

Vady odlitků a jejich kontrola

Jakub Smutný

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Smutný**
Osobní číslo: **T17499**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Vady odlitků a jejich kontrola**

Zásady pro vypracování

1. Teoretická studie na dané téma (odlévání ocelí a litin, vady v odlitcích, metody kontroly)
2. Hodnocení vad v připravených odlitcích
3. Návrh optimalizace procesu ke snížení vad, ev. návrh opravy

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BEDNÁŘ, Bohumír. Technologičnost konstrukce odlitků. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, ÚTŘV, 2004. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 80-7044-614-5.

ČECH, Jaroslav. Uplatnění moderních trendů při zvyšování konkurenceschopnosti slévárenské výroby: teze přednášky ke jmenování profesorem v oboru Strojírenská technologie. Brno: VUTIUM, 2003. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. ISBN 80-214-2280-7.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radoslav Milde**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá obecnou problematikou materiálových vad, které se vyskytují u odlitek a jejich následnou kontrolou. Začátek práce popisuje obecné základy slévárenství s následným vývojem klasifikací vad a jejich dělení. V detailnějším měřítku jsou popsány jednotlivé vady dle jednotlivých tříd. Dále jsou definovány jednotlivé metody kontroly pro nedestruktivní a destruktivní testování. Praktická část se zabývá zkoumáním materiálových vad u třech různých vzorků s využitím výsledků z analýzy. V případě možnosti je navržena vhodná oprava jak pro stávající již postihnuté odlitky, tak také pro nově vyráběné.

Klíčová slova: vada, odlitek, kontrola, slévárna, tavenina, norma, povrch

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the general issue of material defects that occur in castings and their subsequent checking. The opening part of the thesis describes the general basics of foundry industry along with the following development of defects classification and their sorting. Individual defects according to particular classes are described in detail. Furthermore, specific checking methods for non-destructive and destructive testing are defined. The practical part focuses on the investigation of material defects in three different samples and provides the final analysis of results. A suitable reparation is proposed for the fixable affected castings as well as for the newly manufactured ones.

Keywords: defect, casting, checking, foundry, melting, guideline, surface

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu Ing. Radoslavu Milde za spolupráci a profesionální vedení při vytváření této bakalářské práce. Zároveň bych rád poděkoval převážně rodičům za podporu, a hlavně porozumění během mého studia na Univerzitě Tomáše Bati.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VLASTNOSTI KOVŮ A JEJICH SLITIN.....	11
1.1 STRUKTURA	11
1.2 SLÉVÁRENSKÉ VLASTNOSTI.....	12
1.2.1 Tavitelnost.....	12
1.2.2 Tekutost a zabíhavost.....	12
1.2.3 Stahování a smršťování.....	12
2 ODLÉVÁNÍ OCELÍ A LITIN	14
2.1 LITÍ DO PÍSKOVÝCH FOREM	14
2.2 LITÍ DO TRVALÝCH FOREM	15
2.2.1 Obecný postup.....	15
2.2.2 Tlakové lití	16
2.2.3 Odstředivé lití.....	16
2.2.4 Gravitační lití do kokil	16
2.3 LITÍ NA VYTAVITELNÝ MODEL.....	16
3 VADY V ODLITCÍCH	18
3.1 KLASIFIKACE VAD ODLITKŮ	18
3.2 SKUPINY VAD A JEJICH CHARAKTERISTIKA.....	19
3.3 NEJČETNĚJŠÍ MATERIÁLOVÉ VADY	20
3.3.1 Staženiny – skupina vad (440)	20
3.3.2 Trhliny a praskliny – skupina vad (310, 320)	22
3.4 VADY POVRCHU – TŘÍDA (200)	24
3.4.1 Připečeniny – skupina vad (210).....	24
3.4.2 Zálupy – skupina vad (220).....	26
3.4.3 Nárosty – skupina vad (230)	27
3.4.4 Výronky – skupina vad (240).....	28
3.4.5 Nepravidelnost povrchu odlitku – skupina vad (270).....	29
3.4.6 Vady povrchové ochrany odlitku – skupina vad (280).....	29
3.5 MAKROSKOPICKÉ VMĚSTKY A VADY MAKROSTRUKTURY – TŘÍDA (500)	29
3.5.1 Nekovové vměstky – skupina vad (520).....	29
3.5.2 Kovové vměstky – skupina vad (550).....	31
4 METODY KONTROLY.....	32
4.1 NEDESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ (NDT).....	32
4.1.1 Vizuelní kontrola.....	32
4.1.2 Zkouška kapilární (penetrační) metodou	33
4.1.3 Zkouška magnetickou práškovou metodou.....	33
4.1.4 Zkouška ultrazvukem	34
4.2 DESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ	35
4.2.1 Vizuelní kontrola v řezu.....	35

4.2.2	Zkouška tahem	35
4.2.3	Zkouška tvrdosti.....	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
5	CHARAKTERISTIKA VZORKŮ	38
5.1	VZOREK 1 – PODPĚRKY	38
5.1.1	Kontrola.....	38
5.1.2	Návrh opravy u stávajících kusů	43
5.1.3	Návrh opravy pro nové odlitky	43
5.2	VZOREK 2 – STAŽENINY	45
5.2.1	Kontrola.....	46
5.2.2	Návrh kontroly hrubých odlitků.....	48
5.2.3	Návrh opravy pro nové odlitky	49
5.3	VZOREK 3 – VMĚSTKY	50
5.3.1	Kontrola.....	51
5.3.2	Návrh opravy u stávajících kusů	52
5.3.3	Návrh opravy pro nové odlitky	52
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Slévárenství je technologická metoda pro výrobu velmi složitých výrobků, nazývaných odlitky. Touto metodou lze dosáhnout dobrých výsledků, co se přesnosti týče, při splnění potřebných parametrů neboli vhodném technologickém postupu. Jedná se o lití roztaveného kovu (taveniny) do dutiny slévárenské formy s případnými dalšími dokončovacími metodami, nejčastěji obráběním. Dnes již máme mnoho různých metod odlévání rozdělené dle typu složitosti výsledného surového odlitku. Nejčastěji se však můžeme setkat např. s netrvalými formami a stálými modely (lití do písku), s polotrvalými formami (přesné lití) a trvalými formami (lití do kokil).

Po dokončení a vyjmutí surového odlitku z formy, se můžeme setkat s mnoha materiálovými vadami, jak povrchovými, tak i vnitřními. Kořenové příčiny těchto vad mohou záviset na mnoha faktorech způsobenými při výrobě. Nejedná se pouze o organizační či technologické nedostatky, ale v mnoha případech zde hraje velkou roli i lidský faktor. Vyhodnocování a odstraňování těchto kvalitativních nedostatků bývá velmi obtížné.

V dnešní době je kladen čím dál větší důraz na kvalitu odlitků. Pro vyvarování se případných sporů mezi dodavatelem a zákazníkem je velmi důležité si vyjasnit technické specifikace včetně dodacích podmínek před zahájením výroby. Vadou odlitků se rozumí každá odchylka od příslušných norem, výkresů, technických specifikací a dalších dohodnutých podmínek. Jedná se například o rozměrovou neshodu oproti výkresové dokumentaci, rozdílné chemické složení či mechanické vlastnosti. Vady můžeme zjišťovat vizuálně, měřením a nedestruktivními či destruktivními metodami v laboratoři.

Cílem této bakalářské práce je seznámení se slévárenskými vadami vyskytující se převážně na ocelích a litinách. Následné správné pojmenování materiálových vad a jejich kontrola, pro finální vyhodnocení postižené části odlitku. Navržení vhodného způsobu opravy po vyhodnocení materiálové vady. V mnoha případech bude možné opravu provést při dodržení vhodného technologického postupu.

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části si objasníme slévárenské pojmy a základní principy slévárenství. V praktické části si představíme některé vady a jejich vyhodnocení s návrhem opravy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VLASTNOSTI KOVŮ A JEJICH SLITIN

Odlitky jsou odlévány z čistých kovů nebo slitin. Hlavní slévárenský rozdíl vlastností mezi čistými kovy a slitinami je teplota tavení či tuhnutí.

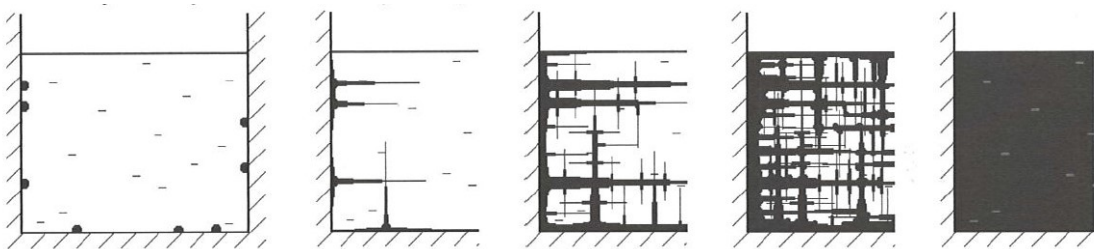
Čisté kovy mají vždy jasně definovanou teplotu přechodu z pevného do kapalného skupenství. Jsou velice dobře elektricky vodivé, měkkí a tvárnější oproti slitinám.

Ze slévárenského hlediska si musíme uvědomit, že každý prvek ve slitinách má jinou teplotu tavení či tuhnutí. Respektive z přechodu z kapalného do pevného skupenství, každý prvek tuhne v rozdílný čas. V tento moment mohou ve slitinách vznikat materiálové vady, při špatně zvoleném technologickém procesu lití. [1, 2, 3]

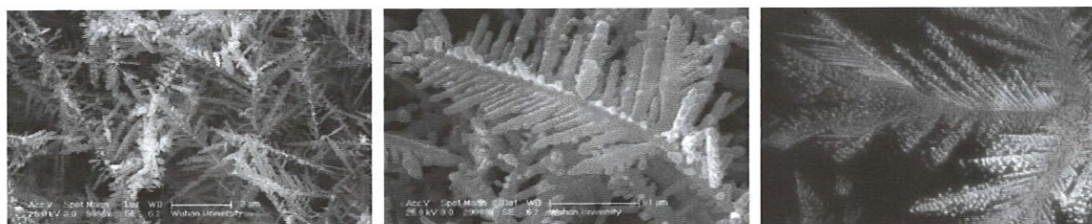
1.1 Struktura

Kovy a jejich slitiny v pevném stavu mají krystalickou strukturu. Tato struktura kovu je tvořena jednotlivými zrny o určitém tvaru a velikosti. Tyto zrna určují mechanické vlastnosti materiálu (odlitku). Obecně však můžeme říct, že materiál, který chladl pomaleji, je tvořen většími (hrubšími) zrny.

Jak již bylo zmíněno, jednotlivé prvky ve slitinách mají rozdílnou teplotu tuhnutí (tavení). Jestliže prvky budou mít větší rozdílnou teplotu tuhnutí, může při krystalizaci vzniknout tzv. dendritická struktura, vyobrazeno na obr. č. 1. Nejprve dochází ke krystalizaci prvků s vyšší teplotou tuhnutí a posléze prvků s nižší teplotou tuhnutí. Po úplném ztuhnutí můžeme vidět nerovnoměrnou strukturu materiálu. [1,3]



Obrázek 1: Postupné tuhnutí dendritické struktury [1]



Obrázek 2: Charakteristický tvar dendritů [1]

1.2 Slévárenské vlastnosti

Slévárenské vlastnosti ovlivňují jakost výroby odlitků. Vždy záleží na zvoleném technologickém postupu lití např. způsob formování, formovací materiál, způsob plnění formy aj. Mezi slévárenské vlastnosti patří: [5]

1.2.1 Tavitelnost

Vlastnost kovů a jejich slitin přecházet z pevného skupenství do kapalného a tvořit taveninu. [1]

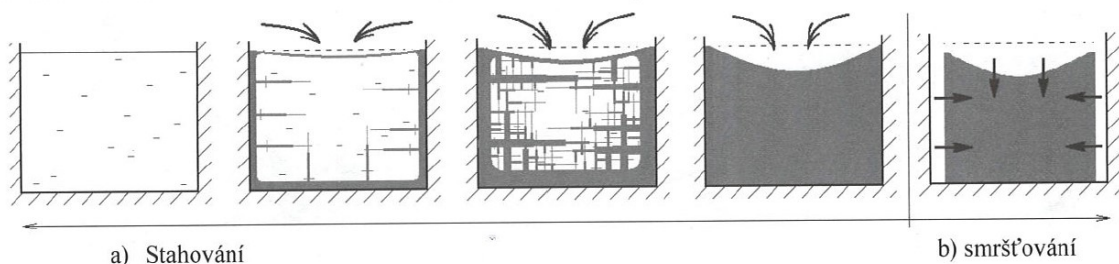
1.2.2 Tekutost a zabíhavost

Tekutost – jedná se o fázi, kdy materiál (tavenina) má „schopnost téct“. Při dodržení ideálních podmínek (záleží na druhu materiálu), má tavenina dobré podmínky pro tečení a vyplnění dutiny slévárenské formy. Mluvíme-li o dokonalém vyplnění slévárenské formy taveninou, tak se tento pojem nazývá zabíhavost.

Zabíhavost – závislá na teplotě taveniny, a proto je důležité zvolit vhodný technologický postup pro daný druh odlitku. Jestliže při odlévání dojde k razantnímu poklesu teploty, tak tavenina nezaběhne do všech částí formy a jedná se o materiálovou vadu nazývanou nezaběhnutí. [1,3]

1.2.3 Stahování a smršťování

Tyto vlastnosti se projevují na objemové a rozměrové změně materiálu během ochlazování ve slévárenské formě. Jsou rozlišeny dle teploty:



Obrázek 3: Objemové změny při tuhnutí odlitků [1]

Stahování – tato vlastnost se negativně projevuje objemovými změnami v průběhu tuhnutí taveniny z kapalného do pevného skupenství. Při tomto procesu dochází ke vzniku povrchových a vnitřních materiálových vad.

Smršťování – Oproti stahování se smršťování projevuje rozměrovými změnami po dalším chladnutí (na okolní teplotu). Rozumíme tomu jako rozměrovou změnu ve všech směrech odlitku, jestliže tomu nic nezabraňuje. Tím je myšlena například složitost formy nebo překážky (jádro). Za těchto situací mohou vzniknout vnitřní materiálové vady, jako jsou staženiny aj. [1,5, 13]

Kovy, slitiny	Hustota ρ (kg.m ⁻³)	Teplota tavení T_t (°C)	Lineární smrštění odlitku L_s (%)	Poměr objemu staženiny k celkovému odlitku β (%)	Barevné značení slévárenských modelů
Šedá litina	7250	>1147	0,7-1,2	1-4	Světle červená
Bílá litina	7250	>1147	1,5-2,2	2-6	
Ocel na odlitky	7850	<1530	1,2-2,0	3-10	Tmavě modrá
Ocel legovaná	7850	<1530	1,5-2,8		
Bronzy	7800-8900	930-1080	1,2-1,5	3-7	Žlutá
Mosazi	8400-8750	850-920	1,5-1,6	3-7	Žlutá
Slitiny hliníku	2700	660	1,3-1,6	3-6	Modro šedá
Slitiny hořčíku	1740	650	1,1-1,4	4-6	Zelená
Čisté železo	7860	1538	2,4		

Tabulka 1: Smršťování kovů a slitin [3]

2 ODLÉVÁNÍ OCELÍ A LITIN

Jak již bylo zmíněno, jedná se o velmi efektivní způsob výroby součástí se složitými tvary, které by nebylo možné dosáhnout jinými výrobními metodami. Technika odlévání závisí na vybraném způsobu lití. Rozlišujeme několik způsobů lití odlitků např. dle obtížnosti a přesnosti. Mezi významné způsoby odlévání patří: [4,5]

2.1 LITÍ DO PÍSKOVÝCH FOREM

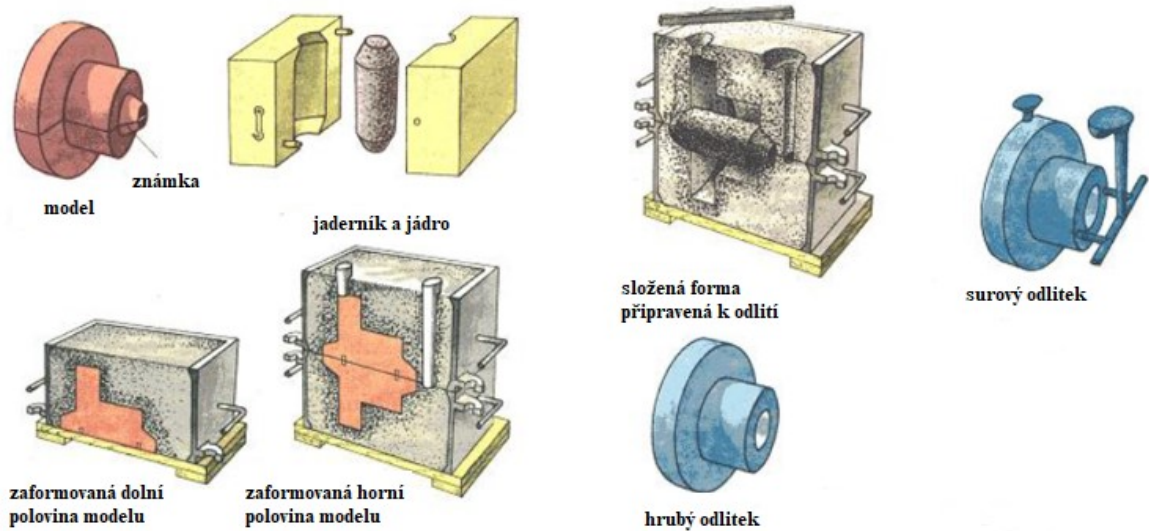
Nevýhodou u této metody odlévání je vysoká počáteční investice na modelové zařízení. Nicméně u sériové výroby je tato investice zanedbatelná. Jedná-li se o ekonomicky výhodnou výrobu. [6, 7]

Výrobní postup závisí na složitosti odlévaného odlitku, na odlévaném materiálu a na vybavenosti slévárny. Základem je vždy výrobní výkres odlévané součásti, dle kterého je vyrobeno modelové zařízení (modely, jaderníky, šablony). Model (dřevěný, kovový, z plastické hmoty) je kopií budoucího odlitku se všemi potřebnými náležitostmi, jako jsou přídávky na smršťení (viz obr. č. 1), přídávky na obrábění aj. Jsou zde také zahrnuty potřebné úkosy a rádiusy dle stanovených norem ČSN 04 2021. Model by měl být co nejjednodušší z důvodů dobrého zaformování a posléze bezproblémového vyjmutí z formy. Významně se na tom také podílí formovací materiály, které dělíme na přírodní, syntetické (uměle připravené), keramické a kovové. Po navržení všech těchto potřebných úkonů je vše připraveno k výrobě samotné netrvalé formy. Způsoby formování se liší dle rozdílné technologie, která se určuje podle množství plánovaných odlitků či možností slévárny. Formování může být ruční, do dvou rámců nebo strojní. Ve formovací směsi se také dále zhotovují vtokové, výfukové a nálitkové soustavy. Do takto připravené formy můžeme začít odlévat připravenou taveninu, ohřátou na lící teplotu, viz tabulka č. 2.

Materiál	doporučená lící teplota [°C]
uhlíková ocel	1500 – 1600
legovaná ocel	1450 – 1700
tvárná litina	1300 – 1400
šedá litina	1250 – 1350
bílá litina	1300 – 1400
slitina hliníku	680 – 750

Tabulka 2: Doporučené lící teploty [9]

Po ztuhnutí a zchladnutí odlitku se například na vytrásadlech zbavujeme formovací směsi a získáváme surový odlitek včetně všech soustav. Po odstranění těchto soustav dalšími operacemi jako je broušení aj. získáváme finální hrubý odlitek. Na obr. č. 4 jsou vizuálně vidět jednotlivé kroky od modelového zařízení až po hrubý odlitek. [6, 7]

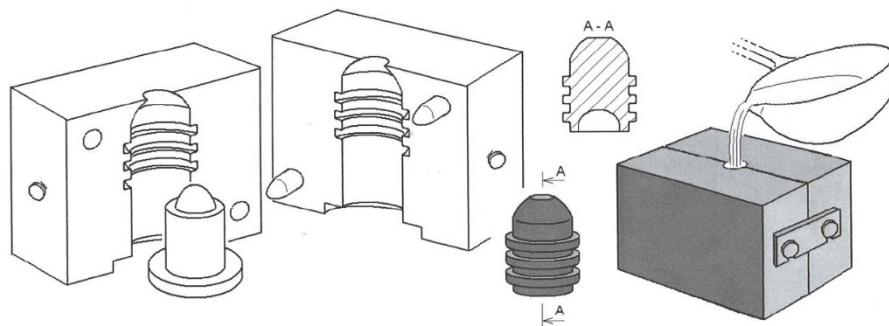


Obrázek 4 Lití do pískové formy [7]

2.2 LITÍ DO TRVALÝCH FOREM

2.2.1 Obecný postup

Odlévání do trvalých forem se provádí pod tlakem nebo při lití do kokil. Kokila je trvalá forma vyrobena z kovu, většinou z šedé litiny nejvyšší jakosti nebo výjimečně z legované oceli. Výroba kokily je poněkud dražší než výroba pískové formy, a proto se z ekonomických důvodů používá pro velkosériovou výrobu o větším počtu kusů. Kokila sama o sobě dobře odvádí teplo a tím urychluje ochlazování budoucího odlitku. Z důvodů možného nalepení taveniny na formu, je kokila chráněna separačním nátěrem či nástříkem. [1, 7]



Obrázek 5: Kokila používaná pro odlévání kulek [1]

2.2.2 Tlakové lití

Tato technologie se vyznačuje vysokou produktivitou a přesností i u složitých tenkostěnných odlitků. Využívá se pro materiály s nižší teplotou tavení např. slitiny mědi, hliníku aj. Tavenina je přivedena do pístu, který následně taveninu vstříkne do formy vysokou rychlostí i tlakem. Díky vysoké rychlosti a stálého tlaku je tavenina schopna zaběhnout do všech částí formy. [1, 8]

2.2.3 Odstředivé lití

Tavenina tuhne při rotaci kokily a působením odstředivé síly na stěnách formy. Vysoké využití této technologie můžeme obecně vidět u jednodušších odlitků, jako je např. výroba trubek aj. [1, 8]

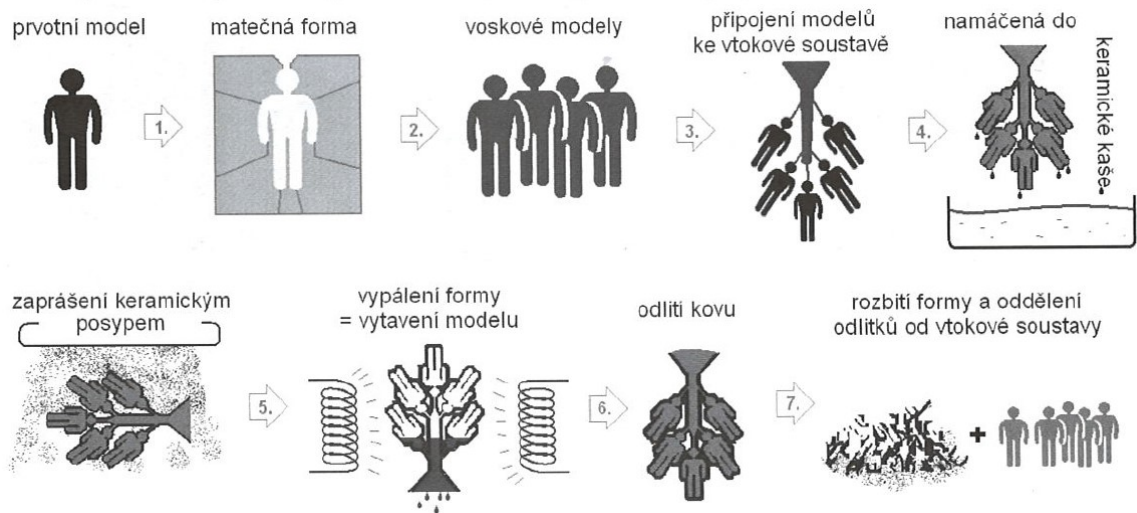
2.2.4 Gravitační lití do kokil

Tavenina se odlévá do slévárenské kovové formy, která je přehřátá na stálou teplotu cca 200–300 °C. Vlévání taveniny do formy a ostatní úkony jsou podobné jako při odlévání do písku. Hlavní rozdíl oproti pískové formě je větší přesnost, jakost povrchu a výrobě větších sérií. [1, 8]

2.3 LITÍ NA VYTAVITELNÝ MODEL

Tato metoda lití umožňuje dosahovat velmi vysoké jakosti, a hlavně vysokou rozměrovou přesnost při tvarově složitě součásti. Tím velice často odpadá následné finální obrábění (mimo funkční plochy) a nemalou ekonomickou úsporu výroby. Velice populární je užití této metody při odlévání turbínových lopatek či celých turbínových kol.

Hotový odlitek, kterého chceme dosáhnout je nejprve vymodelován z voskové směsi (např. syntetický vosk, přírodní vosk, voda). Tato kopie voskového odlitku (modelu) je poté střídavě máčena v keramické kaši a sypkém materiálu k dosažení celistvé silnější vrstvy. Takto vytvořená keramická skořepina se nechá vyschnout a následně se vypaluje při teplotách 500–800 °C. Během vypalování dojde ke zpevnění skořepiny a vytečení voskového modelu. Vznikne velmi přesná skořepinová forma, do které se následně odlévá tavenina. Po ztuhnutí taveniny se odstraňuje skořepina pomocí vibračního oklepávání či tryskání vysokotlakým paprskem. Pro větší efektivitu se jednotlivé voskové modely sestavují do tzv. stromečků. [1, 7, 22]



Obrázek 6: Lítí na vytavitelný model [1]

3 VADY V ODLITCÍCH

V mnoha případech se na odlitcích vyskytují povrchové a vnitřní materiálové vady. Vadou odlitků se považuje každá odchylka rozměru, tvaru, hmotnosti, vzhledu, struktury, celistvosti, chemického složení nebo odchylky vlastností (mechanických a fyzikálních) od příslušných norem, standardů, výkresů a technických podmínek. Vady se zjišťují vizuálně, měřením, vážením nebo také laboratorními zkouškami a nedestruktivními metodami. Vady mohou být: [10]

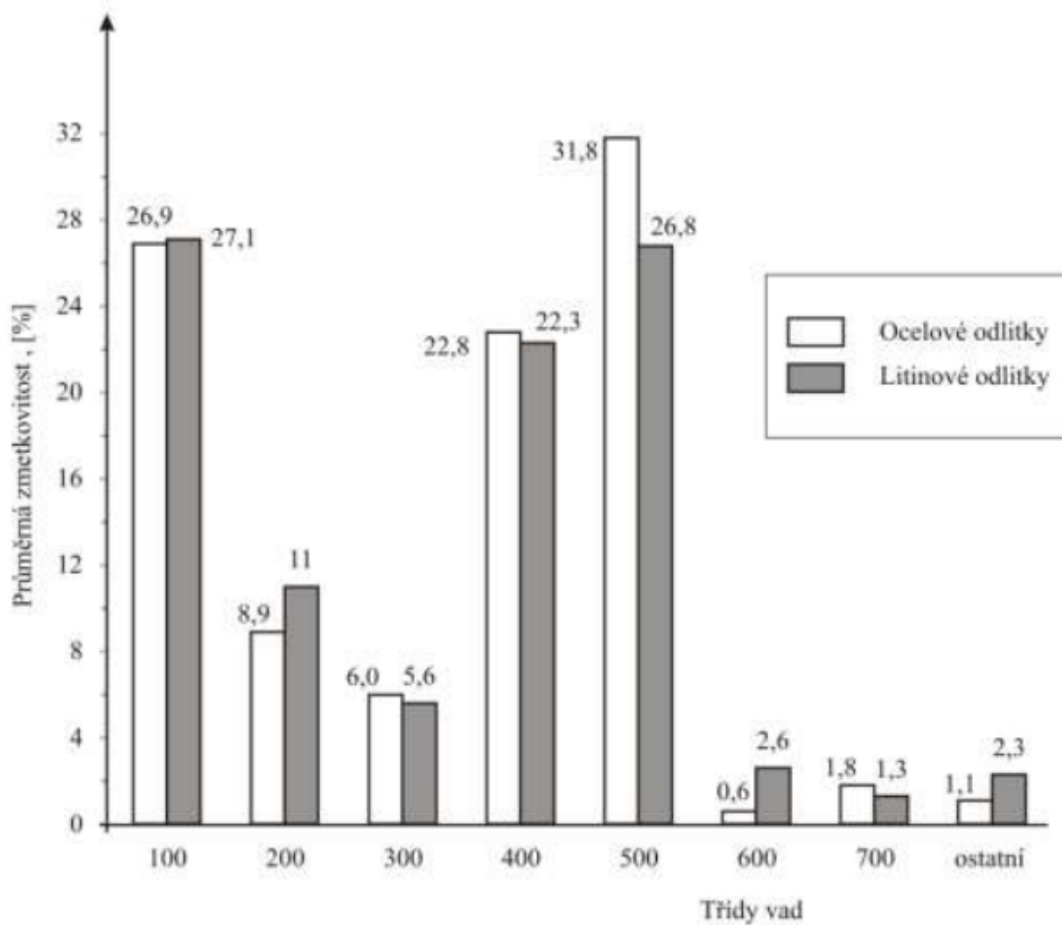
- **Zjevné vady:** jedná se o vady odlitků, které můžeme rozpoznat vizuální kontrolou nebo jednoduchými měřidly. Jedná se převážně o povrchové vady na hrubých odlitcích.
- **Skryté vady:** jedná se o vady odlitků, které se objeví až po obrobení, prorýsováním, laboratorními zkouškami, či při použití speciálních přístrojů k tomu určených. Skryté vady jsou také často označovány jako vnitřní vady. [11]

3.1 KLASIFIKACE VAD ODLITKŮ

Dle příslušných norem, standardů, výkresů a technických podmínek předem projednaných mezi dodavatelem a zákazníkem dělíme vady na následující:

- **Vady přípustné:** jedná se o vady, které splňují technické podmínky či příslušné normy a mohou být použity bez nutnosti opravy.
- **Vady opravitelné:** jedná se o odchylky, které je možné vhodným způsobem opravit, dle již stanovených technických podmínek a odlitky použít. Opravou rozumíme např. zavaření, tmelení, vybroušení aj.
- **Vady odstranitelné:** jedná se o odchylky, které je možné dle technických podmínek odstranit.

- **Vady nepřijatelné:** jedná se o odchylky, které nesplňují technické podmínky či příslušné normy a nelze je odstranit či opravit. Výskyt těchto vad je nepřijatelný a postižené odlitky tímto typem vad jsou nepoužitelné. Často nazývané jako neshodný výrobek neboli zmetek. V tabulce č. 3 můžeme vidět četnost výskytu těchto neshodných výrobků pro jednotlivé třídy vad, pro ocelové a litinové odlitky. [1, 11]



Tabulka 3: Četnost výskytu neopravitelných vad odlitků (zmetkovitost v %) [12]

3.2 SKUPINY VAD A JEJICH CHARAKTERISTIKA

Významnou roli sehrává správná identifikace druhu vady, na kterou navazuje nezbytná další činnost, a to určení původu vady (kořenová příčina). Od řádného určení kořenové příčiny můžeme stanovit účinná nápravná opatření pro eliminaci či opravy již vzniklé vady. Během celé historie odlévání bylo napsáno mnoho příruček, atlasů či směrnic, které popisovaly slévárenské materiálové vady. Takto vzniklá veškerá dokumentace s popisem těchto vad, procházela neustálou aktualizací a revidováním z důvodů nových technologií a lepšímu porozumění u jednotlivých materiálů. Po celém světě bylo zpracováno mnoho publikací na

základě, kterých byla v roce 1955 vydána norma ČSN 42 1240 (Vady odlitků. Názvosloví a třídění vad). V roce 1965 byla tato norma novelizována a obsahuje 37 druhů vad, které jsou roztrženy do 7 skupin. Zmíněné třídění vad platí pro všechny druhy slévárenských slitin bez ohledu na způsob výroby a technologii odlévání. [3, 11]

Nové poznatky a znalosti v tomto odvětví si vyžádaly novou revizi, již používané československé normy ČSN 42 1240. Takto již zastaralá norma se značením materiálových vad s dvojciferným číslem, nedovolovala další rozšiřování normy o nové poznatky. Proto v 80. letech minulého století proběhla revize a byl podán návrh na značení vad pomocí trojmístného kódu. Návrh byl vydán jako publikace Českého výboru slévárenské společnosti v roce 1987. Takto vydaná klasifikace je rozšířená o nové materiálové vady a byla rozdělena podle příčin vzniku. Jednotlivé vady jsou tříděny do 7 tříd, které zaujímají své charakteristické číslo 100 až 700. Třídy jsou dále rozděleny na 38 skupin vad, z toho 20 vyjadřuje přímo vadu a 18 se dělí na 70 jednotlivých vad. Takto nově rozšířená klasifikace nám umožňuje popsat materiálovou vadu pomocí 108 způsobů. V následujících kapitolách jsou detailně popsány materiálové vady, které se nejvíce vyskytují u ocelí a slitin. V příloze P I je přiložena tabulka s jednotlivými vadami rozdělena do 7 tříd vad. [3, 11]

Mezinárodní atlas vad odlitků úzce koresponduje s touto klasifikací včetně rozdělení vad. Záměr autorů byl ponechat terminologii vad i základní číslování vad z ČSN 42 1240. I přes to, že klasifikace nebyla vydána jako státní norma, je běžně používána mnohými slévárnami. [1, 3, 11]

3.3 NEJČETNĚJŠÍ MATERIÁLOVÉ VADY

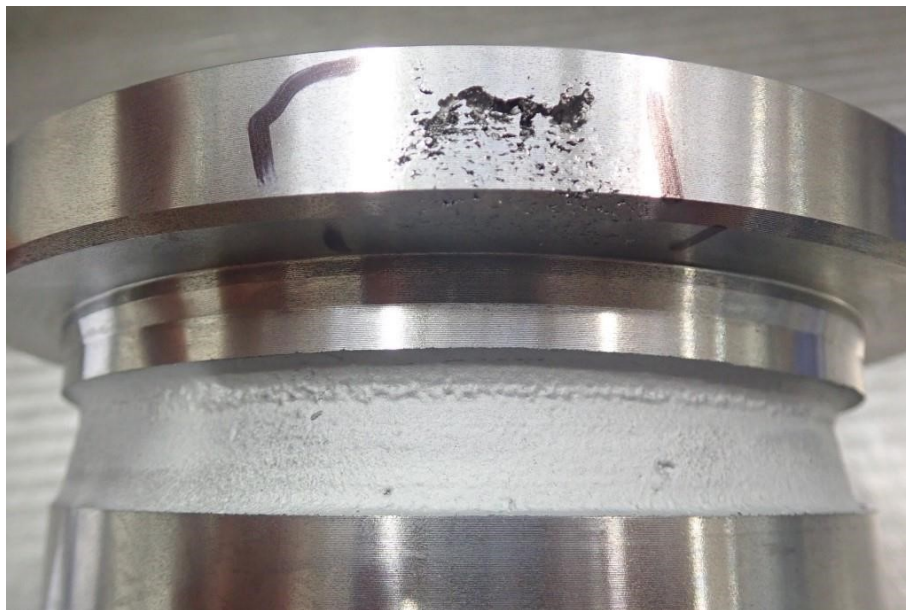
Z důvodů velkého množství pojmenování jednotlivých materiálových vad, byly vybrány vady, které se vyskytují nejčastěji.

3.3.1 Staženiny – skupina vad (440)

Staženiny jsou klasifikovány dle modifikované normy ČSN 42 1240 do třídy vad Dutiny (400) s pořadovým číslem skupiny vady 440. Tato skupina vad je převážně vyhodnocena jako nevyhovující z důvodů rozsahu vady tzn. vyřazení odlitků jako zmetku. Vada je často v takovém rozsahu působení, že opravu lze provádět jen ve výjimečných případech. Staženiny jsou děleny na 6 druhů vad: [14, 20]

- otevřené staženiny (441)
- vnitřní, uzavřené staženiny (442)

- řediny (443)
- staženiny od jader nebo ostrých hran formy (444)
- povrchové propadliny (445)
- plynové staženiny (446)

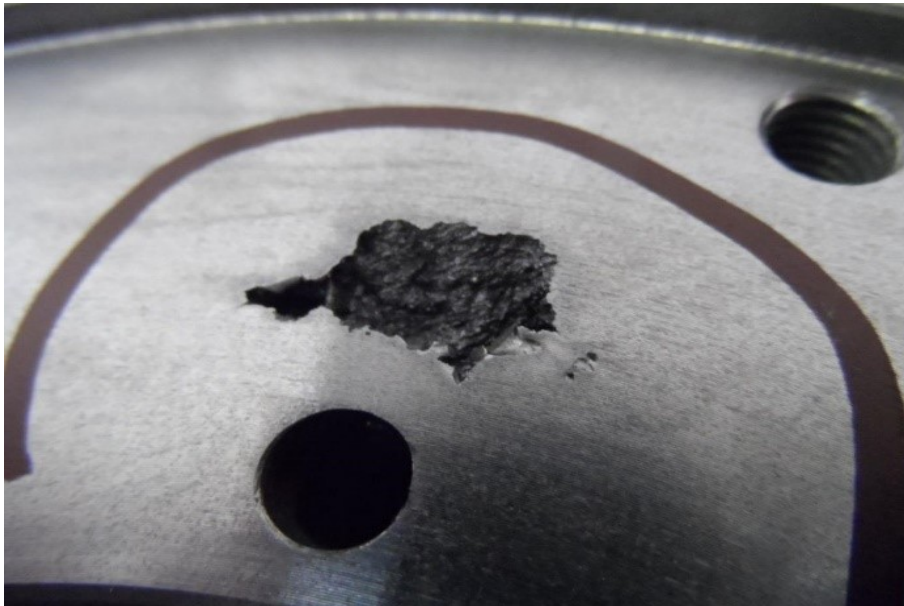


Obrázek 7: Řediny (443)

Staženiny, již ve všech zmíněných podobách, patří k nejčastěji se vyskytujícím vadám u všech kovů a slitin. Jedná se o uzavřené či otevřené dutiny v odlitku, které vznikají při objemovém smršťování během přechodu tekutého kovu do krystalické fáze. Tento proces je nazýván jako stahování (zmenšování objemu) a je fyzikální vlastností každého litého materiálu. U ocelových odlitků a bílé litiny se staženiny vyskytují ve větším rozsahu než u jiných materiálů. Nejčastější příčinou je nedostatečné objemového doplňování taveniny během tuhnutí. Objevuje se v různých oblastech odlitku, kde tavenina vychladla naposledy. Nejčastěji však tam, kde se nachází tepelné uzly, ať už konstrukční nebo technologické. Staženiny můžeme eliminovat přijetím nových technologických opatření, které vedou k lepšímu usměrnění tuhnutí taveniny. Usměrněným tuhnutím se rozumí takový způsob tuhnutí, při kterém kov tuhne postupně od nejvzdálenějších míst s nejmenší tloušťkou, směrem k místu s největší tloušťkou. V tomto místě se umístí nálitek, tak, aby se staženina vytvořila přímo v nálitku, tzn. mimo odlitek. [1, 10, 11]

Vznik staženiny je ovlivněn:

- nevhodným nálitkováním tepelného uzlu nebo tloušťkou stěny
- nedostatečný objem nálitku vzhledem k objemu odlitku nebo jeho části, do které dosazuje
- nedostatečný průřez nálitku k rozměru tepelného uzlu v odlitku
- nedolití nálitku (nebo opožděné dolití) - týká se velkých nálitků
- nedostatečné tepelné ošetření hladiny kovu v otevřeném nálitku
- vysoká lící teplota kovu [11, 20]



Obrázek 8: Vnitřní uzavřené staženiny (442)

3.3.2 Trhliny a praskliny – skupina vad (310, 320)

Trhliny a praskliny jsou klasifikovány dle modifikované normy ČSN 42 1240 do třídy vad Porušení souvislosti (300) s pořadovým číslem skupiny vady 310 (trhliny) a 320 (praskliny). Trhliny a praskliny vznikají v důsledku různých pochodů probíhajících v odlitku během jeho ochlazování. Jsou výsledkem nerovnoměrného smršťování odlitků a vzniku napětí. Trhlinu charakterizuje vznik vady při vysokých teplotách (zejména v určitém teplotním rozsahu v oblasti solidu), prasklinu vyjadřuje vadu vzniklou při nízkých teplotách. Jak trhlina, tak prasklina se mohou postupně šířit, prodlužovat a růst na jejich velikosti. [1, 10, 12]

- Trhliny (310) – velmi dobře vizuálně viditelné natržení nebo roztržení odlitku, které je charakteristické svým křivolakým průběhem a zoxidovaným

povrchem. Trhlina probíhá po hranicích primárně vykrystalizovaných zrn při vysokých teplotách v blízkosti teploty solidu. Tvoří se v místech s nejmenší pevností na hranicích těchto zrn, nejčastěji však v tzv. tepelných uzlech. V důsledku pomalejšího tuhnutí a momentální nižší pevnosti a tažnosti materiálu. Po zchladnutí celého odlitku se již nové trhliny netvoří. Mohou se však šířit, otvírat při tepelném zpracování a kalení. [1, 10, 12]



Obrázek 9: Vznik trhliny [1]

- Praskliny (320) – jedná se o rovné nebo mírně zakřivené roztržení (prasknutí) stěny odlíku s čistým a zrnitým povrchem. Nastává při teplotách, kdy materiál je již schopen pružných deformací. Mohou, ale také vznikat dodatečně po úplném zchladnutí odlitku např. nárazem, obráběním, tepelným zpracováním aj. Vzniká tehdy, když napětí odlitku překročí mez pevnosti. Prasklina obecně je více či méně rozevřená a její šířka ukazuje původní napětí, které způsobilo deformaci odlitku před vznikem praskliny. [1, 10, 12]



Obrázek 10: Prasklina (320)

3.4 VADY POVRCHU – TŘÍDA (200)

Větší část vad ve skupině 200 se týká odlévání do pískových forem (při odlévání do kovových forem se nepotýkáme tak často s povrchovými vadami z důvodů vyšší jakosti a přesnosti, oproti pískovým formám.). Povrchové vady jsou ve většině případů opravitelné i přes vysoké náklady a pracnost při odstraňování. Z těchto důvodů se také neustále přizpůsobuje slévárenská technologie a řízení jakosti sléváren, pro stále se zvyšující kvalitativní požadavky odběratelů. Z tohoto důvodu je také do této třídy zařazeno nejvíce vad (8 skupin, 23 vad). [12]

Při posuzování jakosti povrchu odlitků se používají pro vizuální kontrolu srovnávací etalony s obchodním názvem SCRATA a BNIF. Česká technická norma ČSN EN 1370 popisuje hodnocení slévárenských povrchů pomocí těchto etalonů včetně jejich vyhodnocení. [2, 24]

3.4.1 Připečeniny – skupina vad (210)

Drsný povrch (211) – hrubý, drsný povrch odlitku vzniká, když tavenina neproniká (nepenetruje) do větší hloubky povrchu pískové formy než do poloviny průměru zrna ostřiva a kopíruje povrch formy. Následné oddělení vrstvy písku přilehlé k povrchu odlitku je snadné. Čištěním se však výrazně mění povrchová drsnost litého povrchu, a to jak v kladném, tak i záporném směru. Výsledná drsnost je dána nejen druhem formy, formovací směsí, ale také použitou technologií. Odchytky od předepsané drsnosti jsou lokální nebo celkové, tzn. celý povrch odlitku. [11, 24]



Obrázek 11: Drsný povrch (211)

Povrchové připečeniny (212) – vznikají spečením formovací směsi s taveninou během odlévání, často na rovných plochách. Tavenina penetruje do větší hloubky povrchu pískové formy, než je průměr zrna ostřiva. Velice těžce oddělitelné od povrchu odlitku. [1, 10, 11]



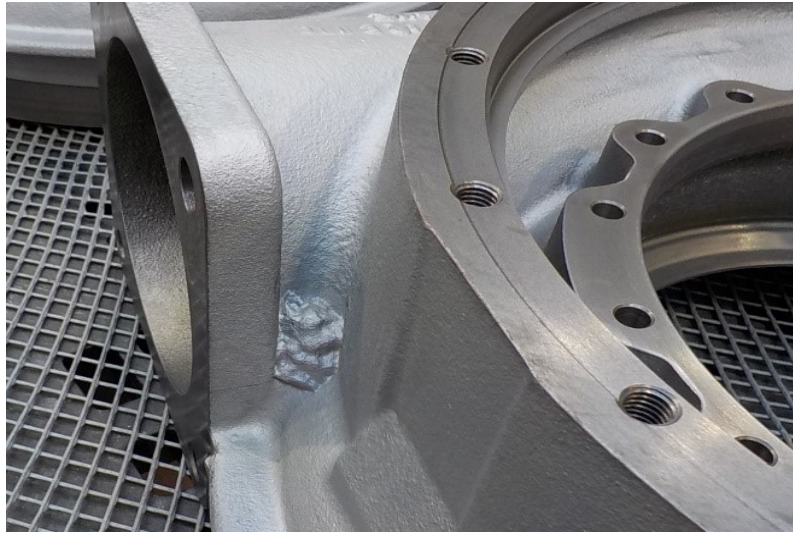
Obrázek 12: Povrchové připečeniny (212)

Hluboké připečeniny, zapečeniny (213) – typická vada pro velké odlitky z oceli a litin. Tavenina penetruje do značné hloubky povrchu pískové formy, zpravidla několik centimetrů. Tyto zapečeniny jsou velmi těžce oddělitelné od povrchu odlitku a pro jejich odstranění se používá vypalování pomocí uhlíkových elektrod, vysekávání nebo broušení. Můžeme se setkat s několika příčinami vzniku této vady např.: [11, 12]

- teplota odlévaného kovu (stupeň přehřátí)
- druh kovu
- stupeň dezoxidace kovu
- metalostatický a metalodynamický účinek kovu
- povrchové napětí kovu, jeho viskozita a úhel smáčení formy kovem
- druh ostřiva a pojivové soustavy
- velikost zrna ostřiva a jejich tvar (hranatost)
- mineralogická a chemická čistota přírodních ostřiv
- stupeň zhuštění formy (velikost pórů)
- chemická povaha kovu a formy
- plynový režim formy (chemická povaha a tlak plynů)

K zamezení výskytu hlubokých zapečenin je doporučováno odlévat taveninu oceli po dokonalé dezoxidaci a při nejnižší lící teplotě. Zabránit reoxidaci taveniny a při odlévání

zabránit také dynamickým rázům taveniny na stěny formy. Dále se líc formy natírá jakostními nátěry. [10, 14, 20]



Obrázek 13: Hluboké připečeniny (213)

3.4.2 Zálupy – skupina vad (220)

Do této skupiny vad se řadí tyto druhy zálupů: zálupy na horní ploše formy (221), zálupy na dně formy (222), zálupy síťové (223). Obecně jsou to všechno mělké, úzké rýhy nebo prohlubně na povrchu odlitku, zakryté šupinou kovu, která je pevně spojena s odlitkem.

Tato šupina vystupuje nad povrch odlitku, částečně oddělena formovacím materiálem a však dobře odstranitelná. Pod šupinou kovu bývá obvykle normální kvalitativně vyhovující hmota odlitku. [1, 12]



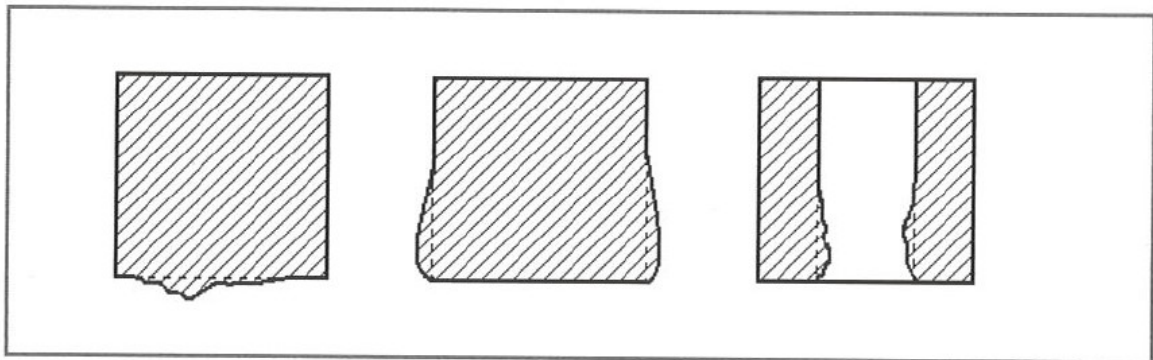
Obrázek 14: Zálup

3.4.3 Nárosty – skupina vad (230)

Vyboulení (231) – nepravidelné místní deformace povrchu odlitku způsobené hydrostatickým tlakem slitiny na povrchu formy a jádra. Rozlišujeme dva druhy vyboulení:

- Vyboulení pravidelně rozložené po výšce odlitku, přesně odpovídající tloušťce spěchované vrstvy směsi.
- Vybouleniny místní, rozsáhlé, přesahující svým rozměrem i několik spěchovaných vrstev, tvořící se ve spodní masívní části odlitku, v místech maximálních tlaků kovu.

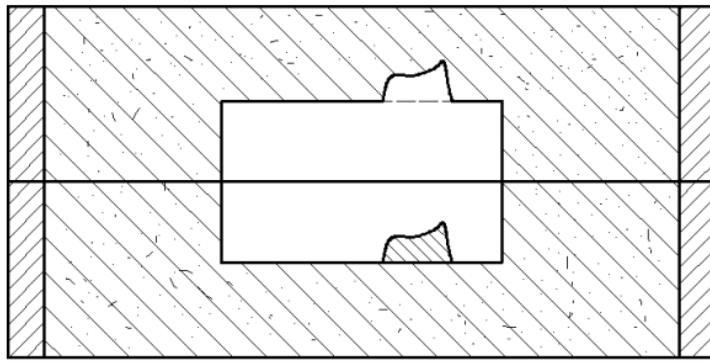
Ve většině případu je vyboulení způsobeno nízkou pevností formy tzn. nedostatečným upěchováním nebo nevhodnou formovací směsí. [1, 12]



Obrázek 15: Vyboulení [1]

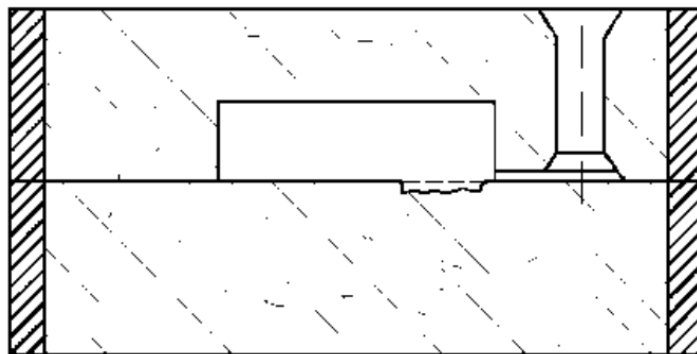
Odření, shrnutí (232) – nepravidelný nárůst tvarů a velikostí na vertikálních plochách odlitku ve směru skládání formy nebo zakládání jádra. Vada vzniká při mechanickém poškození formy či jádra během skládání. Nejčastější výskyt je u forem se složitou dělicí rovinou. Obvykle se nachází v několika místech odlitku společně s kombinací různých zadrabenin. [11, 12]

Utržení, sesutí (233) – nepravidelný nárost různých tvarů a velikostí na povrchu odlitku, který má tvar utržené části formy (či odlomeného jádra) při jejím oddělování od modelu. Příčinou utržení je nedostatečná pevnost formovací směsí. [11, 12]



Obrázek 16: Utržení, sesutí [11]

Eroze (234) – nepravidelný nárost různých tvarů a velikostí v blízkosti vtoku či ve spodní části formy ve směru proudění taveniny. Erozi slévárenské formy rozumíme mechanické porušení formy nebo jader během lití. Vysoký výskyt zadrobenin z uvolněné slévárenské směsi. [11,12]



Obrázek 17: Eroze [11]

3.4.4 Výronky – skupina vad (240)

Vystouplé žebrovité nebo žilkové výrostky vyskytující se na povrchu odlitku, převážně na válcovitých a zaoblených hranách formy (jader). Výronky vznikají při nadměrném zabíhání taveniny do trhlin povrchu formy či jádra. Z tohoto důvodu se většinou vyskytují nejvíce u slitin s vysokou zabíhavostí a v menší míře u ocelových odlitků. Výronky jsou snadno odstranitelné obvykle během tepelného zpracování. [1,11,12]



Obrázek 18: Žilkovité výronky

3.4.5 Nepravidelnost povrchu odlitku – skupina vad (270)

Do této skupiny patří vady pomerančová kůra (271), zvrásněný povrch (272), neštovice místní a čárové (273), okujení, opálení (274), krupičky (275), dolíčková a kanálková koroze (276), chemická koroze (277).

3.4.6 Vady povrchové ochrany odlitku – skupina vad (280)

Vady týkající se nekvalitním provedením povrchové úpravy odlitku, zabraňující korozi např. barvení, lakování. Časté odlupování, nedostříkaná hluchá místa, nevyhovující vrstva nátěru aj. [11]

3.5 MAKROSKOPICKÉ VMĚSTKY A VADY MAKROSTRUKTURY – TŘÍDA (500)

3.5.1 Nekovové vměstky – skupina vad (520)

Nekovové vměstky jsou klasifikovány dle modifikované normy ČSN 42 1240 do třídy vad Makroskopické vměstky a vady makrostruktury (500) s pořadovým číslem skupiny vady 520. Třída vad 500 obsahuje nejobtížněji identifikovatelné vady. Největší podíl z toho činí zadrobeniny, které jsou nejčastější vadou vůbec. Skupina vady Nekovové vměstky (520) obsahuje 6 druhů vad rozdělených následovně: [1, 11]

Zadrobeniny (521) – jedná se o povrchové či vnitřní dutiny ve stěně odlitku, zcela nebo částečně vyplněné formovací směsí. Vznikají drobením formovací směsi, ale ne vždy je na

vině kvalita této směsi. Vznikají také i při špatně navržené vtokové soustavě, konstrukce odlitku, formování (nedostatečné upěchování směsi) aj. [1, 25]



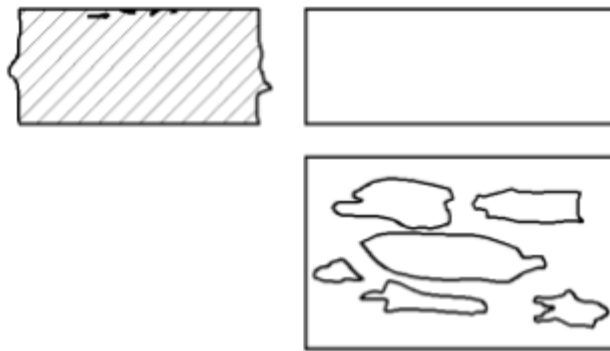
Obrázek 19: Zadrogeniny (521)

Rozplavený písek (522) – vzhled vady je podobný jako u zadrogenin, ale na rozdíl od zadrogenin, se rozplavený písek vyskytuje na větší ploše. [11, 25]



Obrázek 20: Rozplavený písek (522)

Odpadnutý nátěr (523) - otevřené či uzavřené dutiny ve stěně odlitku, zcela nebo částečně vyplněné zbytky nátěrové hmoty (barvivem nebo námazkem). Na surovém odlitku se odpadnutý nátěr může projevit nárostem na povrchu. [6, 25]



Obrázek 21: Odpadnutý nátěr (523)

3.5.2 Kovové vměstky – skupina vad (550)

Klasifikováno dle modifikované normy ČSN 42 1240 do třídy vad Makroskopické vměstky a vady makrostruktury (500) s pořadovým číslem skupiny vady 550. Výskyt kovových cizorodých částic, odlišných od základního materiálu. Nejčastěji se vyskytující jako nedostatečně rozpuštěné podpěrky, chladítka aj. [5, 24]



Obrázek 22: Kovové vměstky (550)

4 METODY KONTROLY

Výběr vhodné metody kontrolních či zkušebních metod a jejich následné vyhodnocení, záleží do značné míry na znalostech a předešlých zkušenostech. Pro zjištění vad odlitků se používají různé metody tak, aby se zjistily odchylky tvaru a rozměrů, hmotnosti, povrchové jakosti, porušení souvislosti, homogenity, neshody struktury, mechanických a fyzikálních vlastností a chemického složení. [11] Tyto metody jsou rozděleny na destruktivní a nedestruktivní zkoušení. Nedestruktivní zkoušení je mnohdy také nazývána jako defektoskopie se zkratkou NDT. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma metodami je následné možné použití odlitku u nedestruktivní metody a u destruktivní metody se odlitek považuje automaticky za neshodný (zmetek). [1]

4.1 NEDESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ (NDT)

Jedná se o soubor metod, které zahrnují finální kontrolu odlitku bez jeho porušení či poškození. Hlavním úkolem nedestruktivní kontroly je prokázat požadovanou jakost a vyvrátit případné nepřijatelné vady. Nicméně nedestruktivní metody mají omezené pole možností pro identifikaci materiálových vad a z tohoto důvodu se někdy bez destruktivní kontroly neobejdeme. [14, 15]

4.1.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrola odlitku (VK) je nejjednodušší možnou nedestruktivní metodou pro identifikaci až 78 % vad. Nezbytnou podmínkou pro tuto kontrolní metodu je vhodné prostředí a dostatečně kvalifikovaný personál. Požadavky na kvalifikaci, respektive certifikaci inspektorů popisují příslušné zákony či normy, ale hlavně musí vycházet od požadavků zákazníků. Mezinárodní norma ČSN EN ISO 9712 zavádí zásady pro kvalifikaci a certifikaci inspektorů, kteří provádějí nedestruktivní zkoušení. Norma ČSN EN 13018 popisuje obecné zásady vizuální kontroly. [10, 14]

Kontrolu můžeme rozdělit na:

- Přímá kontrola – provádí se pouhým okem s množností použitím lupy či zrcátka. Slouží převážně pro posouzení větších ploch povrchů.
- Nepřímá kontrola – využívá se dokonalejších pomůcek či přístrojů např. endoskopy, videoskopy, periskopy aj. Slouží převážně pro kontrolu dutin a špatně dostupných míst. [1]

4.1.2 Zkouška kapilární (penetrační) metodou

Vhodná pro zjišťování povrchových vad typu trhliny, praskliny, vměstků, zavalenin aj. Metoda je využitelná pro téměř všechny druhy materiálu (oceli, slitiny, plasty) Pro zkoušení povrchových vad neferomagnetických materiálů, kde nelze použít magnetickou zkoušku, je nenahraditelná. Zkouška se provádí nanesením kapaliny (penetrantu) na očištěný povrch a po určitou dobu se nechá působit. Penetrant během této doby vniká do případných materiálových vad a necelistvostí. Po ukončení penetračního času se penetrant ze zkoušeného povrchu odstraní a nanese se vývojka. Vývojka nasává zbytky penetrantu z vad či necelistvostí a tvoří kontrastní pozadí s případnou indikací. Indikace se hodnotí na základě vizuálního vjemu a lze je rozdělit do tří skupin:

- Metoda barevné indikace – hodnocení při denním či umělém světle.
- Metoda fluorescenční – hodnocení pod UV světlem. Indikace světélkuje žlutozeleně oproti tmavému podkladu.
- Metoda dvojúčelová – spojení obou výše zmíněných metod.

Kapilární zkoušku definuje norma ČSN EN ISO 3452. [16, 21]

4.1.3 Zkouška magnetickou práškovou metodou

Slouží ke zjišťování povrchových nebo lehce podpovrchových vad typu trhliny, praskliny, vměstků aj. Magnetickou zkoušku lze provádět pouze na feromagnetických materiálech, pro jiné materiály zkoušku provést nelze. Princip metody je založen na vhodném zmagnetizování materiálu, kde dochází k jeho magnetickému nasycení. V místě případné materiálové vady dojde k deformaci magnetického pole. Na povrch se nanáší feromagnetický prášek, který na povrchu vytvoří indikaci v místě vady. Indikace se hodnotí na základě vizuálního vjemu, tak jako u kapilární metody. Magnetickou zkoušku definuje norma ČSN EN ISO 9934. [15, 16]

Magnetická prášková metoda se dělí dle způsobu zobrazování a vyhodnocování indikací na:

- Metoda fluorescenční – na zmagnetizovaný materiál se nanáší fluorescenční prostředek ve formě vodní či olejové suspenze ocelových částic. Pro vyhodnocení je zapotřebí splnit dvě podmínky. První z nich je minimální okolní světlo max. 20 lux. Druhá podmínka je osvětlení zdrojem černého ultrafialového světla s vlnovou délkou 365nm. Zachycené částice v místě indikace se rozzáří a vyobrazí velikost indikace.

- Metoda barevná (černo-bílá) – jedná se o stejný princip jako u fluorescenční metody s rozdílem použitého vykreslujícího prostředku. Používá se olejová suspenze ocelových částeczek pokrytá černou barvou. Pro zvýšení kontrastu a lepší detekci indikace, se na zkoušený povrch nanáší podkladová bílá barva v tenké vrstvě. Kombinací těchto barev je docíleno maximálního kontrastu pro odhalení i malých lineárních indikací. Minimální denní zdroj světla pro vyhodnocení indikací je dle normy 500 lux. [23]

4.1.4 Zkouška ultrazvukem

Rozdělujeme na čtyři základní ultrazvukové metody, z nichž nejpoužívanější ve slévárenství jsou první dvě:

- Metoda průchodová – Pracuje se vždy se dvěma sondami, z nichž jedna z nich pracuje jako vysílač ultrazvukové energie a druhá jako přijímač. Sondy jsou umístěné vždy souose na protilehlých stěnách zkoušeného materiálu. Ultrazvukové vlny se vysílají nepřetržitě či v impulzech z vysílací sondy a na přijímači je zaznamenávána přijatá energie. Eventuální vada v materiálu je zjištěna pomocí porovnání těchto dvou hodnot z vyslané a přijaté energie. [14, 16]
- Metoda odrazová – Tato metoda je nejrozšířenější v sektoru slévárenství. Ultrazvuková sonda, tedy vysílač, vysílá krátkodobé ultrazvukové impulzy do zkoušeného materiálu. Tyto impulzy se odrážejí od protilehlého povrchu materiálu či případných materiálových vad, které jsou zaznamenávané přijímačem. Přijímač je umístěn na stejné straně zkoušeného materiálu a naměřené hodnoty se zobrazují na obrazovce přístroje. Vyhodnocuje se časový průběh vrácených impulsů.
- Metoda rezonanční
- Metoda umožňující zviditelnění vnitřní vady

Obecné zásady ultrazvukové zkoušky definuje norma ČSN EN ISO 16810. [11, 14, 16]

4.2 DESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ

4.2.1 Vizuální kontrola v řezu

Vizuální kontrola je prováděna, v oblasti řezu, na vzorcích, které jsou odebrány z finálního odlitku. Nejčastěji je prováděna kontrola např. nerozpuštěných podpěrek či chladítek, vměstků, porezit, aj. Pro detailnější rozbor materiálu a jeho struktury, je nutné použít laboratorní přístroje. [10]

4.2.2 Zkouška tahem

Deformace zkušební tělesa (zkušební tyče) tahovým zatížením, obvykle do lomu, za účelem stanovení jedné nebo více mechanických vlastností. Zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 6892-1, v případě požadavku zákazníka i podle jiných norem, např. ASTM E8.

Zkušební tyč se upíná do závitových nebo hydraulických čelistí a provádí se tahové zatížení v ose zkušební tyče. Po deformaci se vyhodnocuje mez kluzu R_p , mez pevnosti v tahu R_m , modul pružnosti E , tažnost A , kontrakce Z . [17]

4.2.3 Zkouška tvrdosti

Odolnost vnikání cizího tělesa do povrchu měřeného materiálu. Zkoušky jsou rozděleny na vrypové, vnikací, odrazové a provádí se za pomoci použití tvrdoměrů. Nejrozšířenější jsou zkoušky vnikací. Ty jsou rozděleny:

Brinell – Do povrchu tělesa je vtlačována tvrdokovová kulička o průměru D . Zkouška se provádí na hladkém a rovném povrchu, kde se kulička zatlačuje zatížená v kolmém směru do tohoto povrchu dle příslušné normy ČSN EN ISO 6506-1. Doba zatěžování je v rozmezí mezi 2-8 sekund s výdrží zatížení 10-15 sekund. Po dokončení působení síly se měří průměr vtisku ve dvou na sebe kolmých směrech, bere se aritmetický průměr obou změřených údajů. Výsledná naměřená hodnota tvrdosti se značí značkou HB, doplněna o údaje podmínek zkoušky. Jednotlivé podmínky jsou odděleny lomítkem v pořadí HB průměr kuličky D / síla F / doba zatížení t , např. HB10/30000/10. Hodnoty tvrdosti podle Brinella jsou uvedeny v tabulkách ČSN EN ISO 6506-4. Nejvhodnější metoda pro měření tvrdosti pro odlitky a hrubozrnné materiály.

Vickers – Do povrchu tělesa je vtlačován čtyřboký jehlan a následně měřena velikost uhlopříček vtisku, který zůstane po odlehčení zkušebního zařízení. Tloušťka zkušební

tělesa musí být min. 1,5násobek úhlopříček vtisku. Naměřená hodnota je značena značkou HV. Zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 6507.

Rockwell – Zkouška spočívá ve vtlačování vnikacího tělesa do povrchu tělesa ve dvou krocích za předepsaných podmínek. Po odlehčení zkušebního zařízení, se měří hloubka vtisku h . Po zkoušce, se nesmí projevit viditelná deformace na zadní straně zkoušeného tělesa. Dle předpokládané tvrdosti zkoušeného materiálu, rozdělujeme a značíme podle druhu zkoušky na:

- HRA – vtlačované těleso je diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° a poloměrem kulové plochy 0,2 mm s celkovým zatížením 600 N. Druh zkoušky je vhodný pro křehké materiály a tenké povrchové vrstvy.
- HRB – vtlačované těleso je kalená kulička o průměru 1,59 mm a celkovým zatížením 1000 N. Druh zkoušky je vhodný pro měkčí a středně tvrdé materiály (25-100 HRB).
- HRC – vtlačované těleso je diamantový kužel jako u metody HRA s rozdílem celkového zatížení tj. 1500 N. Vhodná pro tvrdé materiály.

Zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 6508. [18, 19]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CHARAKTERISTIKA VZORKŮ

Praktická část se bude zabývat kontrolou 3 rozdílných vzorků. Po analyzování vady u jednotlivých vzorků, bude navržena případná možná oprava u stávajících kusů a návrh opravy pro nové odlitky.

1. Vzorek – Nedostatečně rozpuštěné jádrové podpěrky na plášti odlitku.
2. Vzorek – Staženina u příruby odlitku.
3. Vzorek – Vměstky na zadním čele turbínového kola.

5.1 Vzorek 1 – podpěrky

Nedostatečně rozpuštěné jádrové podpěrky na plášti se vyskytují u odlitků používaných do vodou chlazených turbodmychadel. Odlitek slouží jako výfuková výstupní část turbodmychadla pro námořní aplikace. Díly používané v námořním odvětví musí splňovat přísnější požadavky na kvalitu dle klasifikací lodních společností.



Obrázek 23: Kontrolované místo odlitku

5.1.1 Kontrola

Vizuální kontrola je provedena u všech podpěrek odlitku, kde je dobře viditelné necelistvé rozpuštění těchto segmentů, viz obr. č. 23, 24.



Obrázek 24: Nedostatečně rozpuštěná podpěrka



Obrázek 25: Odebraný rozříznutý vzorek

Pro ověření těsnosti těchto míst je provedena kapilární (penetrační) zkouška dle normy ČSN EN ISO 3452. Před samotnou zkouškou musí být z výrobku odstraněny nečistoty, jako jsou rez, olej, nátěr či jiné, které by mohly ovlivnit výsledky zkoušky. Příprava je viditelná na obr. č. 26.



Obrázek 26: Příprava na kapilární zkoušku

Na zkoušené očištěné místo je nanesen z pohledové strany penetrant Sherwin HM602 ve spreji. Penetrant Sherwin HM602 vzdoruje nadměrnému vymývání a neobsahuje žádný petrolej či předestilované kapaliny. Penetrační čas pro aplikování následující vývojky je 30 min. Vývojka je složena z nosného média (láh, benzín aj.) a práškovité složky s jemnou zrnitostí. Práškovitá složka je bílé barvy a zlepšuje kontrast indikací na zkoušeném povrchu. Po uplynutí 30 min jsou odstraněny zbytky penetrantu z povrchu a nanesena prášková vývojka Sherwin D90G na vnitřní funkční i venkovní stranu odlitku. Vyvíjecí čas tzn. ideální doba pro případnou indikaci vady je 30 min. Během této doby je pozorováno případné vzlínání penetrantu. Vzlínání v tomto případě znamená, že zůstatkový penetrant prostupuje zpět k vývojce na povrch. Po uplynutí vyvíjecí části se na povrchu objevila indikace tzn. že stěna odlitku není těsná, viz obr. č. 27, 28. Všechny časové prodlevy mezi jednotlivými kroky jsou dodrženy dle instrukcí výrobce.

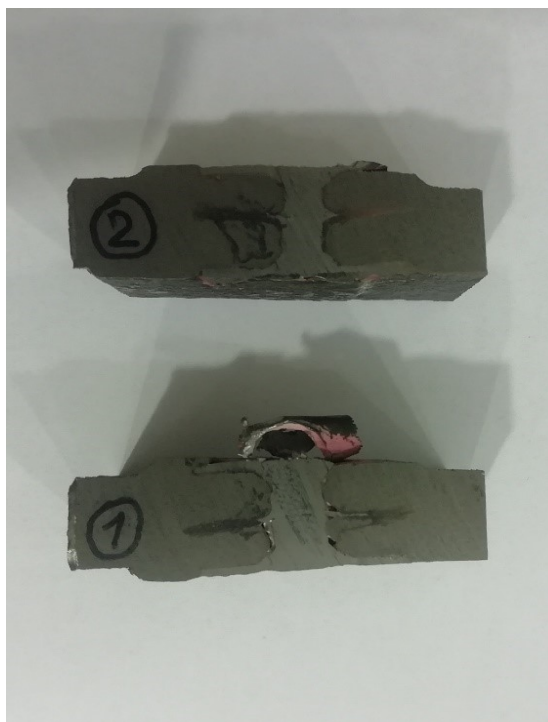


Obrázek 27: Detekce vady po zkoušce



Obrázek 28: Detekce vady v detailu

Pro důkladnější analýzu vady, byl vyříznut vzorek postiženého místa se středovým řezem přes podpěrku. Kapilární zkouška se opakuje v místě řezu podpěrky. Zkouška potvrdila netěsnost stěny přes středové tělo podpěrky, viditelná na obr. č. 29, 30.



Obrázek 29: Podpěrka před zkouškou



Obrázek 30: Podpěrka po zkoušce, viz protokol č. III

Analyzovaná vada je vyhodnocena dle modifikované normy ČSN 42 1240 do skupiny vad kovové vměstky s pořadovým číslem 550. Kovové vměstky se řadí do třídy vad 500 Makroskopické vměstky a vady makrostruktury, viz příloha P I.

5.1.2 Návrh opravy u stávajících kusů

U odlitků je možné provést opravu postižených míst pro záchranu stávajících skladových zásob. Oprava bude provedena pomocí tmelu Dichtol WFT. Dichtol je tekutý jednosložkový polymerový tmel, určený pro všechny druhy kovových slitin k impregnaci pórů a trhlin od 0,01 do 0,5mm. Po aplikaci Dichtol zajistí utěsnění nalezených netěsností. Před nanesením tmelu je nezbytné podpěrky zabrousit a řádně očistit Technosolem (odmašťovací prostředek), obr. č. 31 ukazuje již připravený povrch.



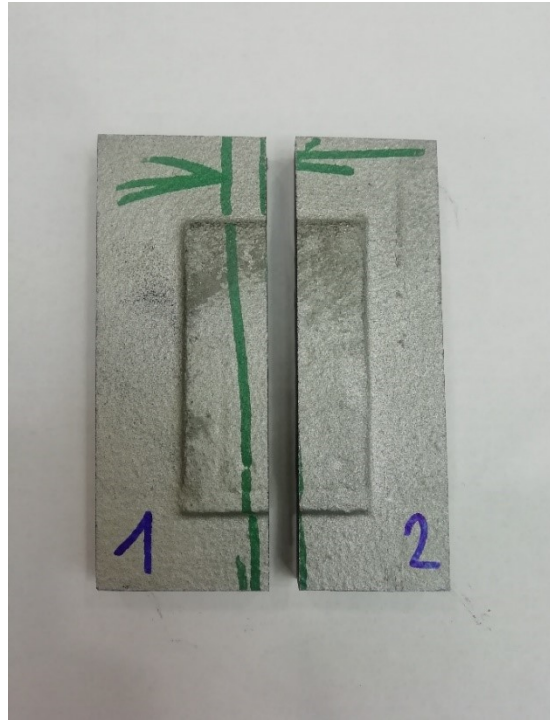
Obrázek 31: Připravený povrch pro aplikování tmelu

Rozmíchaný tmel je nanesen na postižené místo ve vertikální poloze odlitku a za podpory gravitace tmel vniká do pórů a trhlin. Po 12 hodinách je provedena druhá opakovaná kapilární zkouška s vyhovujícím výsledkem, viz příloha P IV.

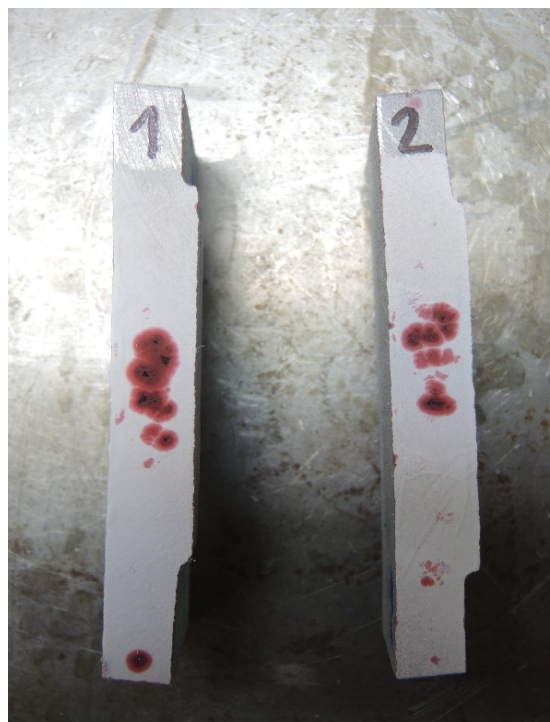
5.1.3 Návrh opravy pro nové odlitky

Řešením je použití nového typu podpěrek, viz obr. č. 32 a zvýšení teploty taveniny pro lití. Pro ověření účinnosti opatření byla provedena znovu kapilární zkouška na nových vzorcích. Při použití nových podpěrek byly zjištěny malé řediny v oblasti řezu. Řediny se obecně

vyznačují nahromaděním malých staženin, projevujících se viditelně jako řídká místa v průřezu. Tyto řediny nevystupují na povrch a nemají žádný vliv na těsnost v dané oblasti. Z tohoto důvodu implementované opatření, podložené kapilární zkouškou v řezu, je vyhovující. Na obr. č. 33 je zachycen vyhovující výsledek z kapilární zkoušky.



Obrázek 32: Vzorek z nové dávky



Obrázek 33: Vyhovující kapilární zkouška

Hlavní výhodou nových podpěrek je větší styčná plocha s velkým a těžkým jádrem. Z tohoto důvodu je možné použít u odlitku menší počet těchto podpěrek za stejných podmínek fixace jádra. Porovnání původních a nových podpěrek je vyobrazeno na obr. č. 34.



Obrázek 34: Původní (vlevo) a nový (vpravo) typ podpěrek

5.2 Vzorek 2 – staženiny

Staženiny u příruby se vyskytují u odlitků používaných do vodou chlazených menších turbodmychadel. Odlitek plní funkci jako výfuková vstupní část turbodmychadla, kde spaliny roztáčejí turbínové kolo. Materiál je extrémně cyklicky tepelně namáhan těmito spalinami, které dosahují teplot okolo 850 °C. Turbodmychadla jsou určena pro lokomotivní a důlní aplikace s možností sériové zástavby.



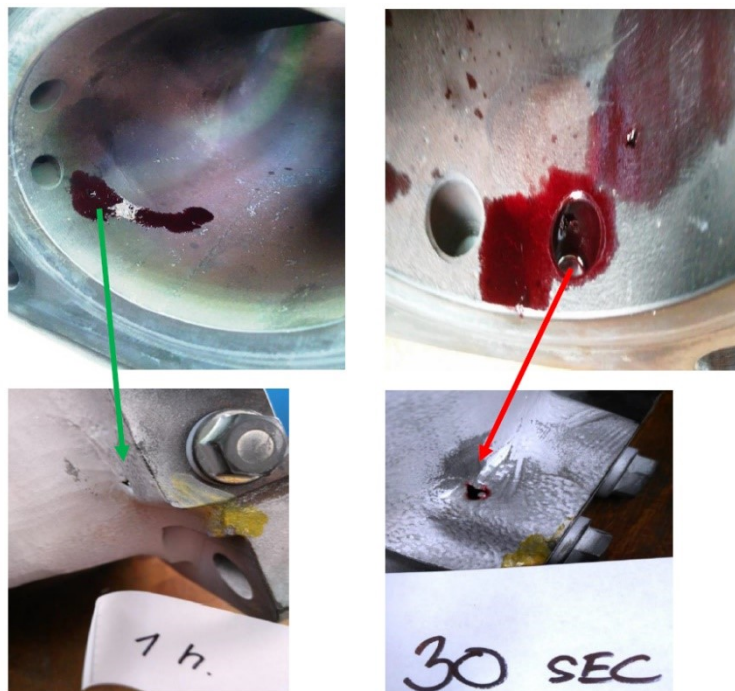
Obrázek 35: Zkoumaný odlitek



Obrázek 36: Detail vad ze strany spirály

5.2.1 Kontrola

Vizuální kontrola dle normy ČSN EN 13018 odhalila materiálové vady ve spirále prostupující pravděpodobně přes plášť odlitku. Vady vykazují symptomy klasické staženiny. Pro ověření propustnosti přes plášť odlitku je provedena kapilární zkouška ze strany spirály. Kapilární zkouška ukázala propustnost pouze u jedné materiálové vady, již po 30 sekundách, viz obr. č. 37.



Obrázek 37: Kapilární zkouška

Nejedná se tedy pouze o povrchovou vadu. Z důvodů možného nárůstu velikosti vady je odlitek umístěn na frézovací centrum a po 2 milimetrech je materiál postupně odebrán. Začátek frézování je zobrazeno na obr. č. 38 v hloubce 10 mm a poslední odebrání materiálu na obr. č. 39 v hloubce 16 mm.



Obrázek 38: Odebírání materiálu v hloubce 10 mm

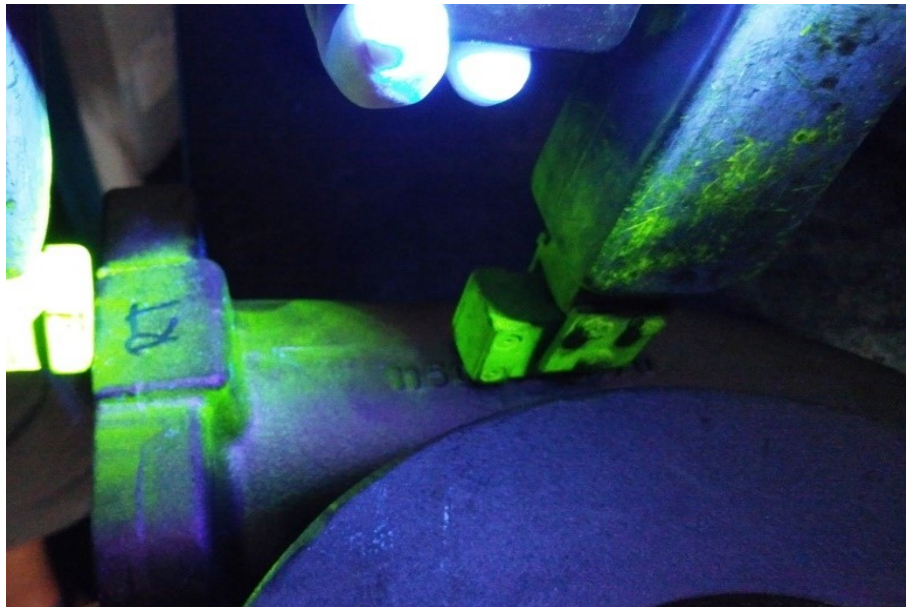


Obrázek 39: Odebírání materiálu v hloubce 16 mm

Během odebírání materiálu, vada nabírala na velikosti a rozsahu v dané oblasti. Po dokončení odebírání materiálu spolu s kapilární zkouškou je vada prokazatelně analyzována jako vnitřní uzavřená staženina. Dle modifikované normy ČSN 42 1240 staženiny řadíme do třídy vad Dutiny s pořadovým číslem 400.

5.2.2 Návrh kontroly hrubých odlitků

Kontrola hrubých odlitků je prováděna pomocí magnetické a ultrazvukové zkoušky dle norem ČSN EN ISO 9934, ČSN EN ISO 16810 v místě výskytu vady, zobrazeno na obr. č. 40, 41. U magnetické zkoušky byl zvolen druh zobrazení a vyhodnocení případné vady pomocí fluorescenční metody, která je detailněji popsána v kapitole 4.1.3. Při této metodě byla použita olejová suspenze ocelových částecek a při splnění dalších podmínek byla následně osvícena zdrojem černého ultrafialového světla. Při vyhovujícím výsledku z magnetické zkoušky se následně prováděla ultrazvuková zkouška metodou odrazovou. Odrazová metoda je založená na vysílání a přijímání ultrazvukových impulzů s následným vyhodnocením, detailněji popsáno v kapitole 4.1.4.



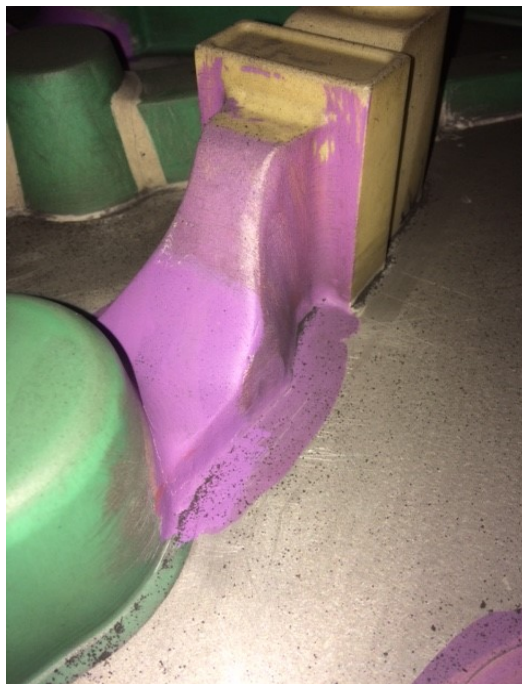
Obrázek 40: Zkouška magnetem



Obrázek 41: Zkouška ultrazvukem (odrazová metoda)

5.2.3 Návrh opravy pro nové odlitky

Úprava vtokového systému u modelového zařízení (vtokový přívodní kanál) z důvodu lepšího proudění taveniny do formy, viz obr. č. 42. Po úpravě klesl přebytečný tlak ve formě během lití a forma se stala stabilnější. Ověřeno na nových vzorcích se 100% vizuální, magnetickou a ultrazvukovou zkouškou v oblasti výskytu vady, viz příloha P V, VI.



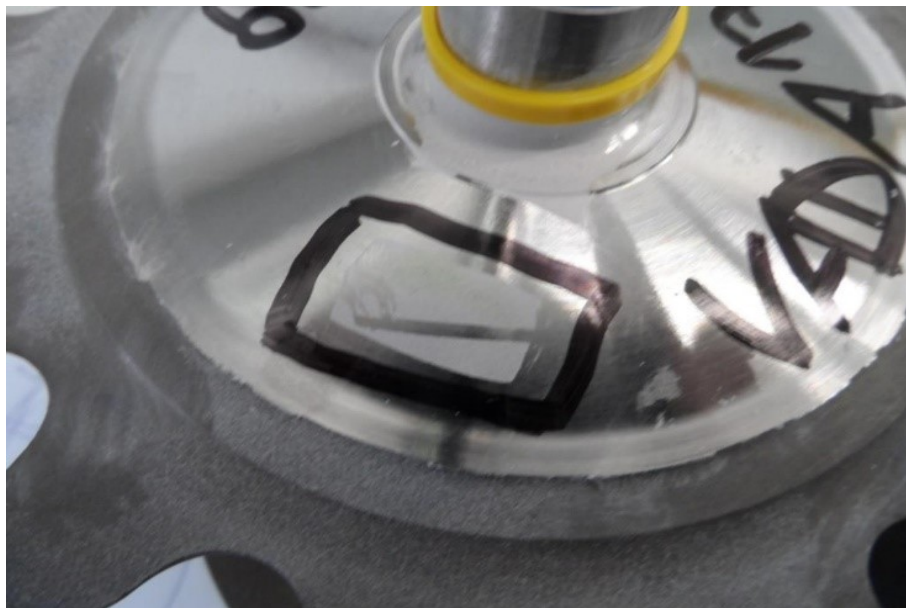
Obrázek 42: Upravený vtokový přívodní kanál

5.3 Vzorek 3 – vměstky

Odlitek turbínového kola litý na vytavitelný model vyráběný ze slitin niklu 71 %, chromu 13 % a ostatních prvků. Kolo je součástí rotoru, díky kterému se za pomoci hřídele roztáčí kompresorové kolo, které stlačuje opětovně vhněný vzduch do válců motoru. Turbínové kolo musí opakovaně odolávat vysokým teplotám spalin putujících z válců motoru a vysokým otáčkám kolem 80 000 ot/min.



Obrázek 43: Hrubý odlitek



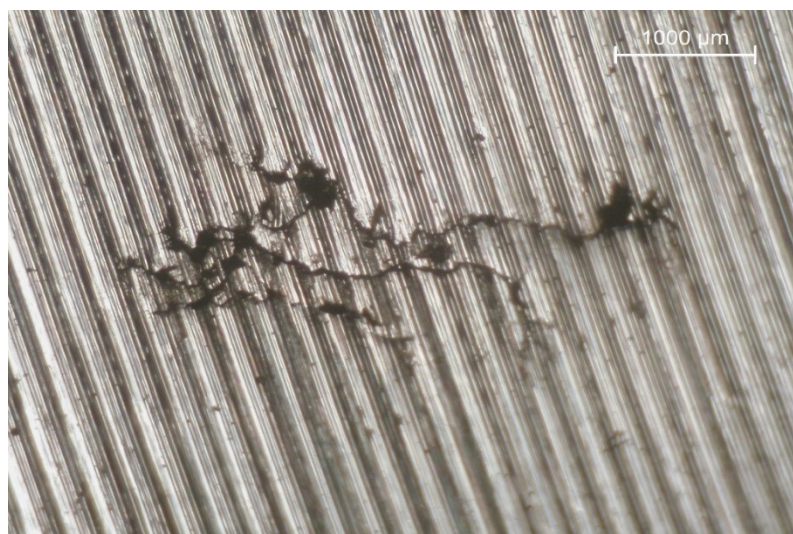
Obrázek 44: Výskyt vady na čele po obrábění

5.3.1 Kontrola

Po dokončení obrábění zadního čela turbínového kola byla při kapilární zkoušce detekována indikace, viz obr. č. 45. Turbínové kolo neprošlo kapilární zkouškou a musí být vyřazeno, viz příloha P VII. Indikace byla dále podrobena zkoumáním pod mikroskopem KEYNCE VHX-5000 pro detailnější analýzu, detail zobrazen na obr. č. 46. Jedná se o nekovový vměstek, který je do odlitku infikován v průběhu manipulace se skořepinou před nebo při odlévání. Vada je dána technologii výroby a je vyhodnocována dle modifikované normy ČSN 42 1240 do třídy vad Makroskopické vměstky a vady makrostruktury s pořadovým číslem 500.



Obrázek 45: Indikace při kapilární zkoušce pod UV světlem



Obrázek 46: 20x zvětšená indikace

5.3.2 Návrh opravy u stávajících kusů

Možnosti opravy jsou velmi omezené a záleží na rozsahu vměstku v materiálu. Hranici akceptovatelných a neakceptovatelných indikací definuje norma ČSN EN ISO 3452-2. Turbinové kolo je upnuto do měkkých čelistí na soustruhu a zadní čelo je soustruženo na spodní výkresovou toleranci. Po dodatečném opracování není indikace již vizuálně viditelná, ale případná nevyhovující místa odhalí opakovaná kapilární zkouška. Provedená kapilární zkouška je vyhovující a kolo je možné použít, viz příloha P VIII.

5.3.3 Návrh opravy pro nové odlitky

Modifikace zadního čela, a to zvětšením přídavku materiálu o 1,0 až 1,5mm s následným opracováním na původní rozměr. Personál musí být poučen o šetrné manipulaci se skořepinou.



Obrázek 467: Kapilární zkouška s implementací přídavku 1 mm

ZÁVĚR

Tématem bakalářské práce byly vady odlitků a jejich kontrola. Cílem práce bylo seznámení se slévárenskými vadami, metody kontroly vad a jejich správné pojmenování. Na základě informací z teoretické části správně analyzovat tři rozdílné vzorky a navrhnout vhodný možný způsob opravy.

Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou část.

Teoretická část se dělí do několika kapitol, které vycházejí z odborné české i zahraniční literatury. Popisuje obecné slévárenské vlastnosti kovů a jejich slitin. Způsoby odlévání a ve větším měřítku je rozepsána kapitola vady v odlitcích a jednotlivé metody kontroly pro destruktivní či nedestruktivní testování. Tyto kapitoly jsou detailněji rozepsány z důvodu hlavního tématu bakalářské práce.

Praktická část se zabývá nejprve představením analyzovaných vzorků. Úkolem u jednotlivých vzorků bylo správně analyzovat a klasifikovat vzniklou vadu dle modifikované normy ČSN 42 1240. Po dokončení analýzy a zjištění rozsahu vady u jednotlivých vzorků byla navržena možná oprava u stávajících již postižených dílců. Z důvodu záchrany těchto dílů.

Byl také navržen a jasně definován postup opravy pro nové doposud neexistující odlitky s nutnou realizací opatření před další výrobou. Implementované opatření bylo následně ověřeno na nově vyrobených vzorcích odlitků, určené pro opětovnou analýzu v místě vady. Po ověření je publikován výsledek s úspěšností daného opatření.

Celá práce je obohacena o reálné fotky z výroby pro jasnější porozumění. U všech vybraných vzorků se podařilo zmíněné vady odstranit ke spokojenosti zákazníka a příslušných norem. Nicméně neustálý tlak na zvyšování kvality, vede dodavatele k čím dál lepším výsledkům a obecně ke zlepšování jednotlivých procesů výroby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠKERÍK, Michal et al. *Vizuální metoda stupen I, II: podklady pro školení dle EN 473/ISO 9712, SNT-TC-1A a EN4179/NAS410*. Praha: ATG - Advanced TechnologyGroup, 2012, 133 s.
- [2] SEMERÁK, Jiří. *Modernizace výuky slévárenství* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/34533/1/Semerak.pdf>
- [3] SAHOO, Mahi a Sudhari SAHU. *Principles of metal casting*. Third edition. New York: McGraw-Hill Education, [2014]. ISBN 9780071789752.
- [4] STULOV, V. V., Z. A. TSKHADAIA a O. M. SHAFIEV. Production of Steel Castings in Cylindrical Molds. *Steel in Translation* [online]. 2018, 48(5), 307-312 [cit. 2019-11-25]. DOI: 10.3103/S096709121805011X. ISSN 0967-0912. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.3103/S096709121805011X>
- [5] CAMPBELL, John. *Castings. 2nd ed.* Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0750647906.
- [6] CHASTAIN, Steve. *Metal casting: a sand casting manual for the small foundry*. Jacksonville, FL: Steve Chastain, c2004. ISBN 0-9702203-3-2.
- [7] Skola-auto.cz: *Odlévání* [online]. Folvarčny 2017 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2017/12/Slevarenstvi.pdf>
- [8] CAMPBELL, John. *Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design*. Waltham, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 978-1-85617-809-9.
- [9] Fs.cvut.cz: *TEI – slévání I* [online]. Ing. Aleš Herman, Ph.D. 2016 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/>
- [10] OTÁHAL, Vlastislav. *Vady odlitků Atlas Vady Železné a neželezné slitiny* [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: http://otahalconsult.cz/wpcontent/pdf/Vady_odlitku_vytah.pdf
- [11] ELBEL, Tomáš. *Diagnostika a řízení kvality odlitků* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3356-9. Dostupné z: http://katedry.fmfi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/08_Diagnostika_a_rizeni_kvality_odlitku/Elbel_Diagnostika_a_rizeni_kvality.pdf
- [12] HAMPL, Jiří. *Metallurgie slévárenských slitin* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3357-6. Dostupné z:

http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/09_Metalurgie_slevarenskych_slitin/Hampl_Metalurgie_slevarenskych_slitin.pdf

- [13] ŠENBERGER, J., a kol. *Metalurgie oceli na odlitky. 1. vyd.* Brno: VUT v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008. 311 s. ISBN 987-80-214-3632-9.
- [14] MARTINÁK, Milan. *Kontrola a merianie pro 4. ročník SPŠ strojníckych..* 1. vydání. Bratislava: Alfa - press, 2005. ISBN 80-89004-93-8.
- [15] SCHABOWICZ, Krzysztof. *Non-Destructive Testing of Materials in Civil Engineering. Materials* [online]. 2019, 12(19) [cit. 2020-04-13]. DOI: 10.3390/ma12193237. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/19/3237>
- [16] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení: defektoskopie: encyklopedický přehled metod nedestruktivního zkoušení materiálů a výrobků. 2. doplněné vydání.* Brno: Česká společnost pro nedestruktivní testování, 2015. ISSN 1213-3825.
- [17] DAVIS J. R. *Tensile Testing, 2nd Edition.* OH: ASM International, 2004. ISBN 0-87170-806-X.
- [18] HERRMANN, Konrad. *Hardness testing: principles and applications.* Materials Park, Ohio: ASM International, 2011. ISBN 978-1-61503-832-9.
- [19] ČIŽMÁROVÁ, Elena a Jana SOBOTOVÁ. *Nauka o materiálu I. a II.: cvičení.* V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.
- [20] SHARMA, Shubham, Vikas UCHARIA, Chetan SHARMA a Rupinder SINGH KANWAR. INVESTIGATION AND ANALYSIS OF METAL CASTING DEFECTS BY USING QUALITY CONTROL TOOLS. *Industrial Engineering Journal* [online]. 2018, 11(5) [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.26488/IEJ.11.5.1067. Dostupné z: <http://iie-iej.ivyscientific.org/view-article?paper=1067>
- [21] MCGRAW, Hill. *Manufacturing Technology, Volume 1.* India: McGraw Hill Education Private Limited, 2019. ISBN-13: 978-93-5316-051-7.
- [22] ČECH, Jaroslav. *Uplatnění moderních trendů při zvyšování konkurenceschopnosti slévárenské výroby: teze přednášky ke jmenování profesorem v oboru Strojírenská technologie.* Brno: VUTIUM, 2003. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. ISBN 80-214-2280-7.

- [23] Magnetická metoda prášková: *Magnetická kontrola*. In: WELDINSPECT [online]. [cit. 2020-4-12]. Dostupné z: <https://weldinspect.cz/metody/magneticka-metoda-praskova/>
- [24] S, Mr. Patil Sachin a Prof. Naik Girish R. Defect Minimization in Casting through Process Improvement-A Literature Review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* [online]. 2017, 14(2), 09-13 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.9790/1684-1402010913. ISSN 2320334X. Dostupné z: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol14-issue2/Version-1/B1402010913.pdf>
- [25] INGLE, Vaibhav a Madhukar SORTE. Defects, Root Causes in Casting Process and Their Remedies: Review. *International Journal of Engineering Research and Applications* [online]. 2017, 07(03), 47-54 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.9790/9622-0703034754. ISSN 22489622. Dostupné z: http://www.ijera.com/papers/Vol17_issue3/Part-3/F0703034754.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem evropskou
NDT	Nedestruktivní zkoušky
ASTM	Americká společnost pro zkoušení a materiály
E	Modul pružnosti
A	Tažnost
Z	Kontrakce
D	Průměr
h	hloubka
HB	Jednotky pro Brinellovu zkoušku tvrdosti
HV	Jednotky pro Vickersovu zkoušku tvrdosti
HRA	Jednotky pro Rockwellovu zkoušku tvrdosti
HRB	Jednotky pro Rockwellovu zkoušku tvrdosti
HRC	Jednotky pro Rockwellovu zkoušku tvrdosti
R _p	Mez kluzu
R _m	Mez pevnosti v tahu
nm	Nanometr
ot/min	Otáček za minutu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Postupné tuhnutí dendritické struktury [1].....	11
Obrázek 2: Charakteristický tvar dendritů [1]	11
Obrázek 3: Objemové změny při tuhnutí odlitků [1].....	12
Obrázek 4 Lití do pískové formy [7]	15
Obrázek 5: Kokila používaná pro odlévání kulek [1].....	15
Obrázek 6: Lití na vytavitelný model [1].....	17
Obrázek 7: Řediny (443).....	21
Obrázek 8: Vnitřní uzavřené staženiny (442)	22
Obrázek 9: Vznik trhliny [1].....	23
Obrázek 10: Prasklina (320)	23
Obrázek 11: Drsný povrch (211)	24
Obrázek 12: Povrchové připečeniny (212)	25
Obrázek 13: Hluboké připečeniny (213)	26
Obrázek 14: Zálup	26
Obrázek 15: Vyboulení [1]	27
Obrázek 16: Utržení, sesutí [11]	28
Obrázek 17: Eroze [11].....	28
Obrázek 18: Žilkovité výronky.....	29
Obrázek 19: Zadrobeniny (521).....	30
Obrázek 20: Rozplavený písek (522).....	30
Obrázek 21: Odpadnutý nátěr (523)	31
Obrázek 22: Kovové vměstky (550).....	31
Obrázek 23: Kontrolované místo odlitku.....	38
Obrázek 24: Nedostatečně rozpuštěná podpěrka	39
Obrázek 25: Odebraný rozříznutý vzorek.....	39
Obrázek 26: Příprava na kapilární zkoušku.....	40
Obrázek 27: Detekce vady po zkoušce	41
Obrázek 28: Detekce vady v detailu	41
Obrázek 29: Podpěrka před zkouškou	42
Obrázek 30: Podpěrka po zkoušce, viz protokol č. III.....	42
Obrázek 31: Připravený povrch pro aplikování tmelu.....	43
Obrázek 32: Vzorek z nové dávky.....	44
Obrázek 33: Vyhovující kapilární zkouška	44
Obrázek 34: Původní (vlevo) a nový (vpravo) typ podpěrek	45

Obrázek 35: Zkoumaný odlitek	45
Obrázek 36: Detail vad ze strany spirály	46
Obrázek 37: Kapilární zkouška.....	46
Obrázek 38: Odebírání materiálu v hloubce 10mm.....	47
Obrázek 39: Odebírání materiálu v hloubce 16 mm.....	47
Obrázek 40: Zkouška magnetem	48
Obrázek 41: Zkouška ultrazvukem (odrazová metoda).....	49
Obrázek 42: Upravený vtokový přívodní kanál.....	49
Obrázek 43: Hrubý odlitek	50
Obrázek 44: Výskyt vady na čele po obrábění	50
Obrázek 45: Indikace při kapilární zkoušce pod UV světlem	51
Obrázek 46: 20x zvětšená indikace	51
Obrázek 47: Kapilární zkouška s implementací přídavku 1 mm.....	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Smršťování kovů a slitin [3]	13
Tabulka 2: Doporučené lící teploty [9]	14
Tabulka 3: Četnost výskytu neopravitelných vad odlitků (zmetkovitost v %) [12]	19

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Seznam tříd, skupin a vad odlitků [11]

Příloha P II: Roztřídění vad odlitků podle skupin a druhů v ČSN 42 1240

Příloha P III: Protokol o kapilární zkoušce

Příloha P IV: Protokol o kapilární zkoušce po opravě

Příloha P V: Protokol vizuální kontroly

Příloha P VI: Protokol ultrazvukové zkoušky

Příloha P VII: Protokol o kapilární zkoušce

Příloha P VIII: Protokol o kapilární zkoušce po opravě

PŘÍLOHA P I: SEZNAM TŘÍD, SKUPIN A VAD ODLITKŮ

Seznam vad odlitků tříd 100 a 200						
Třída vad		Skupina vad		Druh vad		
Poř. čís.	Náz.	Poř. čís.	Název	Poř. čís.	Název	
100	Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti	110	Chybějící část odlitku bez lomu	111 112 113 114 115 116 117	Nezaběhnutí Nedolití Vytečený kov Špatná oprava formy Přetryskaný odlitek Omačkání, potlučení, pohmoždění Nesprávně upálený, odřezaný a obroušený odlitek	
		120	Chybějící část odlitku s lomem	121 122 123	Ulomené část odlitku za tepla Ulomené část odlitku za studena Vyštípnutí	
		130	Nedodržení rozměrů, nesprávný tvar	131 132 133 134	Špatný model Přesazení Nevyhovující rozměry Zborcení, deformace	
		140	Nedodržení hmotnosti odlitků			
200	Vady povrchu	210	Přípečeniny	211 212 213	Drsný povrch Povrchové přípečeniny Hluboké přípečeniny, zapečeniny	
		220	Zálupy	221 222 223	Zálup na horní ploše formy Zálup na dně formy Zálupové síťoví	
		230	Nárosty	231 232 233 234	Vyboulení Odření, shrnutí Utržení, sesutí Erose	
		240	Výronky			
		250	Výpotky			
		260	Zatekliny	261 262 263	Zatekliny způsobené netěsností formy Prasklé jádro Prasklá forma	
		270	Nepřavidelnosti povrchu odlitku	271 272 273 274 275 276 277	Pomerančová kůra Zvrásnění povrchu Neštovice místní a čárové Okujení, opálení Krupičky Dolíčková a kanálková koroze Chemická koroze	
		280	Vady povrchové ochrany odlitku			

PŘÍLOHA P I: POKRAČOVÁNÍ I

Seznam vad odlitků tříd 300, 400 a 500					
Třída vad		Skupina vad		Druh vady	
Poř. čís.	Náz.	Poř. čís.	Název	Poř. čís.	Název
300	Porušení souvislosti	310	Trhliny	311 312 313	Povrchové trhliny Podpovrchové trhliny Vnitřní trhliny
		320	Praskliny		
		330	Porušení souvislosti z důvodu mechanického poškození odlitku	331 332	Lom za tepla Lom za studena
		340	Porušení souvislosti z důvodu nespojení kovu	341 342	Zavaleniny Nedokonalý svar
400	Dutiny	410	Bubliny	411 412 413 414 415	Bubliny způsobené kyslíkem Bubliny způsobené vodíkem Bubliny způsobené dusíkem Zahlcený plyn Síťkovité bubliny
		420	Bodliny		
		430	Odvařeniny	231 232 233	Odvařeniny od formy, jádra Odvsřeniny od chladítek a zalévaných předmětů Odvařeniny od vměstků
		440	Staženiny	441 442 443 444 445 446	Otevřené staženiny Vnitřní, uzavřené staženiny Řediny Staženiny od jader nebo ostrých hran formy Povrchové propadliny Plynové staženiny
		510	Struskovitost	511 512	Struskovitost exogenní Sekundární struskovitost
500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	520	Nekovové vměstky	521 522 523 524 525 526	Zadrogeniny Rozplavený písek Odpadnutý nátěr Oxidické pleny Grafitové pleny Černé skvrny
		530	Makrosegregace a vycezeniny	531 532 533 534	Gravitační odmíšení Makroodmíšení Stvolové vycezeniny Mezerové vycezeniny
		540	Broky		
		550	Kovové vměstky		
		560	Nevyhovující lom		


PŘÍLOHA P I: POKRAČOVÁNÍ II

Seznam vad odlitků tříd 600 a 700					
Třída vad		Skupina vad		Druh vad	
Poř. čís.	Náz.	Poř. čís.	Název	Poř. čís.	Název
600	Vady mikrostruktury	610	Mikroskopické dutiny	611	Mikrostaženiny
				612	Mikrobubliny
				613	Mikrotrhliny
		620	Vměstky		
		630	Nesprávná velikost zrna		
		640	Nesprávný obsah strukturních složek		
		650	Zatvrdlina, zákalka		
		660	Obrácená zákalka		
670	Oduhličení povrchu				
680	Jiné odchylky od mikrostruktury				
700	Vady chem. složení a vlastností odlitků	710	Nesprávné chemické složení		
		720	Odchylky hodnot mechanických vlastností		
		730	Odchylky hodnot fyzikálních vlastností		
		740	Nevyhovující homogenita odlitku		

PŘÍLOHA P II: ROZTRŽIDĚNÍ VAD ODLITKŮ PODLE SKUPIN A DRUHŮ V ČSN 42 1240

Číslo skupiny vad	Název skupiny vad	Číselné označení vady	Název druhu vady
1	Vady tvaru, rozměrů a váhy	11	Nezaběhnutí
		12	Přesazení
		13	Zatekliny
		14	Vyboulení
		15	Zborcení
		146	Mechanické poškození
		17	Nedodržení rozměrů
		18	Nedodržení váhy
2	Vady povrchu	21	Přípečeniny
		22	Zavaleniny
		23	Zálupy
		24	Nárosty, strupy
		25	Výronky
		26	Výpotky
		27	Opálení, okujení
		28	Omačkání, potlučení, pohmoždění
3	Porušení souvislosti	31	Trhliny
		32	Praskliny
4	Dutiny	41	Bubliny
		42	Bodliny
		43	Staženiny
		44	Řediny
		45	Mikrostaženiny
		46	Mikrobubliny
5	Vměstky	51	Struskovitost
		52	Zadobeniny
		53	Nekovové vměstky
		54	Broky
		55	Kovové vměstky
6	Vady struktury	61	Odmíšení
		62	Nevyhovující lom
		63	Zatvrdlina, zákalka
		64	Obrácená zákalka
		65	Nesprávná struktura
7	Vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti	71	Nesprávné chemické složení
		72	Nevyhovující mechanické vlastnosti
		73	Nevyhovující fyzikální vlastnosti

PŘÍLOHA P III: PROTOKOL O KAPILÁRNÍ ZKOUŠCE

<h2 style="margin: 0;">Protokol o kapilární zkoušce</h2> <p style="margin: 0;"><i>Dye-Penetrant Test Report</i></p>				 <p style="font-size: small; margin: 0;">nedestruktivní zkoušení materiálů S.T.O.</p>	
Protokol číslo: <i>Report No.:</i> 191107		List č.: <i>Page:</i> 1		Z: <i>Of:</i> 1	
Zákazník: <i>Client:</i>		Zakázkové číslo: <i>Order No.:</i> V1909837/1		Číslo položky: <i>Item No.:</i> 11.50632-9051	
Objekt: <i>Object:</i> Odlitek				Typ: <i>Type:</i> NR 20	
Výrobní výkres: <i>Drawing No.:</i>		Zkoušená část: <i>Tested part:</i> Určená oblast		Zákl. materiál: <i>Material:</i>	
Stav zkuš. povrchu: <i>Surface kondition:</i>		Rozsah zkoušky: <i>Extent of Examination:</i> 100%		Před/po tep. zpracování: <i>Before/after heattreatment:</i>	
Zkušební postup: <i>Specification:</i> TOP 82039			Zkušební instrukce: <i>Procedure:</i> TOP 82039		
Zkušební systém: <i>Test systém:</i> IICe			Způsob penetrace: <i>Penetration proces:</i> Spray		
Penetrační čas: <i>Pen. Time:</i> 30 min		Teplota objektu: <i>Temperature of object:</i> 20°C		Předčistění: <i>Precleaning:</i> Summa PS	
Penetrant: <i>Penetrant:</i> Sherwin HM602		Čistič: <i>Cleaner:</i> Sherwin DR 60		Vývojka: <i>Developer:</i> Sherwin D90G	
Vyvíjecí čas: <i>Dev. time:</i> 30 min			Výrobce UV lampy: <i>UV-lamp manufacturer:</i> -		
Výsledky: <i>Results:</i>		6 VYHOVUJE <i>Accepted</i>	14 NEVYHOVUJE <i>No Accepted</i>	0 VYHOVUJE PO OPRAVĚ <i>Accepted after repair</i>	
1: MIK10002 - N 2: MIK10003 - N 3: MIK10004 - N 4: MIK10005 - A 5: MIK10006 - N 6: MIK10007 - N 7: MIK10008 - N 8: MIK10009 - N 9: MIK10010 - N 10: MIK10011 - A 11: MIK10012 - N 12: MIK10013 - A 13: MIK10014 - N 14: MIK10015 - A 15: MIK10016 - N 16: MIK10017 - A 17: MIK10018 - N 18: MIK10019 - N 19: MIK10020 - A 20: MIK10021 - N					
Hodnocení: A – Vyhovuje, N – nevhovuje, AR – Vyhovuje po opravě <i>Evaluation: A – Accepted, N – No accepted, AR – Accepted after repair</i>				Tento dokument byl vytvořen automaticky a je platný i bez podpisu. <i>This document has been created automatically and is valid without signature.</i>	
Místo zkoušky/datum: <i>Examination place/date:</i> 12.1.2020			Zkoušku provedl: <i>Operator:</i>		

PŘÍLOHA P IV: PROTOKOL O KAPILÁRNÍ ZKOUŠCE PO OPRAVĚ

<h2 style="margin: 0;">Protokol o kapilární zkoušce</h2> <p style="margin: 0;"><i>Dye-Penetrant Test Report</i></p>				<p style="font-size: small; margin: 0;">nedestruktivní zkoušení materiálů S.T.O.</p>	
Protokol číslo: <i>Report No:</i> 191146		List č.: <i>Page:</i> 1	Z: <i>Of:</i> 1	Pod Strání 2139/14 678 01 BLANSKO	
Zákazník: <i>Client:</i>		Zakázkové číslo: <i>Order No.:</i> V1909837/1		Číslo položky: <i>Item No.:</i> 11.50632-9051	
Objekt: <i>Object:</i> Odlitek				Typ: <i>Type:</i> NR 20	
Výrobní výkres: <i>Drawing No.:</i>		Zkoušená část: <i>Tested part:</i> Určená oblast		Zákl. materiál: <i>Material:</i>	
Stav zkuš. povrchu: <i>Surface kondition:</i>		Rozsah zkoušky: <i>Extent of Examination:</i> 100%		Před/po tep. zpracování: <i>Before/after heattreatment:</i>	
Zkušební postup: <i>Specification:</i> TOP 82039			Zkušební instrukce: <i>Procedure:</i> TOP 82039		
Zkušební systém: <i>Test systém:</i> IICe			Způsob penetrace: <i>Penetration proces:</i> Spray		
Penetrační čas: <i>Pen. Time:</i> 30 min		Teplota objektu: <i>Temperature of obect:</i> 20°C		Předčistění: <i>Precleaning:</i> Summa PS	
Penetrant: <i>Penetrant:</i> Sherwin HM602		Čistič: <i>Cleaner:</i> Sherwin DR 60		Vývojka: <i>Developer:</i> Sherwin D90G	
Vyvíjecí čas: <i>Dev. time:</i> 30 min			Výrobce UV lampy: <i>UV-lamp manufacturer:</i> -		
Výsledky: <i>Results:</i>	1	VYHOVUJE <i>Accepted</i>	0	NEVYHOVUJE <i>No Accepted</i>	0
<i>Accepted after repair</i>					
<p>1: MIK10002 -A</p>					
Hodnocení: A – Vyhovuje, N – nevhovuje, AR – Vyhovuje po opravě <i>Evaluation: A – Accepted, N – No accepted, AR – Accepted after repair</i>			Tento dokument byl vytvořen automaticky a je platný i bez podpisu. <i>This document has been created automatically and is valid without signature.</i>		
Místo zkoušky/datum: <i>Examination place/date:</i> 15.1.2020			Zkoušku provedl: <i>Operator:</i>		

PŘÍLOHA P V: PROTOKOL VIZUÁLNÍ KONTROLY



Sichtprüfung (VT)

Kunde :

--	--	--	--

Auftrags-Nr. / Modellbezeichnung : *Prüfung und Beurteilung nach :*

Turbinenzuströmgeh.

Werkstoff / Wärmebehandlung : *Prüfumfang /Prüfbereich :*

EN-GJS-SiMo 4.05 / Ferritisch glühen **100%**

Hauptabmessungen / Oberflächenzustand : *Prüftechnik :* direkte Prüfung *indirekte Prüfung*
360x360x170 / gestrahlt *Prüfziel :* Maßkontrolle *Oberflächenrauheit*
Gestaltabweichung *Detailprüfung*

Angaben zur Betrachtung	Angaben zu Mess- und Hilfsmittel
-------------------------	----------------------------------

Geräteausrüstung : Lichtquelle *Verwendete Vergleichsmuster und/oder Vergleichskörper :*
Aquivalent SCRATA

Beleuchtungsstärke in lx : 2800 - 3400

Luxmeter (Hersteller/Typ/Nr.) :
AMPROBE / LM-100 / S/N 14030210


Ergebnisse / Results

Probenummer: <i>Charge No.</i>	Gießd. <i>pooring Date</i>	Bewertung <i>Evaluation</i>	MID-Nr.:	Bemerkungen: <i>Remarks</i>
382	13D8K	i.O.	670	
380	13D8K	i.O.	637	
1609	27K7L	i.O.	449	
382	13D8K	i.O.	575	
380	13D8K	i.O.	634	


Gesamtbeurteilung : 78 Teile sind i.O.

Prüfer / Examiner	Datum / Date	Unterschrift / Sign


PŘÍLOHA P VI: PROTOKOL ULTRAZVUKOVÉ ZKOUŠKY

 Sichtprüfung (VT)				
Kunde :				
Auftrags-Nr. / Modellbezeichnung :		Prüfung und Beurteilung nach :		
Turbinenzuströmgeh.				
Werkstoff / Wärmebehandlung :		Prüfumfang /Prüfbereich :		
EN-GJS-SiMo 4.05 / Ferritisch glühen		100%		
Hauptabmessungen / Oberflächenzustand :		Prüftechnik : direkte Prüfung indirekte Prüfung		
360x360x170 / gestraht		Prüfziel : Maßkontrolle Oberflächenrauheit Gestaltabweichung Detailprüfung		
Angaben zur Betrachtung		Angaben zu Mess- und Hilfsmittel		
Geräteausrüstung : Lichtquelle		Verwendete Vergleichsmuster und/oder Vergleichskörper : Aquivalent SCRATA		
Beleuchtungsstärke in lx : 2800 - 3400				
Luxmeter (Hersteller/Typ/Nr.) : AMPROBE / LM-100 / S/N 14030210				
Ergebnisse / Results				
Probenummer: <i>Charge No.</i>	Gießd. <i>pooring Date</i>	Bewertung <i>Evaluation</i>	MID-Nr.:	Bemerkungen: <i>Remarks</i>
382	13D8K	i.O.	670	
380	13D8K	i.O.	637	
1609	27K7L	i.O.	449	
382	13D8K	i.O.	575	
Gesamtbeurteilung : 78 Teile sind i.O.				
Prüfer / Examiner		Datum / Date		Unterschrift / Sign

PŘÍLOHA P VII: PROTOKOL O KAPILÁRNÍ ZKOUŠCE

<h2 style="margin: 0;">Protokol o kapilární zkoušce</h2> <p style="margin: 0;"><i>Dye-Penetrant Test Report</i></p>				 <p style="margin: 0; font-size: small;">nedestructivní zkoušení materiálů S.T.O.</p>	
Protokol číslo: <i>Report No.:</i> 190727		List č.: <i>Page:</i> 1		Z: <i>Of:</i> 1	
Zákazník: <i>Client:</i>		Zakázkové číslo: <i>Order No.:</i> V1817366/1		Pod Strání 2139/14 678 01 BLANSKO	
Objekt: <i>Object:</i> Turbínové kolo				Číslo položky: <i>Item No.:</i>	
Výrobní výkres: <i>Drawing No.:</i>				Typ: <i>Type:</i> TCR12	
Zkoušená část: <i>Tested part:</i> DÍLEC		Zákl. materiál: <i>Material:</i>		Stav zkuš. povrchu: <i>Surface kondition:</i>	
Rozsah zkoušky: <i>Extent of Examination:</i> 100%		Před/po tep. zpracování: <i>Before/after heattreatment:</i>		Zkušební postup: <i>Specification:</i> TOP 82039	
Zkušební instrukce: <i>Procedure:</i> I-PT-14-10		Zkušební systém: <i>Test systém:</i> IAa		Způsob penetrace: <i>Penetration proces:</i> Immersion	
Penetrační čas: <i>Pen. Time:</i> 30 min		Teplota objektu: <i>Temperature of obect:</i> 20°C		Předčištění: <i>Precleaning:</i> Summa PS	
Penetrant: <i>Penetrant:</i> Sherwin HM602		Čistič: <i>Cleaner:</i> Water		Vývojka: <i>Developer:</i> Sherwin D90G	
Vyvíjecí čas: <i>Dev. time:</i> 30 min		Výrobce UV lampy: <i>UV-lamp manufacturer:</i> Interflux			
Výsledky: <i>Results:</i>		0	VYHOVUJE <i>Accepted</i>	1	NEVYHOVUJE <i>No Accepted</i>
0		VYHOVUJE PO OPRAVĚ <i>Accepted after repair</i>		0	
1: M91260 - N					
Hodnocení: A – Vyhovuje, N – nevhovuje, AR – Vyhovuje po opravě <i>Evaluation: A – Accepted, N – No accepted, AR – Accepted after repair</i>			Tento dokument byl vytvořen automaticky a je platný i bez podpisu. <i>This document has been created automatically and is valid without signature.</i>		
Místo zkoušky/datum: <i>Examination place/date:</i> 12.2.2020			Zkoušku provedl: <i>Operator:</i>		

PŘÍLOHA P VIII: PROTOKOL O KAPILÁRNÍ ZKOUŠCE PO OPRAVĚ

<h2 style="margin: 0;">Protokol o kapilární zkoušce</h2> <p style="margin: 0;"><i>Dye-Penetrant Test Report</i></p>			 <p style="margin: 0; font-size: small;">Pod Strání 2139/14 678 01 BLANSKO</p>		
Protokol číslo: <i>Report No.:</i>	190864	List č.: <i>Page:</i>	1	Z: <i>Of:</i>	1
Zákazník: <i>Client:</i>	Zakázkové číslo: <i>Order No.:</i> V1817366/1			Číslo položky: <i>Item No.:</i>	
Objekt: <i>Object:</i>	Turbínové kolo			Typ: <i>Type:</i> TCR12	
Výrobní výkres: <i>Drawing No.:</i>	Zkoušená část: <i>Tested part:</i> DÍLEC			Zákl. materiál: <i>Material:</i>	
Stav zkuš. povrchu: <i>Surface kondition:</i>	Rozsah zkoušky: <i>Extent of Examination:</i> 100%			Před/po tep. zpracování: <i>Before/after heattreatment:</i>	
Zkušební postup: <i>Specification:</i>	TOP 82039		Zkušební instrukce: <i>Procedure:</i>	I-PT-14-10	
Zkušební systém: <i>Test systém:</i>	IAa		Způsob penetrace: <i>Penetration proces:</i>	Immersion	
Penetrační čas: <i>Pen. Time:</i>	30 min		Teplota objektu: <i>Temperature of obect:</i>	20°C	
Penetrant: <i>Penetrant:</i>	Sherwin HM602		Čistič: <i>Cleaner:</i>	Water	
Vyvíjecí čas: <i>Dev. time:</i>	30 min		Výrobce UV lampy: <i>UV-lamp manufacturer:</i>	Interflux	
Výsledky: <i>Results:</i>	0	VYHOVUJE <i>Accepted</i>	0	NEVYHOVUJE <i>No Accepted</i>	1
<i>Accepted after repair</i>					
1: M91260 - A					
Hodnocení: A – Vyhovuje, N – nevhovuje, AR – Vyhovuje po opravě <i>Evaluation: A – Accepted, N – No accepted, AR – Accepted after repair</i>			Tento dokument byl vytvořen automaticky a je platný i bez podpisu. <i>This document has been created automatically and is valid without signature.</i>		
Místo zkoušky/datum: <i>Examination place/date:</i>			Zkoušku provedl: <i>Operator:</i>		
15.2.2020					