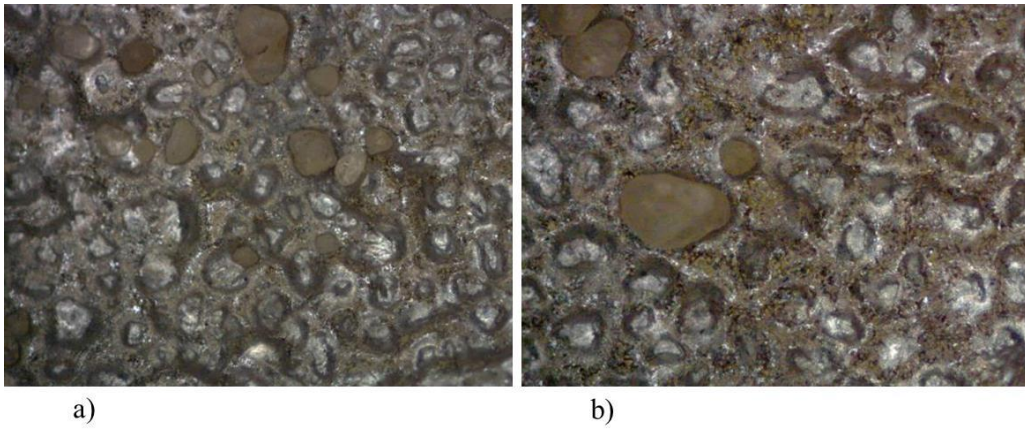
Obr. 10 Stereomikroskopická analýza povrchu odlitku s nalepeným ostřivem - vzorek 2
a-b) zvětšeno 40x

Na obrázku 10 jsou stereoskopické snímky vzorků s nalepeným ostřivem. Charakterem povrchu s nalepeným ostřivem je kromě žlutavého zbarvení viditelná nehomogenita v oblasti mezi zrny ostřiva. Mezi skvrnami, které jsou ve styku se zrny ostřiva, je viditelné nažloutlé zbarvení na povrchu odlitku, který je vtlačný do pórů povrchu jádra. V těchto prohlubeninách je viditelná nehomogenita povrchu s dutinami.

Povrch odlitku, který se dostane do styku se zrny ostřiva, ale zrna ostřiva nezůstanou přichyceny na jeho povrchu, je hladký, světlý a s prohlubinami. Daleko lépe je to viditelné na obrázku 12 z dalšího vzorku, který byl dodán na analýzu.

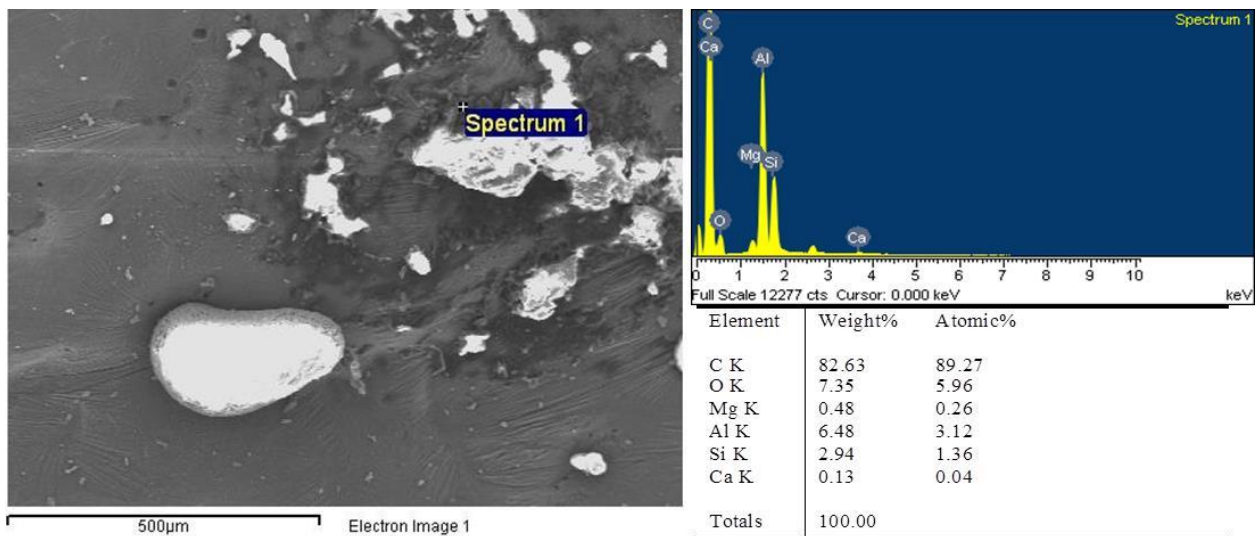


Obr. 11 Vzorek z odlitku s nalepeným ostřivem v sacím kanále

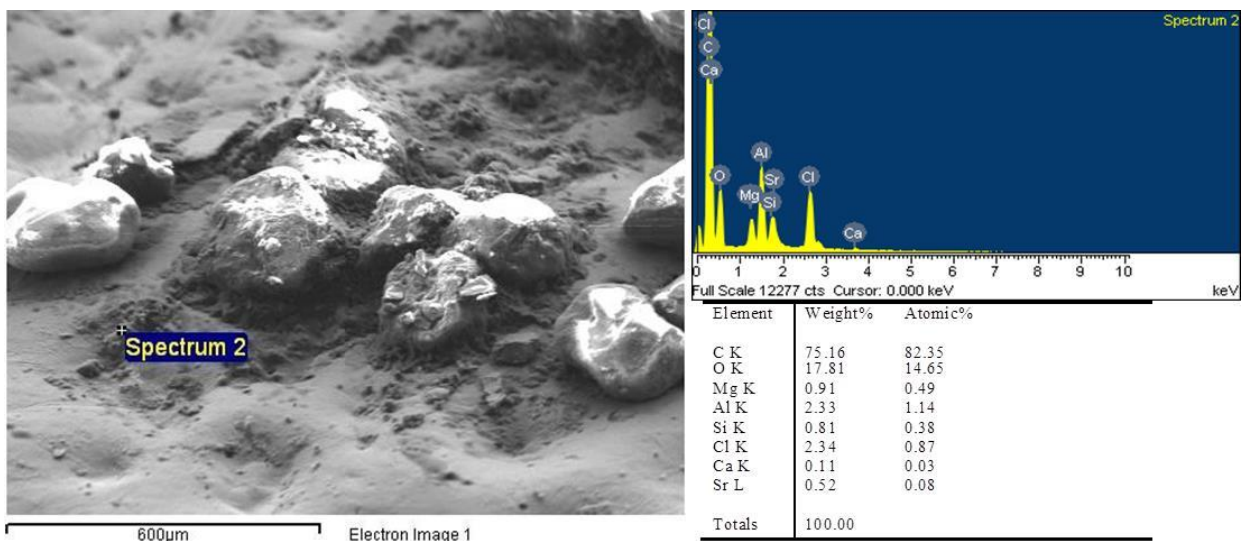


Obr. 12 Stereomikroskopická analýza povrchu odlitku s nalepeným ostřivem
a-b) zvětšeno 40x

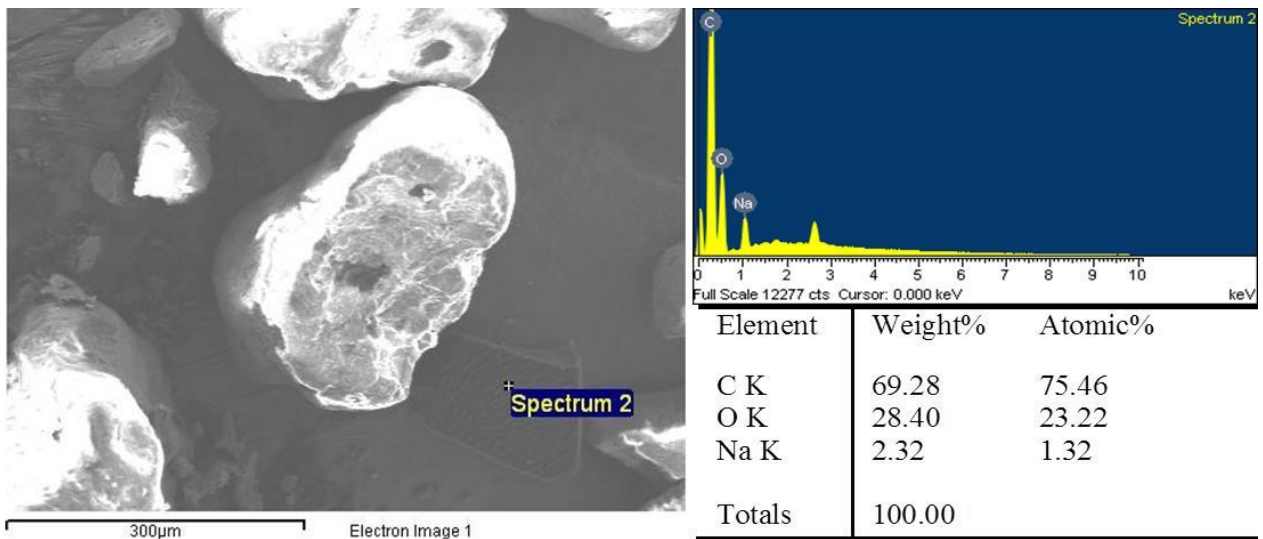
Analýza na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM)



a)



b)



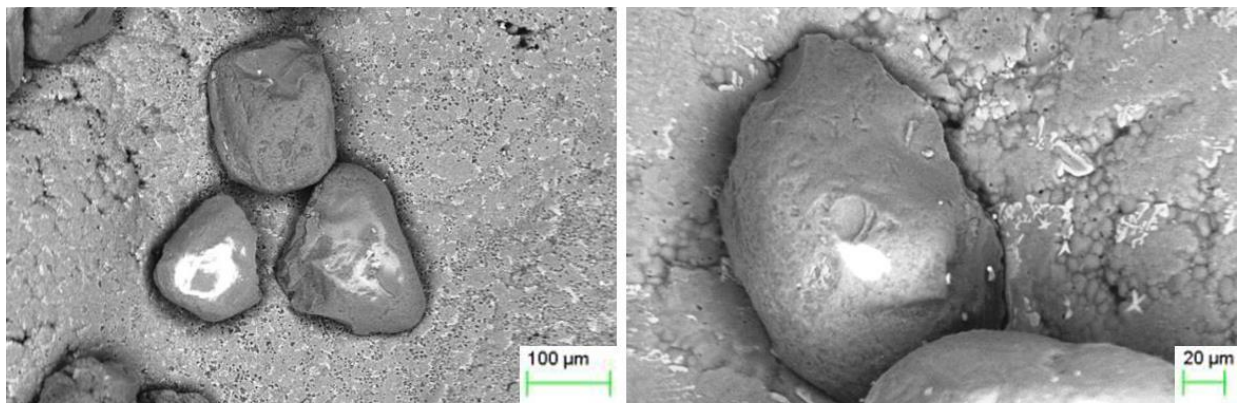
c)

Obr. 13 Analýza povrchu odlitku s nalepeným ostřivem elektronovým mikroskopem

a) Chemická analýza byla realizována v místě, kde jsou zbytky okolo zrn ostřiva. Vysoký obsah uhlíku dokazuje, že se jedná o zbytky z pojivového systému.

b) Chemická analýza byla realizována na zbytcích v blízkosti zrn ostřiva. Vysoký obsah uhlíku dokazuje, že se jedná o zbytky pojivového systému. Další prvky se běžně vyskytují v křemenném ostřivu a v hliníkových slitinách.

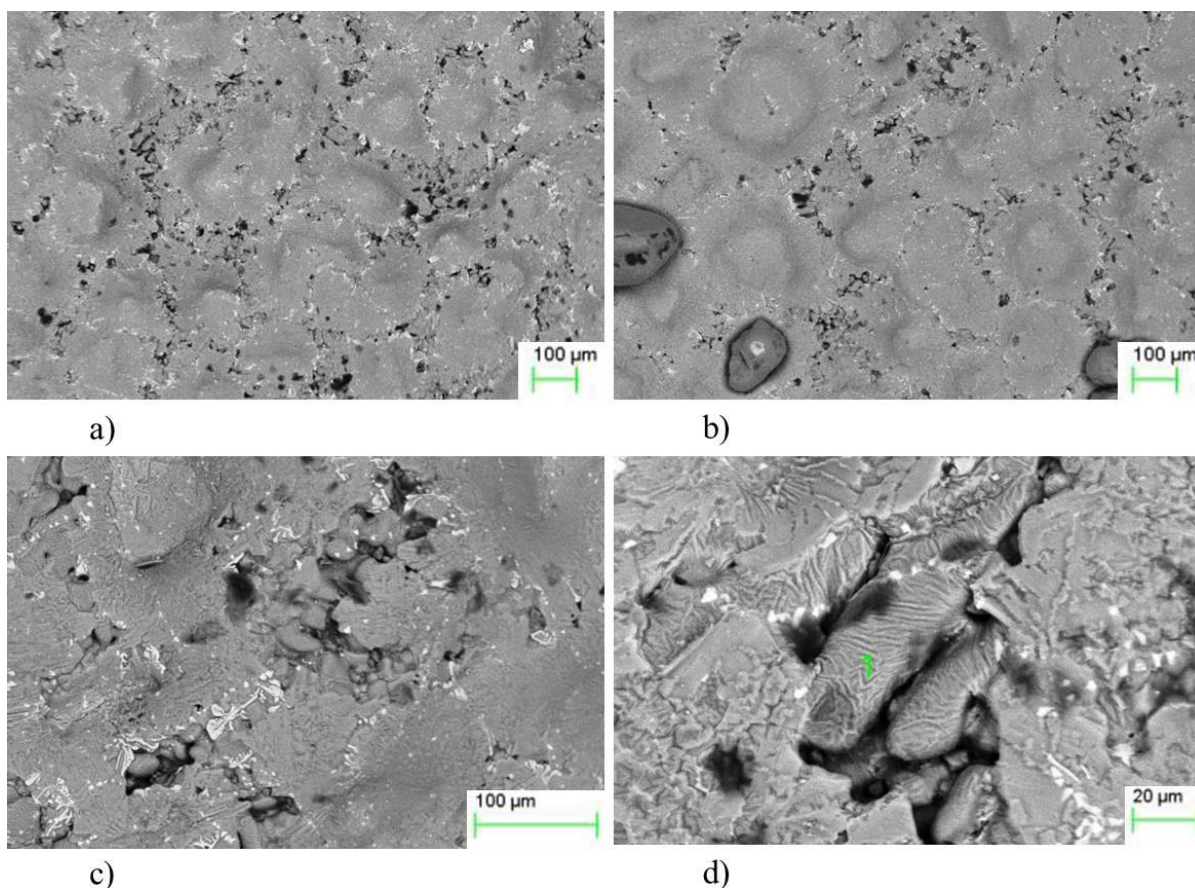
c) Chemická analýza byla realizována v místě po odlomeném zrně ostřiva. Vysoký obsah uhlíku dokazuje zbytky pojivového systému.



a)

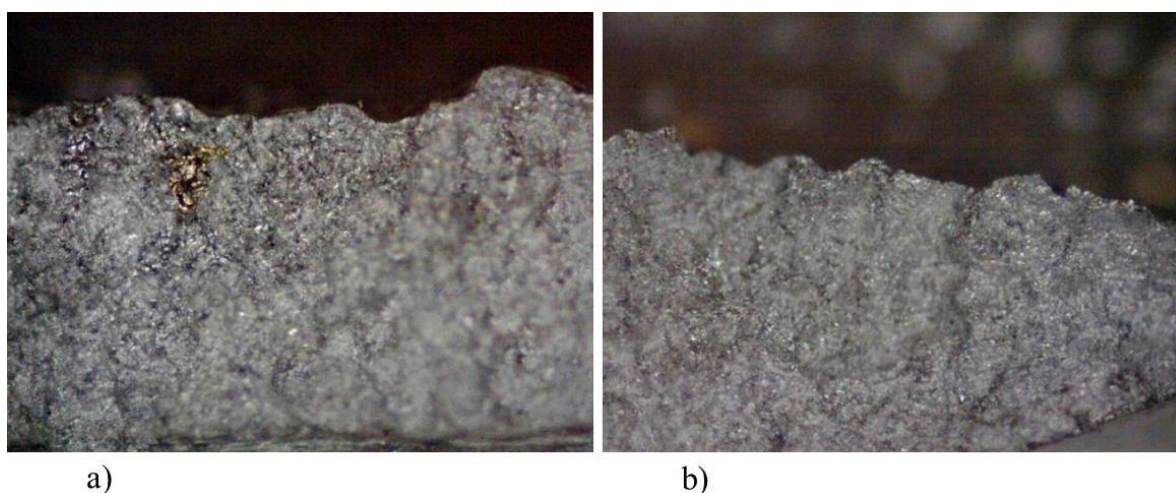
b)

Obr. 14 Povrchová nehomogenita na odlitku okolo nalepených zrn ostřiva
a) zvětšeno 100x, b) zvětšeno 250x

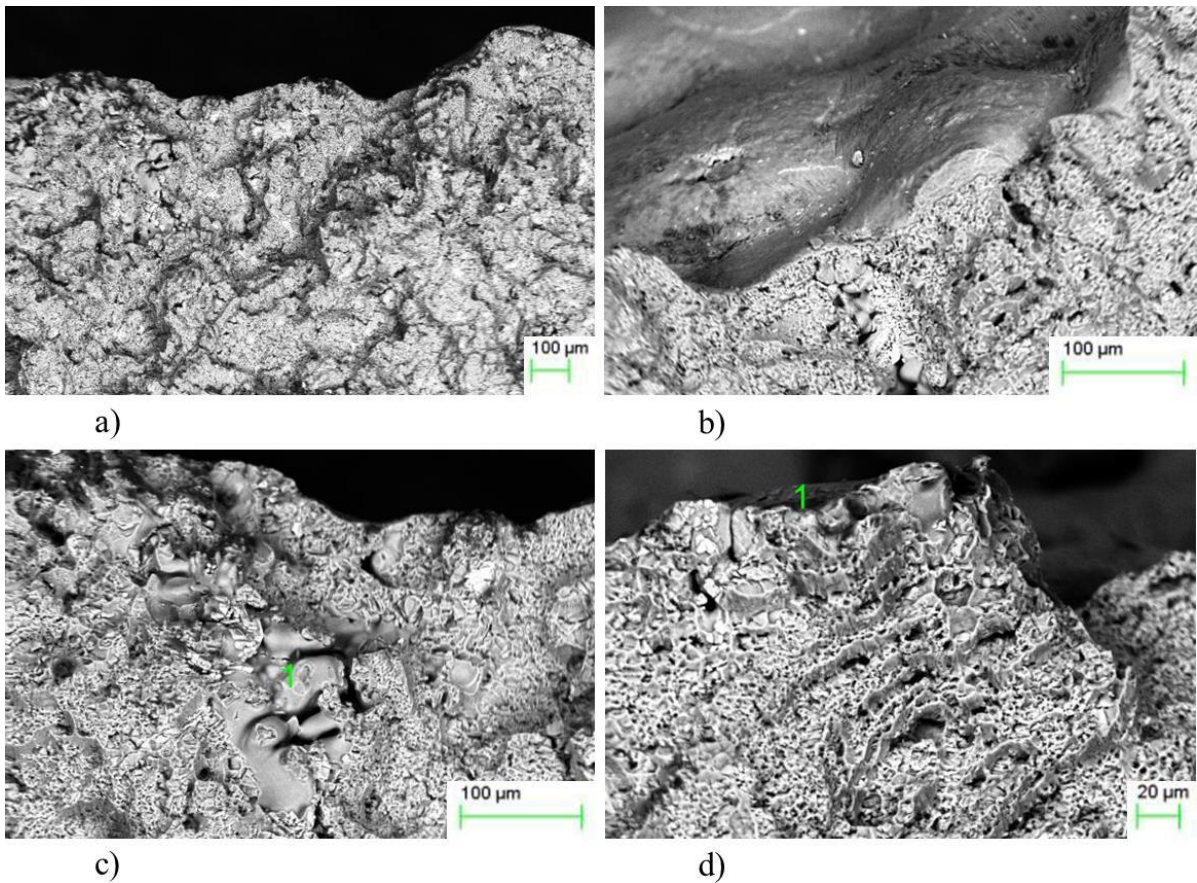


Obr. 15 Povrchová nehomogenita v části odlitku kde bylo nalepeno ostřívo
a-b) zvětšeno 50x, c) zvětšeno 150x, d) zvětšeno 400x

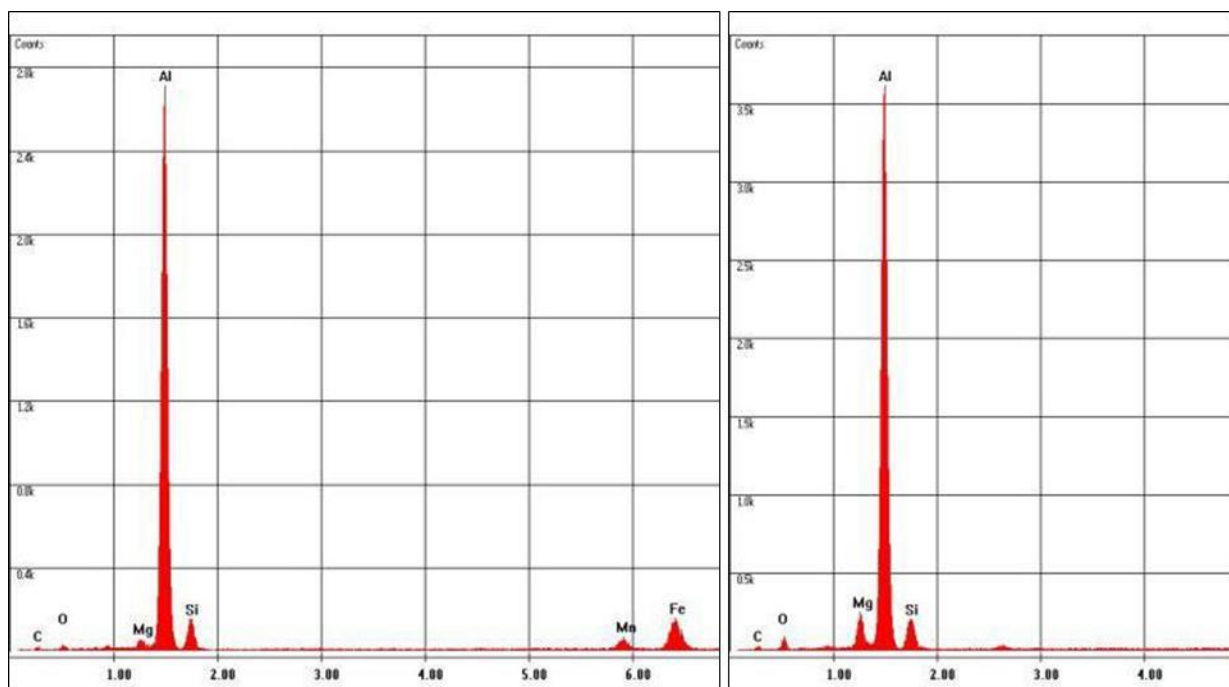
V části odlitku s nalepeným ostřivem byla vytvořena lomová plocha. Stereomikroskopické snímky a snímky z elektronového mikroskopu z lomové plochy ukazují, že pod rozhraním styk taveniny se zrna ostřiva se tvoří dutiny, kde je možné pozorovat pórovitost mezi dendrity. Ve větších dutinách je viditelné i nažloutlé zbarvení. Nažloutlé zbarvení mezi zrna ostřiva a vytvoření nehomogenního drsného povrchu mohla vytvořit reakce mezi taveninou a vznikajícím kondenzátem z plynu při rozkladu pojivového systému.



Obr. 16 Stereomikroskopický snímek lomové plochy povrchu odlitku s nalepeným ostřivem
a-b) zvětšeno 40x



Obr. 17 Snímky lomové plochy povrchu odlitku s nalepeným ostřivem z elektronového mikroskopu
 a) zvětšeno 50x, b) zvětšeno 150x, c) zvětšeno 150x, d) zvětšeno 250x



Obr. 18 Analýza v dutinách povrchu odlitku pod nalepenými zrny ostřiva

Shrnutí výsledků z provedených analýz

Analýzami na stereomikroskopu, elektronovém rastrovacím mikroskopu a energo disperzním spektrometru byly zjištěny následující poznatky:

- povrch odlitku v místě nalepeného ostříva vykazuje nažloutlé zbarvení, což je důsledek zbytků (kondenzátu) z rozkladu pojivového systému. Vysoký obsah uhlíku byl prokázán okolo nalepených zrn ostříva.
- oblast s nalepeným ostřivem vykazuje nehomogenitu povrchu odlitku.
- nehomogenita povrchu odlitku v místě nalepeného ostříva vykazuje pórovitost mezi dendrity primárně vyloučené fáze α . Dendrity primárně vyloučené fáze α mají značně zakulacený tvar, který se převážně vyskytuje u vad z titulu plynu (bubliny).
- na lomové ploše v místě nehomogenit povrchu byly zaznamenány zbytky uhlíku z rozkladu pojivového systému.

4.3.3 Hledání hlavních příčin problému / DOE

Potencionální faktory kořenové příčiny problému, které nám vyšly z Ishikawa diagramu budeme ověřovat v nadefinovaných testech. V tabulce 2 vidíme přehled potencionálních faktorů i s přiřazenými testy na ověření vlivu na nalepené ostřívo.

Potencionální faktor	Test na ověření vlivu potencionálního faktoru	
Množství pojiva	Upravený poměr dávkování CB pojivového systému (<i>série - díl 1 0,60 %- díl 2 0,60 %</i>)	Díl 1 0,60 % Díl 2 0,55 %
Mechanické vlastnosti jádra (pevnost)	Vyšší dávkování CB pojivového systému	Díl 1 0,70 % Díl 2 0,70 % Díl 1 0,80 % Díl 2 0,80 %
Tvorba plynů a kondenzátu při lití	Nový CB pojivový systém	Nižší tvorba plynu a kondenzátu
Teplota taveniny	Nižší teplota taveniny (<i>série 725 °C</i>)	700 °C
	Plánování experimentu - DOE	690 °C
Kontakt kanál. jádra s kalotami	Porovnání odlitků: kanálové jádra v kontaktu s kalotami a kanálové jádra bez kontaktu s kalotami - zalité kanálové otvory na spalovací straně	
	Plánování experimentu - DOE	
Odvzdušnění (sítka v kokile)	Plánování experimentu - DOE	
Chlazení kokily (kalot)	Plánování experimentu - DOE	

Tab. 2 Potencionální faktory s testy na ověření jejich vlivu na nalepené ostřívo

Plánování experimentu (DOE)

Pro hledání hlavních příčin problému s nalepeným ostřivem bylo také využito plánování experimentu (DOE, Design of Experiment) v programu Minitab 17. Experiment má 4 faktory ve 2 úrovních.

Faktor	Úroveň 1	Úroveň 2
Teplota taveniny (°C)	690	725
Kontakt kanál. jádra s kalotami	Zabroušená jádra	Nezabroušená jádra
Sítka v kokile	Ucpané sítka	Čisté sítka
Chlazení kalot (°C)	100	160

Tab. 3 Plánování experimentu - 4 faktory ve 2 úrovních

Fractional Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4; 8 Resolution: IV
 Runs: 40 Replicates: 5 Fraction: 1/2
 Blocks: 1 Center pts (total): 0

Design Generators: D = ABC

Alias Structure

I + ABCD

A + BCD

B + ACD

C + ABD

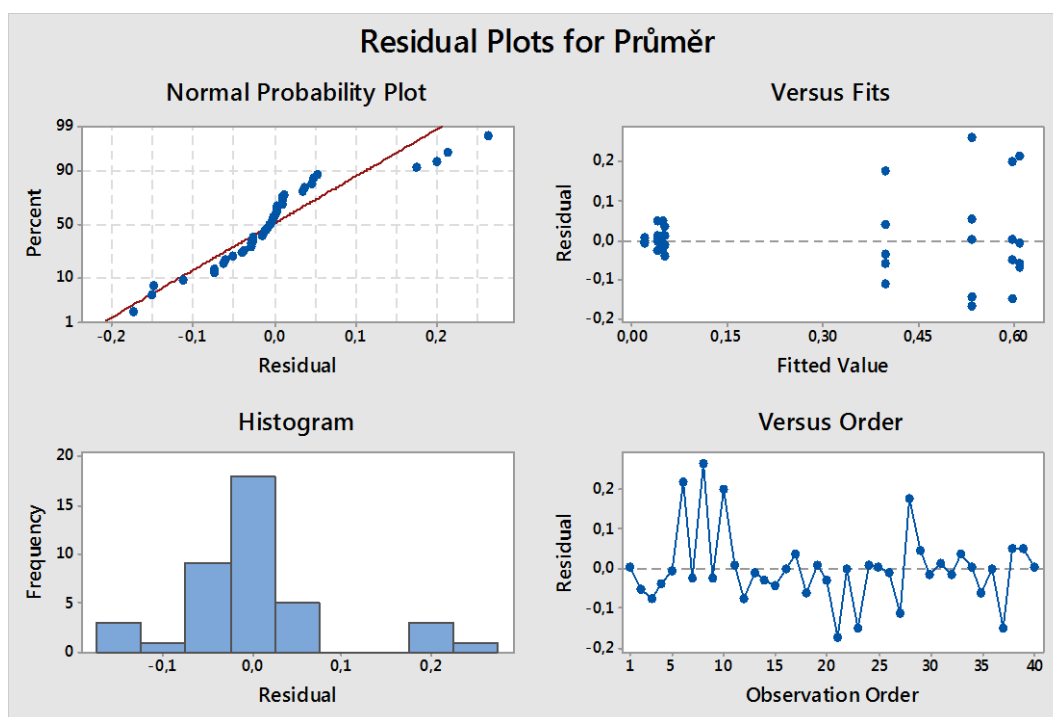
D + ABC

AB + CD

AC + BD

AD + BC

Obr. 19 Parametry experimentu v programu Minitab 17



Obr. 20 Reziduální diagramy (Minitab 17)

Reziduální diagram je graf, který se používá na prověření dobré shody v regresi a ANOVA. Prověřování reziduálních diagramů pomáhá rozhodnout, či jsou splněné předpoklady nejmenších čtverců. Jak jsou tyto předpoklady splněné, potom regrese nejmenších čtverců vyprodukuje nakreslené odhady koeficientu s minimální odchylkou [39].

Histogram reziduí

Používá se na zjištění, či jsou údaje odchýlené anebo či v údajích existují body, které jsou vzdálené od jiných pozorování [39].

Graf normální pravděpodobnosti reziduí

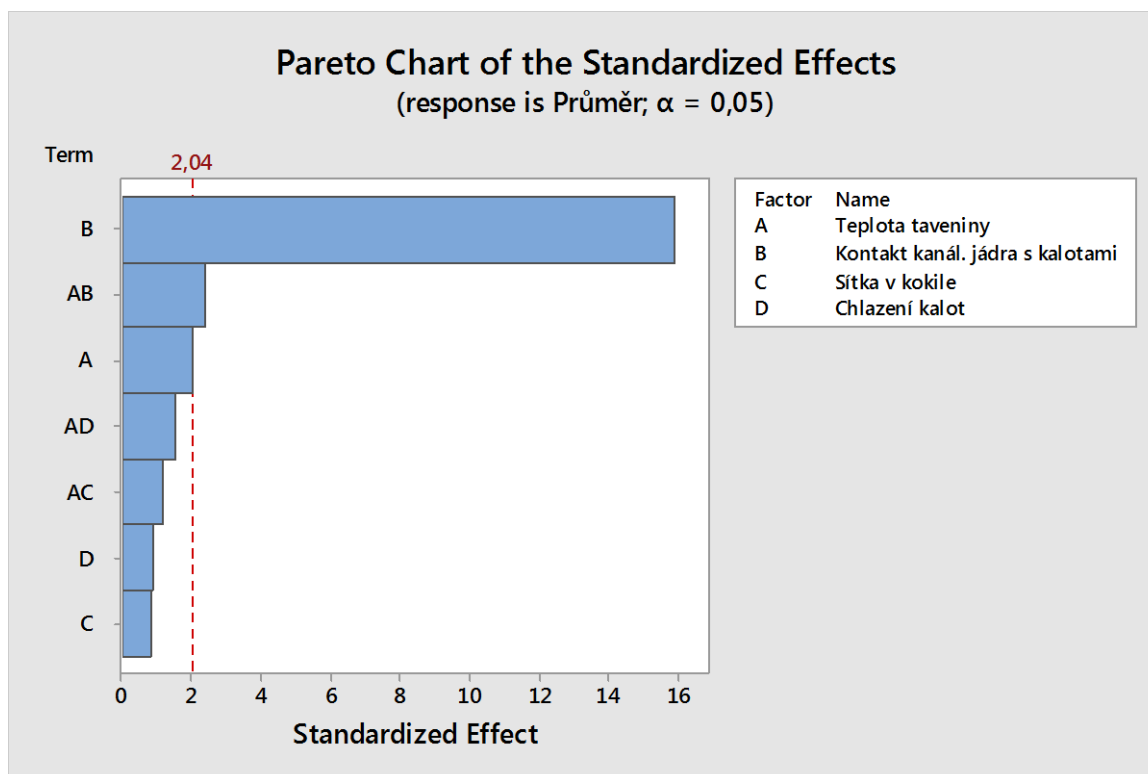
Používá se na ověření předpokladu, že rezidua jsou normálně distribuované [39].

Graf reziduí vs. shody

Používá se na ověření předpokladu, že rezidua mají konstantní odchylku [39].

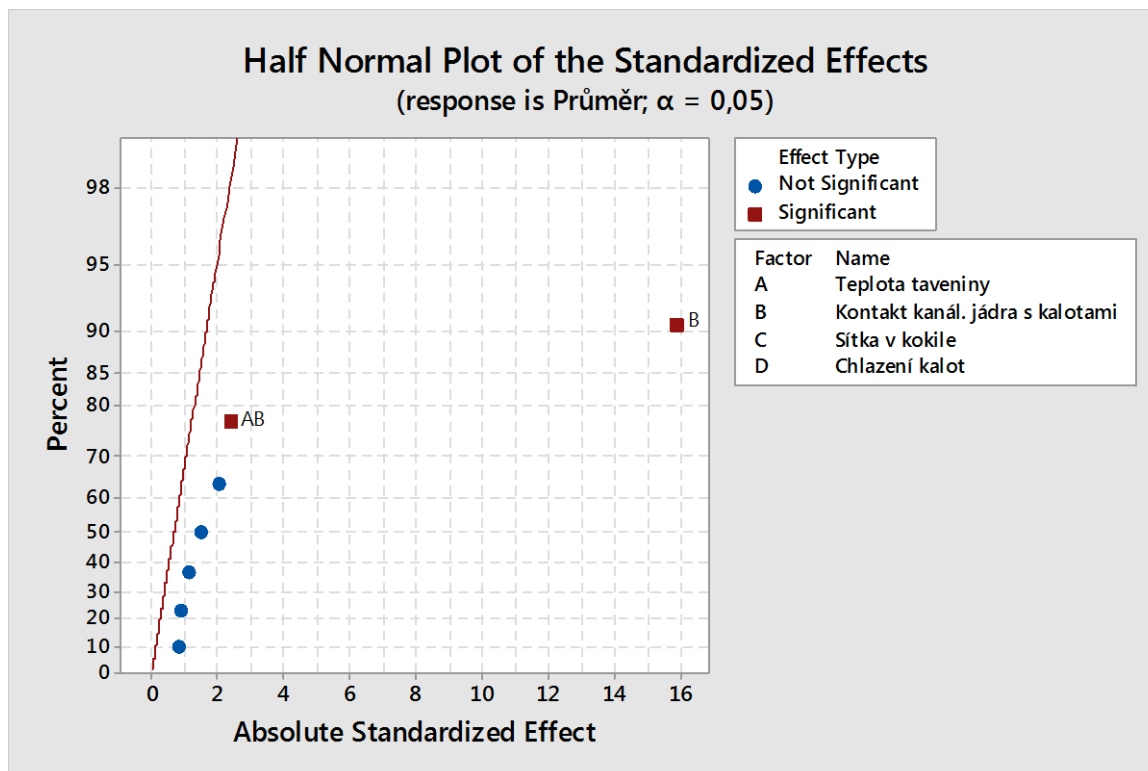
Graf reziduí vs. pořadí údajů

Používá se na ověření předpokladu, že rezidua jsou navzájem nepropojené (nejsou ve vzájemném vztahu) [39].



Obr. 21 Sloupcový graf účinků (Minitab 17)

Sloupcový graf účinků určuje rozsah a důležitost účinku. Graf znázorňuje absolutní hodnotu účinků a zakresluje referenční čáru v grafu. Každý účinek, který se nachází za touto referenční čárou je potencionálně důležitý [39].



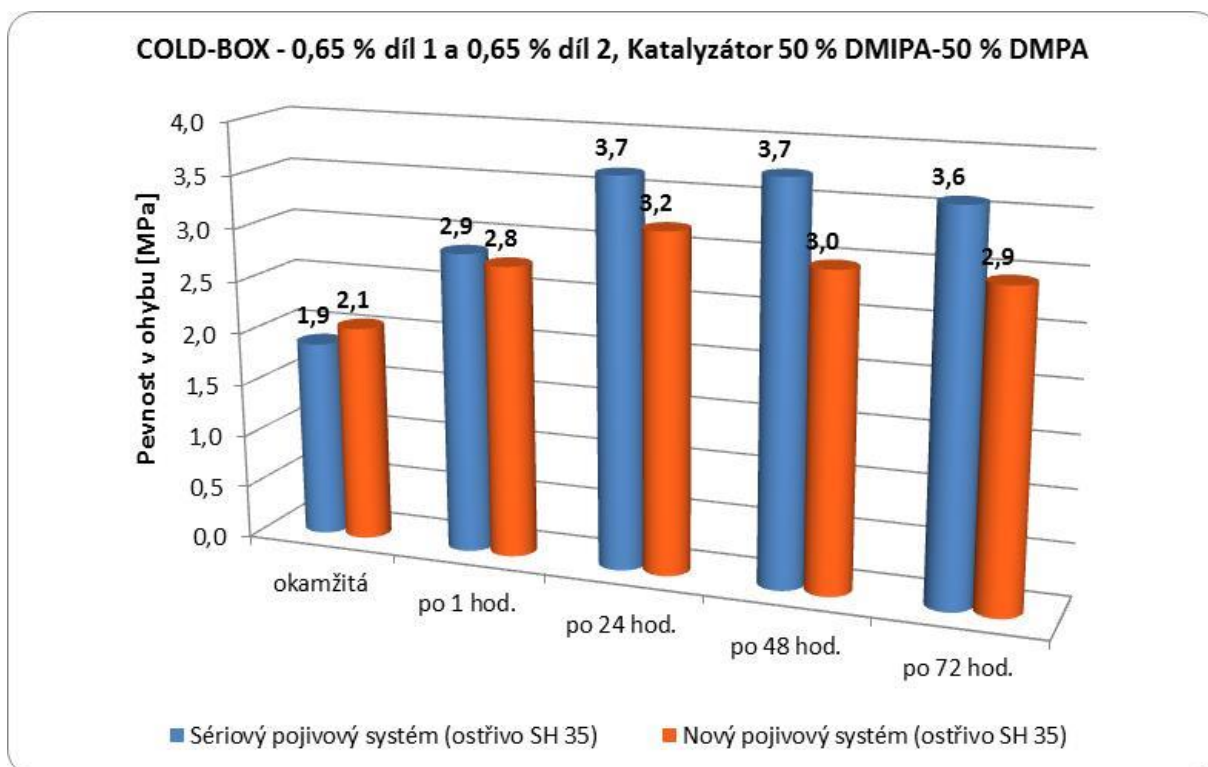
Obr. 22 Graf polo-normální pravděpodobnosti účinků (Minitab 17)

Graf polo-normální pravděpodobnosti účinků slouží na porovnání rozsahu a statistické významnosti hlavních a interakčních účinků z 2-úrovňového faktoriálního dizajnu. Čára indikuje, kde se očekává, že se budou nacházet body, kdyby účinky byly nulové. Významné účinky jsou označené a dostávají se na levou nebo pravou stranu grafu [39].

Graf polo-normální pravděpodobnosti znázorňuje absolutní hodnotu všech účinků, pozitivních i negativních. Namísto toho, aby se negativní účinky nacházeli na levé straně a pozitivní na pravé, jsou všechny významné účinky na pravé straně, což umožňuje porovnat jejich relativní rozsahy [39]. V našem případě, protože faktor B je bod nejvíc vzdálený napravo, je to nejvýznamnější účinek.

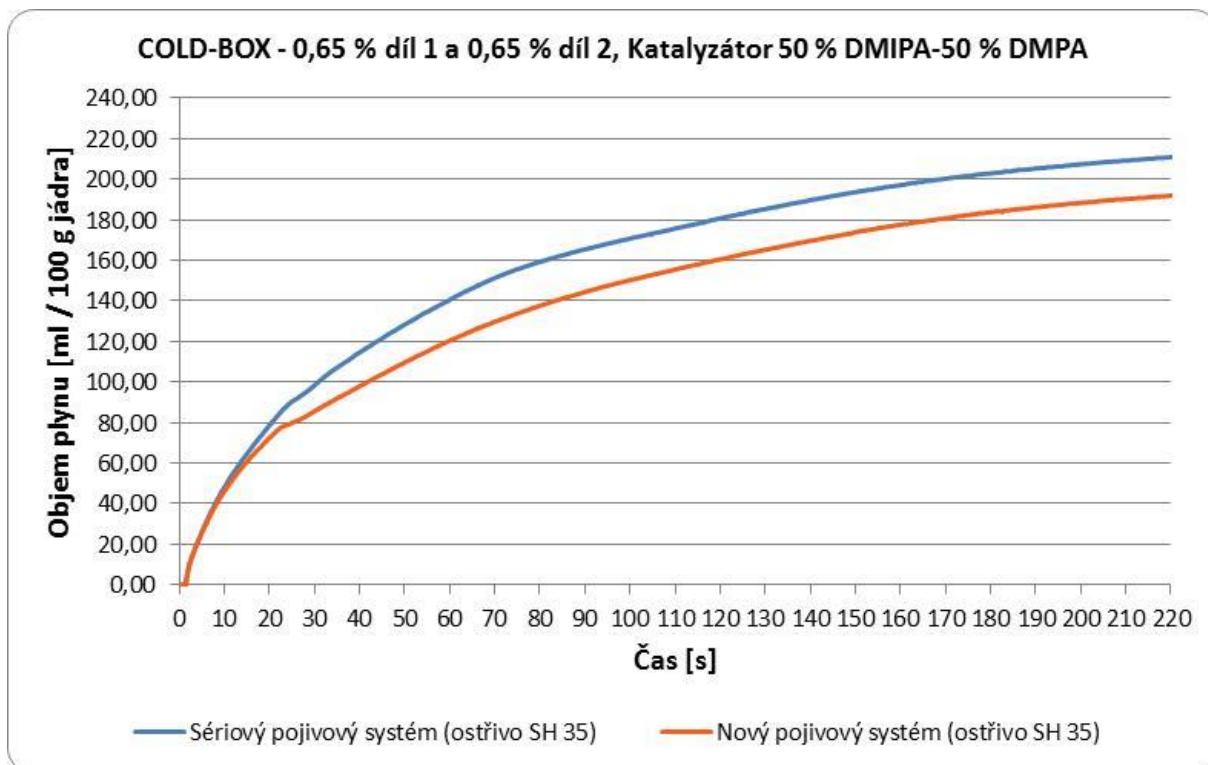
Testování nového CB pojivového systému s nižší tvorbou plynů a kondenzátu

K ověření vlivu plynů a kondenzátu z CB pojivového systému na nalepené ostřívo byl vybrán pojivový systém, který má v porovnání se sériovým systémem nižší vývin plynů a tvorbu kondenzátu. Při laboratorních testech bylo nutné také ověřit, jestli má nově zkoušený pojivový systém dostatečné mechanické vlastnosti.

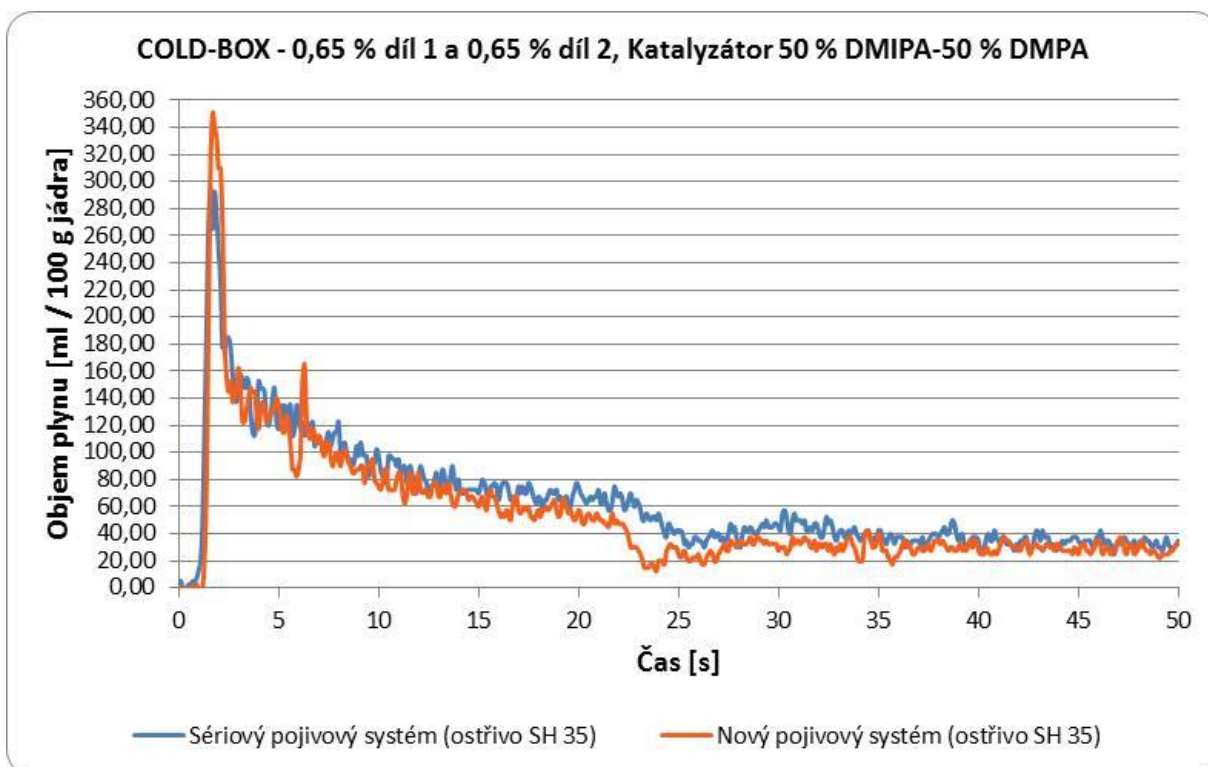


Obr. 23 Grafický vývoj pevnosti v ohybu u sériového a nového CB pojivového systému s ostřivem SH 35

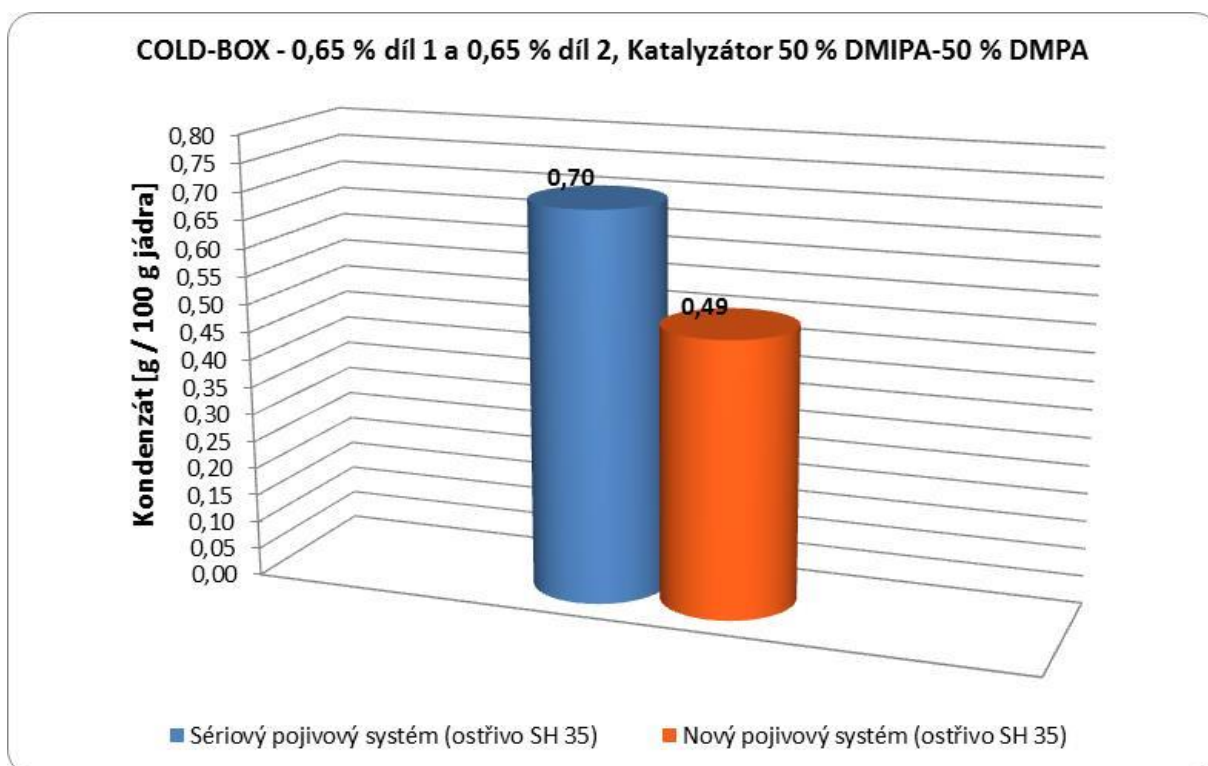
COGAS analýza - vývin plynů a tvorba kondenzátu



Obr. 24 Grafické porovnání množství vývinu plynu u sériového a nového CB pojivového systému s ostřivem SH 35



Obr. 25 Grafické porovnání množství vývinu plynu v čase u sériového a nového CB pojivového systému s ostřivem SH 35 (do 50 s)



Obr. 26 Grafické porovnání množství kondenzátu u sériového a nového CB pojivového systému s ostřivem SH 35

Nový pojivový systém s nižší tvorbou plynů a kondenzátu nepřinesl zásadní zlepšení ve výskytu nalepeného ostřiva v sacích a výfukových kanálech odlitku naftové hlavy válců. Můžeme

říct, že pojivový systém Cold-Box, ať už vezmeme do úvahy množství dávkování anebo pojivový systém s nižší tvorbou plynů a kondenzátu, nemá sám přímý vliv (není jedinou hlavní kořenovou příčinou problému) na nalepené ostřívo. Laboratorní analýzy povrchu odlitku s nalepeným ostřivem ukazují určité souvislosti mezi pojivovým systémem Cold-Box a nalepeným ostřivem.

V tabulce 4 můžeme vidět shrnutí testů na ověření vlivu potenciačního faktoru s výsledkem na nalepené ostřívo.

Potencionální faktor	Test na ověření vlivu potenciačního faktoru		Výsledek
Množství pojiva	Upravený poměr dávkování CB pojivového systému (<i>série - díl 1 0,60 %- díl 2 0,60 %</i>)	Díl 1 0,60 % Díl 2 0,55 %	NOK
Mechanické vlastnosti jádra (pevnost)	Vyšší dávkování CB pojivového systému	Díl 1 0,70 % Díl 2 0,70 % Díl 1 0,80 % Díl 2 0,80 %	NOK
Tvorba plynů a kondenzátu při lití	Nový CB pojivový systém	Nižší tvorba plynu a kondenzátu	NOK
Teplota taveniny	Nižší teplota taveniny (<i>série 725 °C</i>)	700 °C	NOK
	Plánování experimentu - DOE	690 °C	
Kontakt kanál. jádra s kalotami	Porovnání odlitků: kanálové jádra v kontaktu s kalotami a kanálové jádra bez kontaktu s kalotami - zalité kanálové otvory na spalovací straně		OK
	Plánování experimentu - DOE		
Odvzdušnění (sítka v kokile)	Plánování experimentu - DOE		NOK
Chlazení kokily (kalot)	Plánování experimentu - DOE		

Tab. 4 Vyhodnocení testů na ověření vlivu potenciačních faktorů na nalepené ostřívo

Na základě provedených testů a DOE na zjištění hlavní příčiny problému s nalepeným ostřivem se ukázalo, že k odstranění nalepeného ostřiva dojde pouze v případě, kdy nejsou kanálové jádra v přímém kontaktu s kalotami. Zde vznikla hypotéza, zda nedojde k odstranění nalepeného ostřiva při efektivnějším odjadrování, když máme kanály ze strany spalovacího prostoru uzavřeny. Efektivnější odjadrování spočívá v tom, že ostřívo během vibrací nevypadne z kanálů tak rychle, přes obě otevřené strany - spalovací strana a příruba. Během vypadávání pouze přes otevřenou stranu na přírubě odlitku čistí zbytky jádra celý kanál od nalepeného ostřiva.

Byl proveden test, kdy se u 10 odlitků odlitých s otevřenými kanály na spalovací straně navařil přes tuto stranu hliníkový plech, tak aby během odjadrování byly kanály uzavřeny.

Při odjadrování na lince Fettling cell se ukázalo, že vibrace pro odjadrování začínají při poloze odlitku spalovací stranou dolů. Při uzavřených kanálech na spalovací straně to neumožnilo okamžité vypadnutí zbytků jádra, ale došlo k tomu až při natáčení odlitku spojených s vibracemi, což umožnilo očištění kanálů od nalepeného ostřiva. Test na 10 odlitcích s uzavřenými kanály na spalovací straně hypotézu potvrdil, takže vliv kontaktu kanálových jader s kalotami na nalepené ostřivo můžeme vyloučit.

Další hypotézou je, že se nejedná o nalepené ostřivo ale o lehkou mechanickou penetraci, která v kanálech odlitku vzniká při plnění formy za současné rotace Rotacastu, což může způsobovat mírné mechanické vtlačení taveniny do pórů mezi zrny ostřiva, kde potom vznikne i rychlejší kontakt s pojivovým systémem (rychlejší degradace pojivového systému) a vznikají reakce, které byly popsány při laboratorních analýzách. Ověřit tuto hypotézu není bohužel technologicky možné, protože kokily jsou postaveny a napasovány pouze na licí zařízení Rotacast.

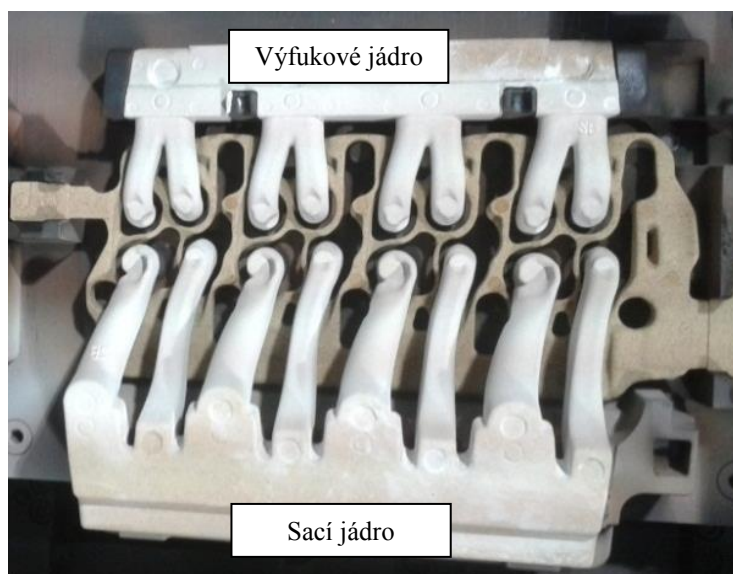
V Ishikawa diagramu je vliv licích linek vzpomenut a technologie Rotacast je označena jako významný faktor, je ovšem už velmi těžké po zavedení technologie ji měnit. Při volbě nové technologie je třeba brát do úvahy to, že u technologií gravitačního lití, při kterých dojde následně i k pohybu kokily (i k rotačnímu) je tavenina zatlačena na povrch jádra v odlitku, což může přispět k povrchovým vadám na odlitku.

4.4 ZLEPŠOVÁNÍ - IMPLEMENTACE ŘEŠENÍ

I přes všechna uvedená zjištění během testů a analýz se nepodařilo přijít na hlavní příčinu problému, kterou by se podařilo eliminovat anebo úplně odstranit nalepené ostřivo v sacích a výfukových kanálech. Abychom přece jenom zamezili vzniku nalepeného ostřiva, bylo nutné zavést při výrobě jader opatření, které při odlévání nepřipustí vznik této vady. Bylo rozhodnuto, že se vyzkouší snížit smáčivost povrchu jádra vhodným nátěrem.

4.4.1 Aktivity na odstranění problému s nalepeným ostřivem

Pro eliminaci nalepeného ostřiva byl odzkoušen mastek ve formě prášku (Talkum), který se běžně používá na formy pro lepší povrch odlitku. Na zkoušku bylo mastkem opatřeno 10 sad kanálových jader. Na povrch jádra se mastek nanášel štětcem. Po odlití všech kanálových jader byl povrch odlitku hladký bez nalepeného ostřiva. Jako problém se ale ukázalo nanášení prášku, které bylo při naší zkoušce časově náročné a při zavedení do série by si vyžadovalo investici do fluidizační vany. Dále by se potom už nemohla vyfukovat kokila po založení jader, což by mohlo vést k nárůstu zadrobení na odlitcích.



Obr. 27 Kanálové jádra opatřeny mastkem pro dosažení povrchu kanálů bez nalepeného ostřiva

Jako lepší řešení byl na další test navržen nátěr na formy a jádra pro odlévání hliníkových slitin. Jedná se o tepelně pružný vodní nátěr na bázi alumino-silikátu s podíly keramiky. Konstrukce a termické chování žáruvzdorné pevné látky nátěru, umožňuje dosáhnout zvlášť hladkých povrchů odlitků. Nátěr obsahuje extrémně nízký obsah pojiva, ale má penetrační inhibitor, který zabraňuje pronikání vody do povrchu jader a tím je dosaženo rychlejšího vyschnutí nátěru v relativně krátkém čase.

Parametry nátěru:

Barva:	světle šedá + 30 % H ₂ O
Obsah pevné látky:	48–50 %
Hustota (20 °C):	1,42–1,50 g/cm ³
Viskozita (20 °C):	3–5 Pa·s
Výtoková rychlost:	12–14 s
(Fordův pohárek - Ø trysky 4 mm)	

Na zkoušku bylo nastříkáno 60 sad kanálových jader. Nátěr byl použitý v originálním stavu doručeném od výrobce. Po rozmíchání nátěru byla výtoková rychlost 13,5 s (měřeno fordovým pohárkem o Ø trysky 4 mm), což bylo pro stříkání jader vyhovující. Jádra byla ponechána do druhého dne pro dobré vyschnutí a potom odlita. Po odlití byl povrch odlitku hladký a bez nalepeného ostřiva. Vzhledem na to, že slévárna disponuje pracovištěm na stříkání jader, nebylo nutné žádných dalších investic do zařízení a vybavení prostor.

Pro zavedení nátěru do výroby bylo nutné udělat kalkulaci na stříkání jader a porovnání zda se vyplatí při zvýšení produktivity na výrobní kontrole. Cena nátěru je v průměru 27 Kč/kg a na jeden regál (60 sad jader) se spotřebuje přibližně 1 kg nátěru. Nátěr se nakupuje v 50 kg soudcích, takže z jednoho soudku se připraví cca. 3000 sad kanálových jader. Potřeba člověka na stříkání jader nebyla nutná. Stříkání jader bylo zahrnuto do pracovních povinností pracovníka na jaderně,

kteřý se stará o pískové hospodářství. Stříkání provádí pracovník hned po vyrobení prvních regálů a 1 regál trvá nastříkat cca. 20 min., takže zde není nějak velká časová náročnost.

Když vezmeme do úvahy, že zaměstnanci mají 8 hodinové směny, tak potom bude výpočet počtu zpracování odlitků za směnu následovný:

8 hod x 60 min = 480 min pracovní doba – 30 min přestávka = **450 min pracovní čas**

Odlitek s **nalepeným ostřivem** v sacích a výfukových kanálech: **450 min / 2,3 min práce na 1 odlitku = 196 odlitků se zpracuje za 1 směnu**

Odlitek **bez nalepeného ostřiva** v sacích výfukových kanálech (**nátěr**): **450 min / 1,2 min práce na 1 odlitku = 375 odlitků se zpracuje za 1 směnu**

Když tedy vezmeme do úvahy výše uvedená čísla, tak můžeme konstatovat, že na jaderně došlo ke zvýšení ceny 1 jádra o cca. 0,23 Kč. Na produktivitě nedošlo prakticky k žádným ztrátám. Co je ovšem velmi důležité, zrychlil se čas zpracování odlitku na výrobní kontrole skoro o dvojnásobek. Za jednu směnu zpracujeme o 179 odlitků víc, čímž se dosáhne výrazného zvýšení produktivity a tím i úspor.

4.5 ŘÍZENÍ - UDRŽOVÁNÍ ZLEPŠENÉHO STAVU

Aby byla zajištěna stabilita pozitivních výsledků s nalepeným ostřivem, bylo nutné zapracovat všechny provedené změny do standardů. Parametry nátěru jsou stanoveny výrobcem a vzhledem k tomu, že byly při testech vyhovující, tak je nebylo třeba měnit. Byl vytvořen pracovní předpis pro stříkání sacích a výfukových jader, kde bylo uvedeno rozmezí výtokové rychlosti podle doporučení výrobce 12–14 s (parametr, který se dá velmi rychle změřit ve výrobě fordovým pohárkem o Ø trysky 4 mm). Dále pracovní předpis obsahuje přípravu nátěru (rozmíchání, případné naředění nátěru, kdyby byla výtoková rychlost mimo stanovené rozmezí), přípravu jader před stříkáním (ofoukání regálů s jádry od zbytkového písku), ukládání jader do regálu a minimální dobu schnutí nátěru, která byla stanovena na 4 hodiny.

Z vytvořeného pracovního předpisu byly potom proškoleni všichni odpovědní pracovníci za výrobu a přípravu těchto jader.

5 ZÁVĚR

Hlavním cílem dizertační práce bylo teoreticky zdůvodnit a popsat problém s nalepeným ostřivem v sacích a výfukových kanálech naftové hlavy válců. Hned po prvních testech se ukázalo, že se jedná o velmi náročný úkol, který si bude vyžadovat řadu testů a analýz pro zjištění hlavní příčiny problému. Problém byl řešen v týmu metodikou DMAIC a byly využity kvalitativní nástroje na zjištění hlavní příčiny problému - Ishikawa diagram a DOE.

V Ishikawa diagramu bylo popsáno několik potencionálních faktorů kořenové příčiny problému, žádný se ale nepodařilo ověřit, že má přímý vliv na nalepené ostřívo. Ze všech uvedených byl nejbližší kontakt kanálových jader s kalotami, který se ukázal jako významný i po provedení DOE. Zde ovšem vznikla hypotéza o efektivnějším odjadrování při uzavřených kanálech ze spalovací strany odlitku naftové hlavy válců. Hypotéza se provedenými testy potvrdila a faktor ztratil na důležitosti.

Detailní laboratorní analýzy prokázaly přítomnost zbytků z pojivového systému, které mají vliv na nalepení ostříva na povrchu odlitku. Zbytky z pojivového systému se vždy vyskytují v okolí nalepeného ostříva. Detailnějšími analýzami byla zjištěna i určitá nehomogenita povrchu odlitku v místech s nalepeným ostřivem. Na lomové ploše pod rozhraním styk taveniny s povrchem jádra se v místech nehomogenit ve struktuře odlitku našly zbytky z pojivového systému. Můžeme konstatovat, že plyn vznikající při rozkladu pojivového systému z jádra má svůj podíl na vzniku nalepeného ostříva v sacích a výfukových kanálech. Předpokládáme tento mechanismus vzniku vlivu na nalepené ostřívo: plyn z jádra vstupuje do reakce s taveninou, vnikne do povrchové vrstvy odlitku a z prostoru mezi dendrity primárně vyloučené fáze α tlačí taveninu eutektického složení směrem k pórům mezi zrny ostříva, která potom zrna na povrchu odlitku zafixuje. Nemůžeme zde ovšem dokázat 100% vliv jenom tohoto faktoru.

Po všech testech a analýzách, které se na zjištění hlavní příčiny provedly, jsme dospěli k názoru, že se jedná o kombinaci několika faktorů. Nepodařilo se nám jednoznačně prokázat vliv jednoho faktoru. K faktorům, které mají vliv na nalepené ostřívo, patří zcela určitě teplota taveniny, vývin plynů z jádra a také způsob technologie gravitačního lití. Hypotézu o vzniku lehké mechanické penetrace, která právě vychází ze způsobu technologie gravitačního lití, musíme brát také do úvahy. Vliv pohybu kokily během samotného lití (případ technologie Rotacast) nebo těsně po naplnění kokily je možné dokázat v porovnání s produkty na flexi linkách (kokila se nepohybuje), kde k problému s nalepeným ostřivem nedochází.

Tím, že jsme tedy jednoznačně nezjistili hlavní příčinu problému nalepeného ostříva, nemohli jsme ji eliminovat a tím problém odstranit, muselo být při výrobě kanálových jader nasazeno nápravné opatření spočívající v stříkání jader tepelně pružným vodním nátěrem na bázi alumino-silikátu s podíly keramiky. Tento nátěr zaručuje po odlití jader povrch kanálů odlitku hladký a bez nalepeného ostříva. I když se jedná na jaderně o vícepráci, kalkulace ukázala, že se vyplatí, protože získáme na výrobní kontrole větší produktivitu, což nám přinese větší úspory.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. JELÍNEK, Petr. Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí (Ostřiva). Ostrava : vlastní náklad, 2000. ISBN 80-238-6118-2.
2. JELÍNEK, Petr. Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí (Chemie slévárenských pojiv). Ostrava : vlastní náklad, 2004. ISBN 80-239-2188-6.
3. RUSÍN, Karel. Slévárenské formovací materiály. 1. vydání Praha : SNTL, 1991. ISBN 80-03-00278-8.
4. PETRŽELA, Lev. Slévárenské formovací látky. 1. vydání Praha : SNTL, 1955. 636 s.
5. NOVÁ, Iva. Tepelné procesy ve slévárenských formách. 1. vydání, Technická univerzita Liberec, 2003. ISBN 80-7083-662-8.
6. VASKOVÁ, Iveta. Návod y na cvičenia z predmetu Formovacie zmesi. 1. vydání Košice : elfa, s.r.o., 2009. ISBN 978-80-553-0141-9.
7. SANDERS A. Clyde. Foundry Sand Practice; Malleable, Steel, Gray Iron, Non-ferrous. 6. vydání, Shokie, III. American Colloid Company, 1973. 790 s.
8. HORÁČEK, Milan. Slévárenská technologie I. 2. vydání, Vysoké učení technické v Brně, 1990. ISBN 80-214-0217-2.
9. HLAVSA, Petr. Optimalizace vlastností formovací směsi vodního jádra hlav válců. Brno, 2008. 60 s., 7 s. příloh. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně na Ústavu strojírenské technologie, Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Karel Rusín, DrSc.
10. BEŇO, Jan; JELÍNEK, Petr; MIKŠOVSKÝ, František. Lze hodnotit jakost křemenných písků i jinými, netradičními postupy? Slévárenství, 2013, roč. LXI, č. 11-12, s. 419-421. ISSN 0037-6825.
11. ÁBELOVÁ, Martina; MAGLAY, Juraj. Viate piesky Záhorskej nížiny. Enviromagazín, 2008, roč. 13, č. 5, s. 26-27, ISSN 1335-1877.
12. HLAVSA, Petr; GRZINČIČ, Marko. Přínosy čištění ostřiva Šajdíkovce Humence hydraulickým otíráním (atritace) pro výrobce náročných odlitků z Al slitin. Slévárenství, 2011, roč. LIX, č. 9-10, s. 315-317. ISSN 0037-6825.
13. GOSCH, Rolf; STIKA, Peter. Das ROTACAST®-Gießverfahren - millionenfach für Aluminiumzylinderköpfe in der Serie bewährt. Giesserei-Rundschau, 2005, roč. 52, č. 7-8, s. 170-173. ISSN 0016-979X.
14. VACELET, H. Pierre; TEGEL, Michal. Nový cold box systém s nízkým obsahem rozpouštědel - snižování emisí uvolněných z pojivového systému. Slévárenství, 2013, roč. LXI, č. 5-6, s. 194-196. ISSN 0037-6825.
15. GRÖNING, Peter; KUHLGATZ, Carsten. Budoucnost pojivových systémů pro výrobu jader regionu Německo. Slévárenství, 2015, roč. LXIII, č. 1-2, s. 34-36. ISSN 0037-6825.
16. SCHREY, Alexander. Hoch reaktive Polyurethan-Cold-Box-Binder in Labor und Praxis. Giesserei, 2010, roč. 97, č. 2, s. 20-28. ISSN 0016-9765.
17. SERGHINI, Amine. Silikatische Cold-Box-Systeme - können diese getoppt werden? Giesserei-Praxis, 2011, č. 1-2, s. 23-27. ISSN 0016-9781.
18. IDEN, Frank; POHLMANN, Udo; TILCH, Werner; WOJTAS, H. Josef. Strukturen von Cold-Box-Binder systemen und die Möglichkeit ihrer Veränderung. Giesserei, 2011, roč. 98, č. 1, s. 30-39. ISSN 0016-9765.

19. RUSÍN, Karel; TEGEL, Michal. Pojivové systémy vytvrzované plynným médiem. Slévárnství, 1998, roč. XLVI, č. 9-10, s. 323-327. ISSN 0037-6825.
20. SZLAUER, Milan. Technologie Cold box a nabídka firmy Formservis. Slévárnství, 1998, roč. XLVI, č. 9-10, s. 338-341. ISSN 0037-6825.
21. STEFANESCU, D. M.; PIWONKA, T. S.; GIESE, S.; LANE, A. Metal Penetration in Sand Molds: A Fundamental Approach to Solving the Problem. AFS Transactions, 1993, roč. 101, s. 789-796.
22. JELÍNEK, Petr; MIKŠOVSKÝ, František. Kritéria hodnocení kvality křemenných ostřiv. In *Formovací materiály*. SAND TEAM, spol. s.r.o., Česká slévárenská společnost, 2000, s. 7-14.
23. HLAVSA, Petr; BUREŠ, Karel; LACKO, Ivan; STRUHÁR, Ján. Využití slévárenských ostřiv z ložiska Šajdíkovce Humence při výrobě náročných jader metodami CB/HB. In *VYHNE '12 - Produktivní řízení slévárny*. Papír a tisk, s.r.o. Čechyňská 416/18602 00 Brno-Trnitá, Česká slévárenská společnost, 2012, s. 43-49. ISBN978-80-02-02403-3.
24. ČSN EN 1706: 2010. Hliník a slitiny hliníku - Odlitky - chemické složení a mechanické vlastnosti. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 16 s.
25. RUSÍN, Karel; MÁLKOVÁ, Alena; JANOVÁ, Drahomíra; HRAZDIRA, David; BUCHAL, Antonín. Vlastnosti slévárenských směsí s pojivem na bázi bentonitu, furanu a vodního skla s rozdílnými ostřivy. Expertiza pro PCC Morava-Chem, s.r.o., Brno, 2006.
26. TOMEK, Ladislav; STACHOVEC, Ivo; TOMKOVÁ, Jana. Vliv interakcí kov-písková forma na povrchovou vrstvu odlitků. Studijní syllabus.
Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/formovaci-materialy-a-ekologie/studijni-sylabus.pdf>.
27. KLAROVÁ, Miroslava. Suroviny pro výrobu keramiky. Studijní opora. 1. vydání Ostrava : 2013. s. 59. ISBN 978-80-248-3367-5.
Dostupné z: http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/suroviny-pro-vyrobu-keramiky/Klarova_Suroviny-pro-vyrobu-keramiky.pdf.
28. KOCHOVÁ, Martina; SVOBODOVÁ, Lucie; KRATOCHVÍLOVÁ, Lenka; MAŠKOVÁ, Eva. Metoda DMAIC. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008.
Dostupné z: http://pef.czu.cz/~panek/AT2008/Projekty1/METODA_DMAIC.doc.
29. GRÖNING, Peter. Das Cold-Box Verfahren - Eine Zukunftstechnologie! Präsentation, Hüttenes-Albertus, 2009.
30. GRÖNING, Peter. Moderne Cold-Box Systeme auf TES Basis - Eigenschaften, Erfahrungen und Weiterentwicklung. Präsentation, Hüttenes-Albertus, 2009.
31. VONDRÁČEK, Radek; ŠMARDA, Zdeněk. Výroba jader metodou Cold-Box, aplikace vodních a alkoholových nátěrů - praktické zkušenosti z domácích sléváren. Prezentace, ASK Chemicals, Slévárenské dny, Brno, 2005.
32. Zkoušení formovacích a jádrových směsí. Metody a postupy. Formservis, spol. s.r.o. Brno, 2013.
33. Das neue Cold-Box System für höhere Produktivität - ECOCURE High Efficiency. Prospekt, ASK Chemicals, 2010.

34. <http://www.velebil.net/mineraly/kremen>.
35. http://is.muni.cz/elportal/estud/pedf/js07/mineraly/materialy/mineraly/oxidy_kremen.html.
36. http://geologie.vsb.cz/PraktikaGeologie/KAPITOLY/2_MINERALOGIE/2_MINERALOGIE_TEKTO.htm.
37. http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_5_oxidy/obrazek75_5.htm.
38. <http://www.ask-chemicals.com/foundry-products/products/pu-cold-box-binder/cold-box-process.html>.
39. <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/>.

Přehled publikací autora

GRZINČIČ, Marko; HLAVSA, Petr. Ecological Production of Cores - Example from Automotive Branch. *Manufacturing TECHNOLOGY*. December 2014, Vol. 14, No. 4. ISSN 1213-2489.

HLAVSA, Petr; BUREŠ, Karel; LACKO, Ivan; STRUHÁR, Ján. Využití slévárenských ostřiv z ložiska Šajdíkové Humence při výrobě náročných jader metodami CB/HB. In *VYHNE '12 - Produktivní řízení slévárny*. Papír a tisk, s.r.o. Čechyňská 416/18602 00 Brno-Trnitá, Česká slévárenská společnost, 2012, s. 43-49. ISBN978-80-02-02403-3.

HLAVSA, Petr; GRZINČIČ, Marko. Přínosy čištění ostřiva Šajdíkové Humence hydraulickým otíráním (atritace) pro výrobce náročných odlitků z Al slitin. *Slévárenství*, 2011, roč. LIX, č. 9-10, s. 315-317. ISSN 0037-6825.

HLAVSA, Petr; GRZINČIČ, Marko. Přínosy atritace ostřiva Šajdíkové Humence pro výrobce náročných odlitků z Al slitin. In *Formovací materiály*. SAND TEAM, spol. s.r.o., Česká slévárenská společnost. 2011. s. 199-206. ISBN 978-80-02-02316-6.

AUTOROVO CV

Osobní údaje:

Jméno a příjmení, titul: Petr Hlavsa, Ing.
Datum a místo narození: 9. 2. 1983, Hustopeče, Česká republika
Bydliště: Hybešova 197, 691 23 Pohořelice
Telefon: +420 734 266 439
E-mail: hlavsa83@seznam.cz

Pracovní zkušenosti:

4/2015 - současnost: Slévárna Heunisch, s.r.o.

3/2016 - současnost: **Vedoucí slévárny**
4/2015 - 2/2016: **Asistent výrobně-technického ředitele**

8/2007 - 3/2015: Nemak Slovakia, s.r.o.

9/2013 - 3/2015: **Procesní inženýr - představitel zákazníka VW**
9/2008 - 8/2013: **Procesní inženýr - specialista na vybrané procesy
(technologie výroby jader)**
8/2007 - 8/2008: **Tréninkový program**

5/2013 (3 týdny) Nemak Nanjing (Čína)
Podpora pro řešení problémů při výrobě jader

3/2010 - 12/2010 (9 měsíců) Nemak Monterrey (Mexiko)
Tréninkový program zaměřený na procesní inženýrství, vývojovou fázi při výrobě
hlav válců a metodické řešení problémů

Vzdělání:

2009 - 2016, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, doktorské studium,
obor - strojírenská technologie

2003 - 2008, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, magisterské studium,
obor - slévárenská technologie

2001 - 2003, SOU a učiliště stavební Brno, nadstavbové studium, zaměření - Provozní technika

1998 - 2001, SOU a učiliště stavební Brno, vyučen v oboru - Mechanik opravář plynárenských
zařízení

Jazykové znalosti:

Angličtina - B2

Němčina - B1 (v rámci oboru)

Španělština - A1

Další dovednosti a kurzy:

MS Office, Minitab, AutoCAD, SAP

Řidičský průkaz sk. B

Kurz

Řešení problémů metodou 8D

3 metodiky - APQP, PPAP a FMEA

Nástroje na zabezpečení kvality - DoE a QFD

Zkoušení formovacích a jádrových směsí,
metody a postupy

Rozsah

8 hodin

16 hodin

8 hodin

16 hodin

Společnost

FBE

DNV

DNV

FORMSERVIS, spol. s r.o.

Zájmy a koníčky:

Cestování, turistika, četba

ABSTRACT

This dissertation thesis deals with interactions on the interface core - melt by casting of cylinder heads from Al alloys in semi-permanent moulds and solves a specific problem with sticky sand after decoring of a diesel cylinder head casting. It describes in detail the process of core production using the Cold-Box method and process of casting using the progressive technology Rotacast. It theoretically analyses the reaction on the interface core-melt and presents a classification of surface defects by Al castings produced by gravity casting into semi-permanent moulds. It also states the results of technological tests of binders, core mixtures and cores (Cogas analysis).

By solution of a problem with sticky sand in intake and exhaust ports of diesel cylinder head casting is used methodology for problem solving DMAIC.

All experimental tests are solved in laboratory and production conditions of an international company dealing with casting of cylinder heads from Al alloys in semi-permanent moulds.

ABSTRAKT

Předložená dizertační práce se zabývá interakcemi na rozhraní jádro - tavenina při odlévání hlav válců z Al slitin do kovových forem a řeší konkrétní problém s nalepeným ostřivem po odjadrování u odlitku naftové hlavy válců. Detailně popisuje proces výroby jader metodou Cold-Box a odlévání progresivní technologií Rotacast. Teoreticky analyzuje reakce na rozhraní jádro - tavenina a předkládá klasifikaci vad povrchu u Al odlitků odlévaných gravitačně do kovových forem. Dále uvádí výsledky z technologických zkoušek ostřiv, jádrových směsí a jader (Cogas analýza).

Při řešení problému s nalepeným ostřivem v sacích a výfukových kanálech odlitku naftové hlavy válců využívá metodiku pro řešení problémů DMAIC.

Všechny experimentální zkoušky jsou řešeny v laboratoři a výrobních podmínkách mezinárodní společnosti zabývající se odléváním odlitků hlav válců ze slitin hliníku do kovových forem.