

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

## Fakulta strojní



## Racionalizace technologie výroby ocelového odlitku čerpadla

**Bakalářská práce**

**Autor:**

**David Kabilka**

**Studijní program:**

**Výroba a ekonomika ve strojírenství**

**Studijní obor:**

**Technologie, materiály a ekonomika  
strojírenství**

**Vedoucí práce:**

**Ing. Aleš Herman, Ph.D.**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kabilka** Jméno: **David** Osobní číslo: **419929**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Racionalizace technologie výroby ocelového odlitku čerpadla**

Název bakalářské práce anglicky:

**The rationalization of production technology pump casting from steel**

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod
2. Vady ocelových odlitků
3. Oceli na odlitky a základní metalurgie ocelových slitin
4. Popis výroby odlitku čerpadla a analýza problémů
5. Návrh změn technologie a zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

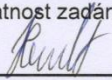
**Ing. Aleš Herman Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

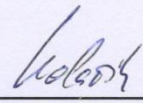
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

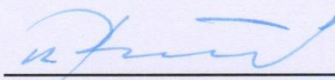
Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**

  
Podpis vedoucí(ho) práce

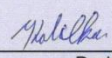
  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

3.5.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne .....

.....  
podpis

# **Poděkování**

Tímto děkuji panu Ing. Aleši Hermanovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

# **Abstrakt**

Tato práce se zabývá problematikou vad, které se vyskytují u ocelových odlitků. Začátek práce popisuje vývoj klasifikace vad odlitků, dále definuje klasifikaci vad odlitků a jejich dělení. V praktické části se zabývá zkoumáním vady vzniklé na ocelovém odlitku čerpadla.

# **Klíčová slova**

Vady odlitků, oceli na odlitky.

# **Abstract**

This bachelor thesis deals with issues of defects which appear at casts from steel. The first part describes the process of casting defects. The thesis then defines the classification of casting defects and their structure. In the practical part, the bachelor thesis focuses on the inspection of the defect which appeared on the steel cast of the pump.

# **Keywords**

Casting defects, steel for castings.

# Obsah

Úvod.....	8
1 Klasifikace vad odlitků z pohledu historie.....	9
2 Vady ocelových odlitků .....	10
2.1 Vady povrchu (200).....	11
2.1.1 Drsný povrch (211), povrchové připečeniny (212) .....	11
2.1.2 Hluboké připečeniny, zapečeniny (213).....	12
2.1.3 Zálupy (220).....	13
2.1.4 Nárosty (230).....	14
2.1.5 Výronky (240).....	14
2.1.6 Pomerančová kůra (271) .....	15
2.1.7 Zvrásnění povrchu (272) .....	15
2.1.8 Neštovice (273) .....	15
2.1.9 Okujení, opálení (274).....	16
2.2 Dutiny (400) .....	16
2.2.1 Bubliny (410) .....	17
2.2.2 Zahlcený plyn (414), Síťkovité bubliny (415) .....	18
2.2.3 Bodliny (420) .....	19
2.2.4 Odvařeniny (430) .....	19
2.2.5 Staženiny (440) .....	20
2.3 Makroskopické vměstky a vady makrostruktury (500).....	21
2.3.1 Struskovitost (510).....	21
2.3.2 Nekovové vměstky (520) .....	22
2.3.3 Makrosegregace a vycezeniny (530).....	22
2.3.4 Broky (540), kovové vměstky (550), nevyhovující lom (560).....	23
2.4 Vady mikrostruktury (600).....	24
2.4.1 Mikroskopické dutiny (610).....	24
2.4.3 Nesprávná velikost zrna (630).....	25

2.4.4 Nesprávný obsah strukturních složek (640) .....	26
2.4.6 Jiné vady mikrostruktury (680) .....	26
2.5 Vady chemického složení a vlastností odlitků (700) .....	27
2.5.1 Nesprávné chemické složení (710) .....	27
3 Oceli na odlitky a základní metalurgie slitin .....	29
3.1 Oceli na odlitky .....	30
3.1.1 Uhlíkové oceli na odlitky .....	31
3.1.2 Slitinové oceli na odlitky .....	31
3.2 Tavení kovů ve slévárnách .....	32
3.3 Pece pro tavení oceli .....	32
3.3.1 Elektrické obloukové pece .....	32
3.3.2 Elektrické indukční pece .....	34
3.4 Dezoxidace oceli .....	35
4 Popis výroby odlitku čerpadla a analýza problémů .....	38
4.1 Analýza problémů .....	39
4.2 Hypotézy vzniku vad .....	44
4.3 Vyhodnocení hypotéz .....	44
4.3.2 Ad. Hypotéza č. 2 .....	50
4.3.3 Ad. Hypotéza č. 3 .....	50
Závěr: .....	51
Seznam použitých zdrojů .....	52
Přílohy .....	55

# Úvod

Slitiny jsou základním kovovým konstrukčním materiálem. Jejich vlastnosti se dají ovlivnit snadněji než u čistých kovů. Slitiny jsou buďto homogenní (mají ve všech částech stejné fyzikální i chemické vlastnosti) nebo jsou tvořeny heterogenní směsí a skládají se z částí různých vlastností. Slitiny mohou být tvořeny více než dvěma prvky. Jejich krystalizace neprobíhá v celém objemu naráz, ale začne (dej tam stejný vid buď neprobíhá začíná nebo neproběhne začne) v řadě mikroskopických objemů vznikem krystalizačních zárodků. Mezi nejdůležitější a průmyslově nejpoužívanější slitiny se řadí oceli. Z ocelí se vyrábí rozsáhlé množství výrobků, jejich počátek je vždy polotovar ve formě ingotů nebo odlitků různých velikostí a tvarů.

Tato práce je zaměřena na vady ocelového odlitku čerpadla, a speciálně na vady vzniklé na spodní straně odlitku.

Jejím cílem je zjistit důvod vzniku vad odlitku a navrhnout jinou technologii či metalurgii při výrobě odlitku.



# 1 Klasifikace vad odlitků z pohledu historie

Správné určení druhu vady je nezbytné pro následné stanovení původu vady, její příčiny vzniku a prostředků nutných k zabránění jejího vytvoření. První práce slévárenských odborníků vznikly už před druhou světovou válkou. S rozvíjející se technikou a poznáním o slévárenských pochodech při tvorbě litých polotovárů se klasifikace vad odlitků neustále upřesňovala a rozšiřovala. První atlas vad odlitků vznikl na území britského slévárenského institutu v roce 1946. Jeho druhé revidované vydání z roku 1961 popisuje 54 vad seřazených abecedně. V padesátých letech minulého století byly vypracovány příručky vad odlitků všemi průmyslově vyspělými zeměmi včetně tehdejšího Československa. Pánové Plešinger (pro šedou litinu) a Příbyl (pro ocel) zpracovali kvalitní monografie se směrnicemi pro posuzování vad odlitků a s návody pro odstranění těchto defektů. Na základě těchto dvou příruček byla roku 1955 vydána norma ČSN 42 1240, která byla v roce 1965 novelizována. Tato norma obsahuje 37 druhů vad, které jsou rozříděny do 7 skupin. Uvedené třídění vad odlitků platí pro všechny typy slévárenských slitin bez ohledu na způsob výroby a technologii odlévání [1].

Nejpodrobnější atlas vad odlitků byl vydán ve Francii jako společné dílo uznávaných odborníků z 18 zemí pod záštitou Mezinárodní slévárenské společnosti (CIATF). Jeho první díl byl vydán v roce 1952, druhý pak v roce 1955. V těchto dvou publikacích bylo uvedeno celkem 200 vad, které se vyskytují na odlitcích ze slitin železa a neželezných kovů. Tyto vady byly rozřazeny do 9 skupin a označeny pomocí čtyřmístného číselného kódu. V roce 1965 vyšlo přepracované vydání a tím vznikla nejpracovavější klasifikace vad odlitků pro všechny druhy slitin na odlévání. V tomto dokumentu jsou vady rozříděny do 7 tříd, 17 skupin, 41 podskupin se 109 vadami. Každá vada je popsána čtyřmístným znakem. V Sovětském svazu byla ve stejnou dobu jako u nás vydána příručka, která obsahuje 36 vad zařazených do 9 skupin. Velmi podrobnou normu mělo také Polsko. Norma zahrnovala 64 vad rozříděných do 5 skupin [1,7].

Nové poznatky o příčinách a tvorbě vad odlitků vyžadovaly přepracování jednoduché klasifikace vad používané v normě ČSN 42 1240 s dvojciferným značením. Tato značení nedovoluje další rozšiřování počtu vad, zejména v první a druhé skupině. Byl podán návrh na značení vad trojmístným kódem. Tento návrh byl vydán ve formě samostatné publikace Českého výboru slévárenské společnosti roku ČSVTS. Nová klasifikace byla rozšířena, vady byly rozčleněny podle příčin vzniku. Klasifikace zahrnuje 108 možností jak popsat vadu slévárenského výrobku. Vady byly rozčleněny do 7 tříd, které mají své charakteristické číslo 100 až 700. Třídy se dále dělí na 38 skupin vad, z tohoto počtu jich 20 vyjadřuje přímo vadu, zbylých 18 skupin se dělí na 70 jednotlivých vad. Tato klasifikace respektuje značení Mezinárodního atlasu vad odlitků i jeho rozřídění vad. Snahou autorů bylo také ponechání terminologie vad i základního číslování vad z ČSN 42 1240. Návrh klasifikace vad odlitků je zobrazen v příloze 1, původní klasifikace je zobrazena v příloze 2.

## 2 Vady ocelových odlitků

Ke zjištění příčin vzniku vad, k hledání způsobů k jejich odstranění a předejití jejich vzniku je potřebná znalost technologie odlévání, zákonitosti slévárenských pochodů a zařízení, potřebných k výrobě odlitku. Mnoho příčin pramení z nevhodné konstrukce odlitku, jak z jeho tvaru, tak z nesprávně zvoleného materiálu. Další příčiny spočívají také v metalurgii. Je zapotřebí dodržet přesné chemické složení materiálu, ale také musí být dodrženy všechny zásady tavby a úpravy tekutého kovu včetně dodržení předepsaných teplot. Veliké množství zmetků bývá zapříčiněno špatně zvoleným výrobním postupem. Nejčastější příčinou je stále lidská chyba, při nedodržení správné slévárenské výroby odlitku [3].

Ve slévárenství se nejčastěji vyskytují vady ocelových odlitků patřící do kategorií: *vady povrchu (200)*, *dutiny (400)*, *makroskopické vměstky a vady makrostruktury (500)*, *vady mikrostruktury (600)* a *vady chemického složení a vlastností odlitků (700)* [2].

Vadou odlitku je rozuměna dle zmíněných příruček a norem každá odchylka rozměrů, hmotnosti, vzhledu, struktury, celistvosti, chemického složení nebo mechanických či fyzikálních vlastností od příslušných norem, standardů, výkresů a technických podmínek. Vady se zjišťují vizuálně, měřením, vážením nebo také laboratorními zkouškami a nedestruktivními metodami.

Výraz „vada odlitku“ má podmíněný výraz. Dle ustanovených příslušných norem nebo technických podmínek se může stát, že stejná odchylka je někdy vadou přípustnou, jindy nepřípustnou, opravitelnou nebo odstranitelnou. Vady odlitku se tedy dělí na [3]:

**Skrytá vada** – vada, kterou lze odhalit až po obrobení odlitku nebo speciálními měřidly či prostředky, například prorýsováním, nebo za pomoci vhodných přístrojů či laboratorních zkoušek. Většina těchto vad se nachází uvnitř odlitku [2,3].

**Zjevná vada** – vada, kterou lze zjistit při prohlídce neobrobeného odlitku vizuálně nebo jednoduchými pomocnými měřidly. Jedná se především o vnější povrchové vady.

Podle odchylky od předem sjednané jakosti mezi výrobcem a odběratelem se vady dělí na:

**Přípustná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, kterou tyto dokumenty připouštějí nebo ji výslovně nezakazují [3,11].

**Nepřípustná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, která nelze odstranit opravením, nebo jejíž oprava je podle sjednaných podmínek nebo příslušných norem nepřípustná. Odlitek, který obsahuje nepřípustnou vadu, se označuje termínem neshodný výrobek [2,3].

**Opravitelná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, jejíž oprava vhodným způsobem (zavařením, vyrovnáním, vyžiháním) je dle sjednaných podmínek nebo příslušných norem povolena nebo není výslovně zakázána [2].

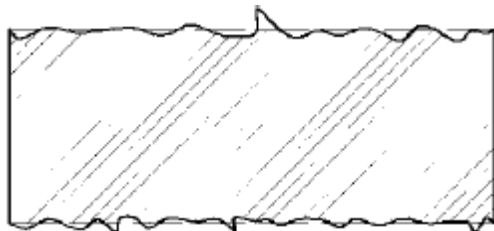
**Odstranitelná vada** – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, kterou je možné po dohodě s odběratelem odstranit jen speciálními úpravami a nepředpokládanými výrobními postupy [2,3].

## 2.1 Vady povrchu (200)

Vady na povrchu odlitku se řadí mezi vizuální vady, které jsou odhalitelné pouhým okem při pozorování neobrobeného odlitku po otryskání a očištění. Ve většině případů jsou to vady opravitelé, avšak odstraňování je pracné a finančně dost nákladné. Do této třídy patří největší počet druhů vad. Je zde celkem 8 skupin s 23 vadami.

Jsou to vady vzhledu odlitku, které nemají vliv na funkci ani životnost odlitku a záleží pouze na odběrateli, v jaké míře bude ochoten příslušnou vadu tolerovat. Převážnou část této třídy tvoří určité výstupky a nárůsty. Do této třídy byly zařazeny *zatekliny* (260), které jsou v normě ČSN 42 1240 řazeny do první skupiny. *Zavaleniny* (341) jsou sice vzhledovou vadou na povrchu odlitku, ale byly přeřazeny do třídy 300, protože zároveň porušují souvislost odlitku. Mezi další časté vady povrchu ocelových odlitků patří *výronky* (240), *výpotky* (250) a *zatekliny* (260), jež pouze ovlivňují vzhled odlitku. Rozsáhlou skupinou jsou v této třídě *nepravidelnosti povrchu odlitku* (270), které obsahují 7 druhů vad. Velice náročné na odstranění jsou vady skupin *přípečeniny* (210), *zálupy* (220) a *nárůsty* (230) [1,2].

### 2.1.1 Drsný povrch (211), povrchové přípečeniny (212)



Obr. 1 Schéma vady - Drsný povrch [7]

Obě vady patří do skupiny *přípečeniny* (210) a jsou si v mnoha ohledech hodně podobné. *Drsný povrch* je jedním z mnoha základních kvalitativních kritérií odlitku při prodejnosti.

*Drsný povrch* vzniká, když tekutý kov neproniká do větší hloubky povrchu pískové formy než do poloviny průměru zrna ostříva a kopíruje povrch formy bez vzájemných reakcí. Oddělení vrstvy písku přilehlé k povrchu odlitku je snadné. Čištěním se však výrazně mění povrchová drsnost litého povrchu v kladném i záporném smyslu [1].

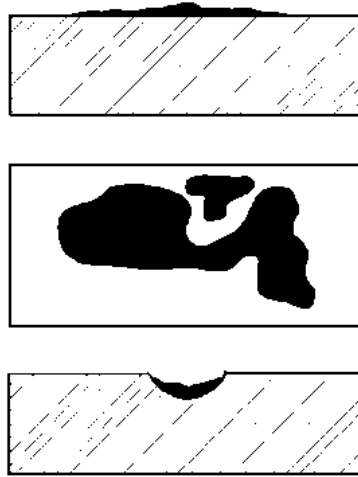
Povrchové přípečeniny vznikají, pokud dojde k fyzikálně-chemickým reakcím na rozhraní forma-kov a k penetraci kovu do větší hloubky než je polovina průměru zrna ostříva. Vznikají často na rovných plochách a jsou těžce oddělitelné od povrchu. Vysokou adhezi přípečenin k povrchu odlitku způsobuje tvorba vícesložkových skel. Povrchové přípečeniny se odstraňují tryskáním a broušením [1].

#### **Příčiny vzniku vady:**

Tekutý kov kopíruje jak tvar slévárenské formy, tak i nerovný povrch stěn a tudíž záleží na zabíhavosti materiálu. Obě vady se často vyskytují v blízkosti zářezů, v oblastech vysokého tepelného zatížení a v místech, kde jsou forma nebo jádro méně spěchovány [1,2].

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

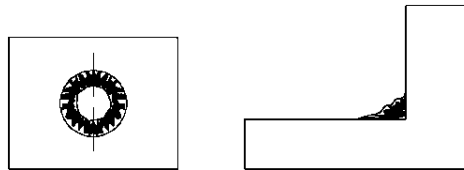
Výskyt obou vad lze omezit použitím ochranných nátěrů s vysokožáruvzdornými plnivými (zirkon, korund, chrommagnezit) a zhuštěním formy.



Obr. 2 Schéma vady - povrchové připečeniny [7]

### 2.1.2 Hluboké připečeniny, zapečeniny (213)

Tato vada, rovněž spadající do skupiny *připečeniny* (210), vzniká, když tavenina pronikne do značné hloubky, zpravidla několik cm. Tím vzniká konglomerát formovací směsi a kovu v tepelné, exponovaných místech formy nebo jádra. Jedná se o vadu převážně masivních odlitků. Zapečenina je velmi těžce oddělitelná od povrchu odlitku a odstraňuje se vypalováním pomocí uhlíkových elektrod, vysekáváním a broušením.



Obr. 3 Schéma vady - hluboké připečeniny – spečeniny [7]

#### ***Příčiny vzniku:***

Vznik *hlubokých zapečenin* je obecně velmi složitý a je popsán několika mechanismy.

Na vznik zapečenin obecně působí mnoho faktorů:

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

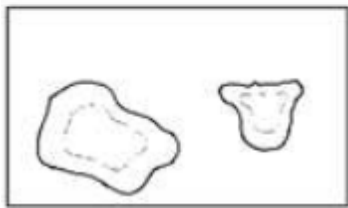
### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K zamezení výskytu *hlubokých zapečenin* je doporučováno odlévat taveninu oceli po dokonalé dezoxidaci a při co nejnižší lící teplotě, zabránit reoxidaci taveniny a při odlévání zabránit dynamickým rázům taveniny na stěny formy. Dále se líc formy natírá jakostními nátěry [1,2,3].

### **2.1.3 Zálupy (220)**



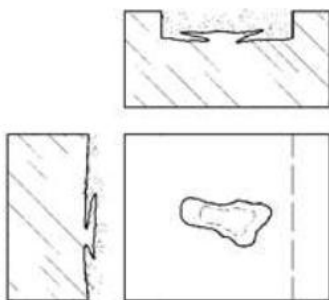
*Zálupy* jsou povrchovou vadou odlitků odlévaných do syrových forem. V této skupině můžeme nalézt 3 druhy vad. Jsou jimi *zálupa na horní ploše formy (221)*, *zálupa na dně formy (222)* a *zálupové síťoví (223)*.



Obr. 4 Schéma vady - zálupy na horní ploše formy [7]

*Zálupy na horní ploše formy* jsou mělké prohlubně buď otevřené nebo překryté tenkou vrstvou kovu, které někdy bývají vyplněny formovacím materiálem. Vznikají oddělením lící části formy působením sálavého tepla kovu.

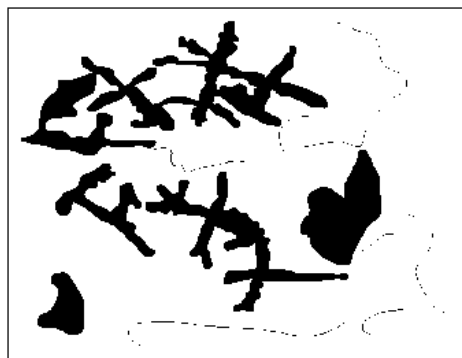
*Zálupy na dně formy* mají stejný popis jako na vršku formy, avšak vznikají oddělením lící vrstvičky spodní části formy, působením nerovnoměrně proudící a přelévající se odlévané taveniny po dně formy.



Obr. 5 Schéma vady - zálupy na dně formy [7]

*Zálupové síťoví* vzniká především na dně formy a je tvořeno velice tenkými, jemnými a rozvětvenými nárosty, které se obvykle překrývají a bývají označovány jako „krycí ocásky“. Zvláštním druhem jsou *nátěrové zálupy*, které vznikají při odlupování nejakostní nátěrové vrstvy s nízkou adhezí k povrchu formy. Vznikají působením sálavého tepla a odpařováním přebyteku nosné kapaliny (vody), nebo při rozrušení pojiva v lící vrstvě formy nosnou kapalinou nátěru.

Tento druh vady není součástí žádné klasifikace vad, které jsou zobrazeny v příloze [1,2,3].



Obr. 6 Schéma vady - zálupové síťoví [1]

### 2.1.4 Nárosty (230)

Do skupiny *nárosty* jsou zařazeny 4 druhy vad, které se dle mechanismu vzniku dělí na *vyboulení* (231), *odřeni a shrnutí* (232), *utržení a sesutí* (233) a *erozi* (234). *Nárosty* jsou výstupky nebo hrbolky, vzniklé ztuhlou taveninou, která obsahuje části formovacího materiálu. Jsou pevně spojeny s povrchem odlitku a často bývají doprovázeny *zadrogeninami* a *rozplaveným pískem*, což jsou vady z třídy 500. Nárosty se odstraňují odsekáním nebo odbroušením.

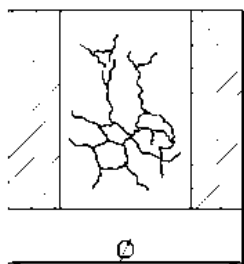
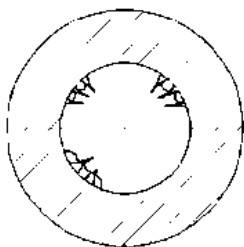
*Vyboulení* (231) lze popsat jako přebytečný kov na vnitřních nebo vnějších plochách odlitků a jsou doprovázeny zvýšenou drsností nebo *zapečeninami*.

*Odřeni, shrnutí* (232) je geometricky nepravidelný nárost kovu na vertikálních plochách odlitku ve směru skládání formy či zakládání jádra. Obvykle se nachází na několika místech.

*Utržení, sesutí* (233) je nepravidelný nárost kovu na povrchu odlitku, který má tvar části utržené formy nebo odlomeného jádra.

*Eroze* (234) je nepravidelný nárost vznikající v blízkosti vtoku nebo ve spodní části formy ve směru proudu kovu [3,7].

### 2.1.5 Výronky (240)



Obr. 7 Schéma vady výronky [1]

Skupina vad *výronky* vzniká, když tavenina zatéká do trhlin, tvořících se následkem dilatace formovacího materiálu. Lze je popsat jako vystouplé žebrovní nebo žilkové síťoví. Vyskytují se na zaoblených hranách jader (formy) a na válcovitých plochách a jsou dobře oddělitelné od povrchu odlitku [2].

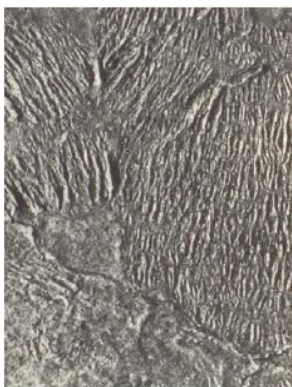
#### **Příčiny vzniku:**

Tato vada je typickým příkladem povrchové vady z napětí. Při prasknutí líce jádra masivního ocelového odlitku, opatřeného nátěrem, vzniká místo pro hlubší proniknutí kovu a v místech výronků se vytvoří zapečenina.

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K zamezení vzniku *výronků* se zvyšuje obsah pojiva ve směsi, používají se ochranné nátěry s obsahem oxidů železa v jemné práškovité formě, nahrazují se křemenné písky nekřemennými ostřivými a používají se oxidy Fe přímo do směsi [1].

## 2.1.6 Pomerančová kůra (271)



Obr. 8 Pomerančová kůra [8]

Vada *pomerančová kůra* je součástí skupiny vad *nepravidelnosti povrchu odlitku (270)* a má tvar malých prohlubní, které opravdu připomínají drsný povrch pomeranče nebo kůži krokodýla. Je typickou vadou ocelových odlitků litych do pryskyřičných skořepinových forem. Vyskytuje se zvláště u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Nejvíce se tvoří na rovných plochách odlitků, kde probíhají tepelné dilatace skořepinové formy. U tohoto typu odlévání je většinou povrch odlitku hladký, a proto je *pomerančová kůra* vizuálně velmi nápadná.

### **Příčiny vzniku:**

Vznik vady záleží na druhu litého kovu a na dilatačních průhybech skořepinové formy ve vztahu k tvořící se povrchové kůře odlitku. Za další pokud je použita bentonitová směs kontaminovaná kyselými odpadními produkty z jader a přísad [1,6].

### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K předejití vzniku pomerančové kůry je nutné sledovat pH faktor bentonitové směsi. Vhodné je používat křemenný písek a různé přísady (okuje, dolomitový písek) [1,6].

## 2.1.7 Zvrásnění povrchu (272)

Odlitek s touto vadou má hladký, ale nepravidelně vrásčitý povrch. Má hlubší brázdy a zavalené hrany. *Zvrásnění povrchu* odlitku souvisí s tvorbou oxidických plen (kůží, blan), které vznikají reoxidací a převládají v nich prvky Si, Mn, Cr, Al a Mg. Sklon ke zvrásnění povrchu mají chromové, chromniklové oceli, zejména s přísadou titanu a vysokolegované manganové oceli (Hadfieldovy) [1].

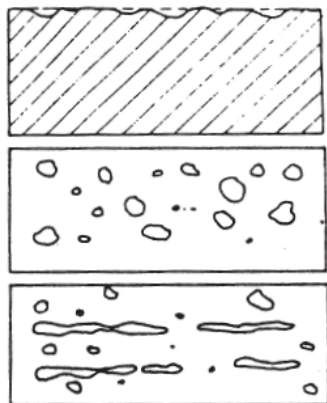
### **Příčiny vzniku:**

Příčinami jsou styk tekutého kovu s oxidačním prostředím formy při odlévání, slitina s obsahem prvků Si, Mn, Cr, Al, Mg a nízká lící teplota.

### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K prevenci vzniku je třeba správně zvolit Al k potlačení reoxidace tekutého kovu, zajistit redukční atmosféru ve formě a při lití chromových ocelí foukat argon a dusík.

## 2.1.8 Neštovice (273)



Obr. 9 Schéma vady - neštovice [1]

Povrch odlitku s touto vadou je postižen dolíčky, které vypadají jako lidská tvář po onemocnění neštovicemi. *Neštovice* jsou charakteristickou vadou masivních tlustostěnných ocelových odlitků, které jsou odlévány do zásaditých magnezitových nebo chrommagnezitových forem. Vada je nepřijatelnou pokud hloubka dolíčku přesáhne velikost přísady na opracování. *Neštovice* se netvoří na vršcích odlitků a na plochách přivrácených k hladině tekutého kovu [2].

### **Příčiny vzniku:**

*Neštovice* vznikají při nevhodné prodyšnosti a propustnosti

lice firmy, dále při vzniku oxidačně působících plynů v syrové formě a u chrommagnezitových forem spojených vodním sklem.

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K základním opatřením proti vzniku vady patří správný výběr zásaditých, jemnozrnných ostřiv a volba optimální doby vytvrzení forem oxidem uhličitým [6].

### **2.1.9 Okujení, opálení (274)**

Kvůli tomu, že se veškeré ocelové odlitky dále tepelně zpracovávají, mají na svém povrchu vrstvičku oxidu. Za vadu odlitku lze tedy považovat jen takové okujení, při kterém se zmenší odlitku více, než je předepsáno na výkresu, při kterém se odlitek povrchově značně oduhličil, takže nemá na povrchu žádnou tvrdost. Pokud není v peci správná atmosféra, povrch odlitku se běžně oduhličuje. Při příliš vysokých teplotách žihání a při nesprávné pecní atmosféře se může dokonce „spálit“, když okysličování oceli probíhá po hranicích zrn dovnitř odlitku.

#### **Příčiny vzniku:**

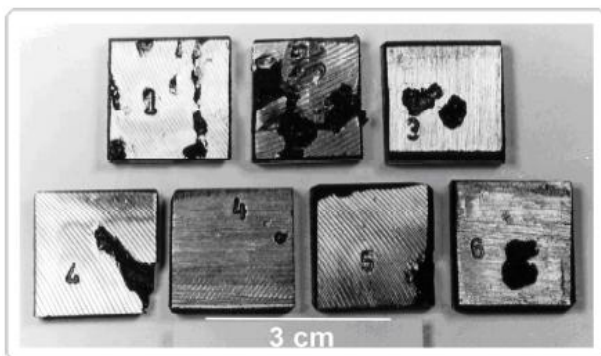
Vada vzniká při špatném tepelném zpracování, použitím příliš vysoké teploty nebo dlouhé doby žihání a nesprávně zvolené atmosféry v peci.

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

Vzniku okují a opálení lze předcházet řádnou kontrolou pecí pro tepelné zpracování se zaměřením na jejich těsnost, dodržování teplot a doby žihání. Vada se odstraní dostatečným otryskáním odlitku nebo jeho mořením [1,6].

## **2.2 Dutiny (400)**

Tato třída slévárenských vad zahrnuje čtyři skupiny (*bubliny*, *bodliny*, *odvařeniny*, *staženiny*), které se dále dělí na 14 druhů vad. *Dutiny* v ocelových odlitcích mohou být jak otevřené (zjevné), tak uzavřené pod povrchem (skryté). Otevřené dutiny jsou snadno zjistitelné pouhým okem, uzavřené lze identifikovat pouze pomocí speciálních metod,



Obr. 10 Schéma vady - Uzavřené endogenní bubliny

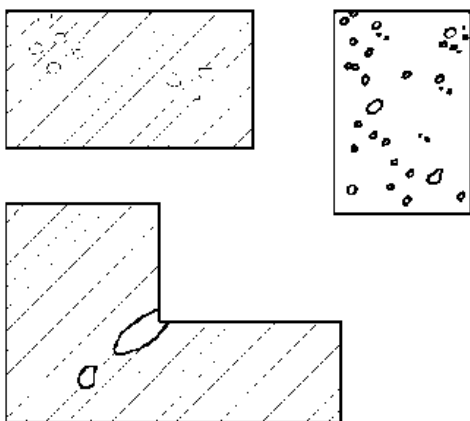
nejčastěji pomocí ultrazvuku, rentgenovým zářením nebo gama zářením. Vady této skupiny jsou převážně neopravitelné kromě staženin, které v některých případech mohou být odstranitelné a lze je opravit. Většina odlitků se proto musí vyřadit.

*Bubliny*, *bodliny* a *odvařeniny* jsou způsobeny přítomností určitých plynů v tavenině i slévárenské formě.

*Staženiny* jsou spojeny s výsledkem fyzikálního pochodu zmenšování objemu kovu (stahování) při jeho tuhnutí. Hlavní příčiny vzniku vad této třídy spočívají v metalurgické fázi výroby oceli. Na příčinách dutin se také významně podílí příprava forem a jader ve slévárnách [2,7].



## 2.2.1 Bubliny (410)



Obr. 11 Schéma vady - bubliny [1]

*Bubliny* v ocelových odlitcích bývají vždy závažným technologickým problémem, protože odlitky s bublinami je nutné téměř vždy zmetkovat. *Bubliny* jsou dutiny v odlitku, které jsou buďto otevřené spojeny s jeho povrchem, nebo se mohou vyskytovat uvnitř odlitku (uzavřené). Otevřené bubliny bývají silně zoxidované. Uzavřené bubliny mají čistý, hladký povrch a jsou pokryté nanejvýš tenkou vrstvou oxidů. *Bubliny* se mohou tvořit jednotlivě, nebo v rozsáhlých shlucích a mohou se vyskytovat v celém objemu odlitku. Mohou mít také rozmanité tvary. Podle původu se *bubliny* rozdělují na endogenní (vnitřní) a exogenní (vnější). Mohou

se ale také vyskytovat ve vzájemné kombinaci. Endogenní bubliny vznikají z plynů rozpuštěných v oceli, pokud tlak rozpuštěných plynů převyší odporů působící proti nim. Tyto bubliny mají obvykle lesklý a neoxidovaný povrch stěn, který někdy může zobrazovat průběh fázových transformací. Pokud jsou endogenní bubliny spojeny s povrchem, pak je jejich povrch zoxidován a vrstva oxidů je následkem fázových transformací často fragmentována. Exogenní bubliny vznikají při odlévání, když tlak plynů v okolí odlitku převyší odpor, který mu klade tuhnoucí povrchová vrstva, a plyny proniknou do odlitku. *Bubliny* mají obvykle kulový až elipsoidický tvar. *Bubliny* se jako skupina vad člení na *bubliny způsobené kyslíkem (411)*, *bubliny způsobené vodíkem (412)* a *bubliny způsobené dusíkem (413)*. Tyto typy *bublin* mají společnou základní příčinu, která spočívá v tom, že během odlévání a chladnutí kovu se při poklesu teploty snižuje rozpustnost plynů v kovu. Při překročení mezní rozpustnosti závislé na teplotě, tlaku a složení slitiny se tyto plyny vyloučí ve formě *bublin*. Tato skupina vad dále zahrnuje vadu *zahlcený plyn (414)* a *síťkovité bubliny (415)* [1].

### **Příčiny vzniku:**

*Bubliny způsobené kyslíkem (411)* se u ocelových odlitků vyskytují často a lze je objevit při výrobě oceli pouze při velmi hrubém porušení dezoxidační kázně. Kyslík nezpůsobuje *bubliny* přímo. Prostřednictvím jeho reakce s uhlíkem vzniká oxid uhelnatý, který je příčinou vzniku *bublin*, jenž jsou zachycovány v objemu tuhajícího kovu. *Bubliny CO* mohou vznikat také v odlitcích z dobře dezoxidované oceli v důsledku reoxidačních pochodů.

*Bubliny způsobené vodíkem (412)* vznikají následkem přesycení taveniny rozpuštěným vodíkem při chladnutí a tuhnutí slitiny v odlitku. Z hlediska sklonu k tvorbě *bublin* je vodík více nebezpečný u nelegovaných nízkouhlíkových ocelí než u ocelí se zvýšeným obsahem uhlíku.

*Bubliny způsobené dusíkem (413)* vznikají přesycením taveniny rozpuštěným dusíkem při chladnutí a tuhnutí slitiny v odlitku. Situace je obdobná jako při přesycení taveniny železa s vodíkem [1,2].

### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

*Bubliny způsobené kyslíkem (411)* se u ocelových odlitků vyskytují často a lze je objevit při výrobě oceli pouze při velmi hrubém porušení dezoxidační kázně. Kyslík nezpůsobuje

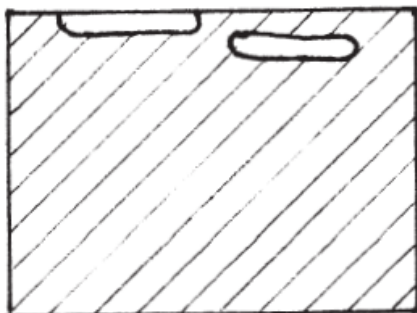
bubliny přímo. Prostřednictvím jeho reakce s uhlíkem vzniká oxid uhelnatý, který je příčinou vzniku bublin, jež jsou zachycovány v objemu tuhneícího kovu. Bubliny CO mohou vznikat také v odlitcích z dobře dezoxidované oceli v důsledku reoxidačních pochodů.

*Bubliny způsobené vodíkem (412)* vznikají následkem přesycení taveniny rozpuštěným vodíkem při chladnutí a tuhnutí slitiny v odlitku. Z hlediska sklonu k tvorbě bublin je vodík více nebezpečný u nelegovaných nízkouhlíkových ocelí než u ocelí se zvýšeným obsahem uhlíku.

*Bubliny způsobené dusíkem (413)* vznikají přesycením taveniny rozpuštěným dusíkem při chladnutí a tuhnutí slitiny v odlitku. Situace je obdobná jako při přesycení taveniny železa s vodíkem [1,2].

### 2.2.2 Zahlcený plyn (414), Síťkovité bubliny (415)

Vada *zahlcený plyn* se projevuje vznikem dutin s hladkými a zaoblenými stěnami ve tvaru zploštělých a rozměrných bublin (puchýřů). Nejčastěji je lze nalézt na povrchu odlitku



buď izolovaně, nebo ve shlucích. Tyto dutiny bývají obvykle otevřené, ale mohou být také zalité pod tenkou vrstvou kovu. Tato vada představuje zjevnou vadu, zjistitelnou prostým okem. Je možné ji opravit zavařením.

*Síťkovité bubliny* jsou malé povrchové dutiny o velikosti 1 až 2 mm. Mají kulovitý tvar a vyskytují se pouze v lící kůře odlitku. Povrch odlitku má pak charakter jemné síťky [1].

Obr. 12 Schéma vady - zahlcený plyn [1]

#### **Příčiny vzniku:**

Vznik *zahlceného plynu* bývá nejčastěji způsoben nevhodnou konstrukcí formy, nesprávným a nevhodným formovacím postupem, především špatným odvodušněním formy a jádra. Na množství zachyceného plynu ve formě má vliv také rychlost plnění formy a lící rychlost odlévané slitiny. Na vznik *síťkovitých bublin* má velký vliv vypařování vody v syrových nebo nedostatečně vysušených formách a jádrech. Pravděpodobnost vzniku vady vzrůstá s malou prodyšností forem.

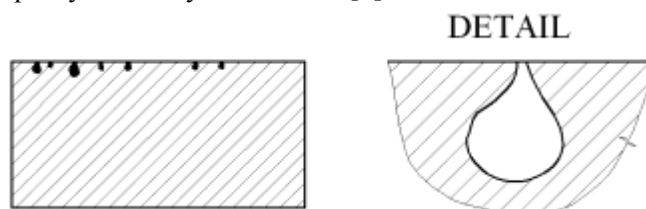
#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K prevenci vzniku *zahlceného plynu* při odlévání taveniny do formy je zapotřebí, aby byl nejprve vytlačen vzduch z dutiny formy, který ji vyplňoval, dále plyny uvolňující se z formovacích hmot a také vypařující se vlhkost z formy. Pro zvětšení odsávacího účinku se unikající plyny zapalují ihned po začátku odlévání.

Vzniku *síťkovitých bublin* je možné předejít dodržením předepsané vlhkosti formy, optimálního stupně zhuštění a prodyšnosti formy. Při použití směsí s organickými pojivy je nutné dodržovat jejich správný obsah. Je výhodné použít vysoce jakostní pojivo, které při malém obsahu ve směsi poskytuje vysokou pevnost [1,2].

### 2.2.3 Bodliny (420)

*Bodliny* jsou malé a protáhlé dutiny s hladkým povrchem. Vznikají těsně pod povrchem odlitku a k povrchu vyúsťují malými, jakoby kapilárními otvory. Průměr bodlin je okolo 1 až 2 mm jejich délka orientovaná kolmo k povrchu odlitku několiknásobně převyšuje průměr bodlin. *Bodliny* lze zviditelnit pomocí tepelného zpracování a otryskání odlitků. Vnitřek bodlin je pokryt oxidickými vrstvami [1].



Obr. 13 Schéma vady – bodliny [1]

#### **Příčiny vzniku:**

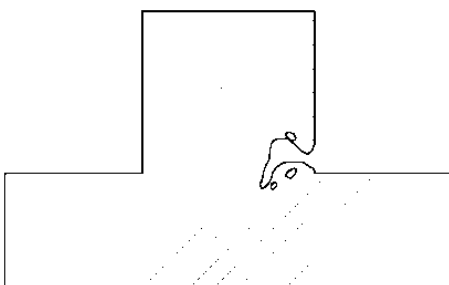
Teoretických výkladů vzniku *bodlin* je několik. Původně se vznik *bodlin* přisuzoval vodíku nebo oxidu uhelnatému (CO). Nejpravděpodobnějším vysvětlením je tvorba CO, který vzniká reakcí uhlíku v tekuté oceli s oxidem železnatým, případně přímo s kyslíkem rozpuštěným v povrchových vrstvách tuhneícího odlitku. Hlavním původcem je tedy reoxidace a vznik CO a vlhkost, především z formovacích směsí. Dalšími činiteli, které mají vliv na bodlinatost odlitků jsou stupeň průtočnosti taveniny danou oblastí formy a tenkostěnnost odlitků. S rostoucím stupněm průtočnosti a tloušťkou stěn odlitku se sklon k bodlinám snižuje a s vlhkostí vzduchu se snižuje [2,7].

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

Zamezit vzniku *bodlin* lze nejlépe tím, že bude zabráněno reoxidaci oceli. K tomu je třeba v oceli vytvořit přebytek dezoxidačních prvků (Al, Ca, Si), na které se kyslík pevně naváže. Nejlepším dezoxidačním prvkem, který likviduje přísun kyslíku z vlhké formy je hliník. Dále je nutné dodržovat předepsanou vlhkost formovací směsi a zabránit navlhčení jader [1,7].

### 2.2.4 Odvařeniny (430)

Do této skupiny se řadí 3 druhy vad. *Odvařeniny* se mohou tvořit *od formy, jádra (431), od chladítek a zalévaných předmětů (432)* a *od vměstků (433)*. Tyto vady vznikají především u syrových forem, které obsahují vlhkost.



Obr. 14 Schéma vady - odvařeniny od formy [1]

*Odvařeniny od formy* tvoří otevřené, hladké dutiny na povrchu odlitku. Nejčastěji se zoxidovaným povrchem. Vyskytují se převážně v různých koutech odlitku, kde je forma obklopena kovem a kde bývá méně upěchována. Různý charakter a tvar může mít *odvařenina od jádra*. Silné odvaření od jádra je často doprovázeno vyhazováním kovu z formy, ale nemusí být ani patrné.

*Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů* tvoří často uzavřené dutiny. Chladítka jsou vyrobená ze slitin železa a slouží k řízení tuhnutí kovu ve formě.

*Odvařeniny od vměstků* mají stejný vzhled jako předchozí odvařeniny. Jsou exogenního původu a vznikají jako důsledek reoxidačního procesu [1,7].

#### **Příčiny vzniku:**

Nejčastějšími příčinami vzniku *odvařenin* je nedostatečné odvzdušnění forem a špatné nebo žádné odvzdušnění jader. Často dochází k zalití odvzdušnění jádra kovem a tím se přeruší odvod vznikajících plynů.

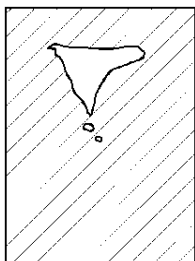
#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K prevenci vzniku *odvařenin od formy a jádra* je třeba dbát na kontrolu prodyšnosti směsi a na postupy odvzdušnění formy a jádra.

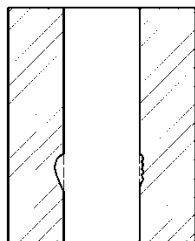
### **2.2.5 Staženiny (440)**

Skupina vad staženiny se dělí na 6 druhů vad. Mezi ně patří otevřené staženiny (441), vnitřní, uzavřené staženiny (442), řediny (443), staženiny od jader nebo ostrých hran forem (444), povrchové propadliny (445) a plynové staženiny (446). Obecně staženiny představují uzavřené nebo otevřené dutiny, které vznikají v důsledku zmenšování objemu slitiny při tuhnutí. Tento složitý fyzikální pochod je označován jako stahování a je fyzikální vlastností každého litého materiálu. Základní příčinou vzniku staženin je nedostatečné objemové doplnění taveniny během tuhnutí [1,7].

Otevřené staženiny jsou obvykle vnější otevřené dutiny s krystalickým a zoxidovaným povrchem. Zasahují do různé hloubky odlitků a obvykle se nacházejí pod špatně dimenzovanými otevřenými i uzavřenými nálitky. Jsou viditelné při vizuální kontrole a je možné je opravit zavařením. U ocelových odlitků bývá staženina větší než u jiných materiálů.



Obr. 15 Schéma vady - vnitřní uzavřené staženiny



Obr. 16 Schéma vady - staženiny od jader [1]

Vnitřní, uzavřené staženiny jsou dutiny uvnitř odlitků, které se vyskytují v místech tepelných uzlů, které nejsou nálitkovány nebo v tepelných uzlech, které tuhnou později než příslušný náliček. Mají obvykle nepravidelný tvar s dendritickým (stroměčkovitý tvar) povrchem.

Řediny jsou malé a rozptýlené staženiny, které se vyskytují v tepelných osách a jiných tepelných centrech odlitků. Řediny vytvářejí řídká místa, která činí stěnu odlitku porézní. U ocelových odlitků má na rozsah ředin určitý vliv složení oceli, především pak obsah uhlíku. Čím větší je interval tuhnutí, tím větší je nebezpečí vzniku ředin. Příznivě působí tlak, pod kterým překonává dosazující tavenina odpor mezi skelety, dále delší doba tuhnutí a větší tloušťka odlitku.

Staženiny od jader nebo ostrých hran forem jsou staženiny nebo řediny, vyvolané prohřátým jádrem nebo ostrou hranou formy. Většinou jsou propojeny s povrchem a často se prolínají s plynovými staženinami.

Povrchové propadliny jsou charakterizovány mírně propadlým (někdy jen prohlým) povrchem horní plochy odlitku, obvykle v tlusté, nenálitkové části stěny. Pod propadlinou většinou bývá menší nebo větší uzavřená staženina.

Plynové staženiny jsou dutiny v odlitku, které vyúsťují až na jeho povrch. Okraje dutin jsou hladké vlivem průchodu plyn. Nejčastěji se vyskytují na prohřátých místech ostrých hran formy, pískových koutů a tenkostěnných jader.

### **Příčiny vzniku:**

Příčinou vzniku *otevřených staženin* je nedostatečné objemové doplnění taveniny v době tuhnutí odlitku, což může způsobovat především nenálitkování tepelného uzlu nebo tlustší stěny odlitku nebo nedostatečně dimenzovaný náliček, který zabezpečuje příslušný tepelný uzel odlitku.

Příčiny vzniku *ředin* jsou stejné jako v předchozích staženinách. Ředina může vzniknout při mírném nehomogenním rozložení teplot v průřezech odlitku nebo při nedostatečném usměrněném tuhnutí odlitku.

### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

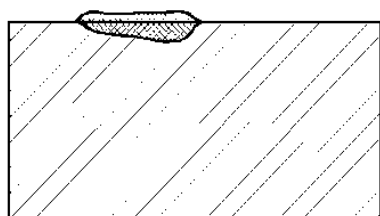
Obecně k zamezení vzniku staženin v odlitku je třeba dodržovat všechny zásady usměrněného tuhnutí odlitku včetně vyřešení vlivu místních i odlehlých uzlů. Mezi hlavní opatření patří dokonalé vyřešení konstrukce odlitku, určení polohy odlitku ve formě, správný výpočet velikosti náliček a jejich rozmístění a odstranění nenálitkovaných tepelných uzlů pomocí chladítek [2].

## **2.3 Makroskopické vměšky a vady makrostruktury (500)**

Třída vad (500) byla pojmenována *makroskopické vměšky* proto, aby bylo zřejmé, že mikroskopické vměšky tvoří samostatnou kategorii, které se řadí do třídy (600). Tato třída obsahuje nejobtížněji identifikovatelné vady a řadí se do ní celkem 6 skupin, kterými jsou *struskovitost (510)*, *nekovové vměšky (520)*, *makrosegregace a vycezeniny (530)*, *broky (540)*, *kovové vměšky (550)* a *nevyhovující lom (560)*. Nejčastější vadou z této třídy jsou *zadrogeniny (521)* a také *sekundární struskovitost (512)* [1].

### **2.3.1 Struskovitost (510)**

Skupina vad *struskovitost (510)* zahrnuje 2 druhy vad a to *struskovitost exogenní (511)*, která se u ocelových odlitků téměř nevyskytuje, a *sekundární struskovitost (512)*.



Obr. 17 Schéma vady - sekundární struskovitost [1]

*Sekundární struskovitost* je tvořena otevřenými povrchovými dutinami, obvykle na horních plochách odlitků, které jsou vyplněné silně heterogenní struskou s bublinami. *Sekundární struskovitost* se u ocelových odlitků vyskytuje daleko častěji než *struskovitost exogenní*, která je způsobena vniknutím exogenní strusky do odlitku přímo z lící pánve. Ke vzniku této vady jsou náchylné především oceli, které obsahují legovací prvek mangan.

### **Příčiny vzniku:**

*Sekundární struskovitost* je nejčastěji produktem reoxidačních pochodů, které probíhají na rozhraní mezi proudícím tekutým kovem, atmosférou v dutině formy a formovacím materiálem. Procesu reoxidace prvků v tekuté oceli při vylévání z tavicího agregátu, z lící pánve a při protékání formou nelze zabránit. K největší reoxidaci dochází při liti do syrové formy [1,2].

### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

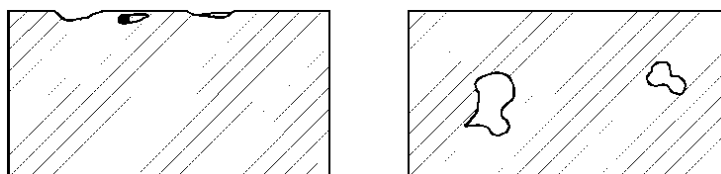
U ocelových odlitků je zapotřebí dodržet několik zásad. Nejmenší nebezpečí vzniku reoxidace a tedy i vzniku sekundární strusky je v místech, kde je kov důsledně ve styku s neutrální a redukční atmosférou (sušené formy a jádra, organické směsi vytvářející

redukční atmosféru). Příznivé je zvýšení lící rychlosti, ale také snížení lící teploty a použití bezvodých žáruvzdorných nátěrů.

### 2.3.2 Nekovové vměstky (520)

Skupina vad nekovové vměstky (520) obsahuje šest nejčastěji vyskytujících se vad, jako jsou zadrobeniny (521), rozplavený písek (522), odpadnutý nátěr (523), oxidické pleny (524), grafitové pleny (525) a černé skvrny (526).

Zadrobeniny a rozplavený písek jsou otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) dutiny ve stěnách odlitků, které mohou být úplně nebo částečně vyplněné formovacím materiálem. Oproti zadrobeninám je u rozplaveného písku rozsah a výskyt dutin na odlitku větší. Zadrobeniny jsou nejrozšířenější vadou u odlitků vyráběných do pískových forem.



Obr. 18 Schéma vady - zadrobeniny [1]

Vada odpadnutý nátěr je tvořena otevřenými nebo uzavřenými dutinami ve stěně odlitku, které jsou vyplněny nátěrovou hmotou (barvivo, námazek).

Oxidické pleny se nejčastěji vyskytují u ocelových odlitků z vysokolegovaných chromových a chromniklových ocelí s přísadou titanu. Méně často se objevují u odlitků z nelegovaných ocelí. Jsou to tenké, plošné filmy oxidů vznikajících na volném povrchu taveniny při odlévání a zalitých následkem víření odlévaného kovu v povrchu i uvnitř odlitku. Ulpívají na stěnách jader a formy a zhoršují povrchovou i vnitřní jakost odlitku.

Vadu typu grafitové pleny lze nalézt na stěnách odlitku a mají podobu tenkých, lesklých uhlíkových plen, které jsou zvrásněné a zřetelně ohraničené. Jsou dobře vidět na lomu, nebo metalografickém výbrusu, který je zhotoven napříč vadou. Na povrchu odlitku vypadají jako jemné trhliny vyplněné uhlíkem.

#### **Příčiny vzniku:**

*Zadrobeniny* a *rozplavený písek* vznikají drobením a nesoudržností formovacího materiálu. Na jejich vznik má vliv nekvalitní provedení formy a jádra, vysoká lící teplota a přítomnost ostrých hran ve formě [1,2].

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K zamezení vzniku *zadrobenin* je vhodné vyvarovat se ostrých hran na formě, dostatečně upěchovat formu, zhustit a vytvrdit jádra, dodržovat technologické předpisy při přípravě formovací směsi a také snížit lící teplotu a rozstřík kovu při lití z pánve. K zabránění vzniku *rozplaveného písku* je především důležité rovnoměrné plnění odlitku tekutým kovem [1].

### 2.3.3 Makrosegregace a vycezeniny (530)

Skupina makrosegregace a vycezeniny (530) obsahuje 4 druhy vad jako gravitační odmišení (531), makroodmišení (532), stvolové vycezeniny (533) a mezerové vycezeniny (534). Druh vady gravitační odmišení (531) se vyskytuje především u neželezných kovů, například bronzů a mosazí.

Vada makroodmíšení (fyzikální odmíšení) je výsledek fyzikálního pochodu během tuhnutí taveniny v rozmezí teplot likvidu a solidu. Odmíšení (segregace) je vada homogenity a struktury odlitku. V průřezu odlitku nebo ingotu dojde k chemické nestejnorodosti – makrosegregaci.

Stvolové vycezeniny (tzv. **A** segregace) je vada, která tvoří oblasti zvýšené koncentrace odměšujících 28 prvků, příměsí, nečistot a zplodin různých reakcí, které probíhají ve slitině při selektivním tuhnutí. Tyto vycezeniny jsou soustředěny mezi větvemi dendritů. V ocelích obsahují vysoký podíl síry, fosforu, uhlíku, manganu a molybdenu. Vznikají v těžkých masivních odlitcích a ingotech a vytvářejí charakteristické pásy ve tvaru písmena **A**.

Vada s názvem mezerové vycezeniny (tzv. **V** segregace) je tvořena nečistotami a shluky odmíšených příměsí, které vyplnily při tuhnutí mezery a větší dutiny v odlitku. Pro tyto vycezeniny je charakteristické, že se vyskytují v osových částech ingotů a masivních odlitků [1,2].

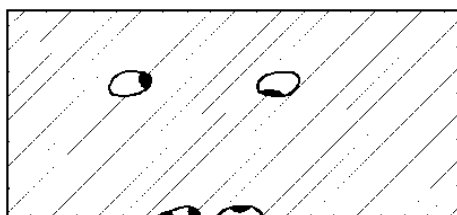
#### **Příčiny vzniku:**

Příčina vzniku vady *makroodmíšení* je způsobena omezenou (rozdílnou) rozpustností jednotlivých prvků v tekuté a pevné fázi. Při krystalizaci taveniny s více prvky dochází k segregaci prvků. Poté je ztuhlá fáze o některé prvky ochuzena a tavenina naopak obohacena vůči původnímu složení taveniny.

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

Aby nedošlo ke vzniku *makroodmíšení*, je možné odmíšení ve slitině potlačit snížením přehřátí slitiny během odlévání, dále nižší rychlostí odlévání a vyšší rychlostí tuhnutí. Opatření k úplnému zabránění vzniku *stvolových vycezenin* neexistují, přesto lze jejich výskyt potlačit stejným způsobem jako při makroodmíšení, dále snížením hmotnosti odlitku a snížením obsahu síry, fosforu a uhlíku ve slitině [2].

### **2.3.4 Broky (540), kovové vměstky (550), nevyhovující lom (560)**



Obr. 19 Schéma vady broky [1]

Broky jsou charakterizovány jako malé zoxidované kovové vměstky, které mají tvar kuliček. Nachází se ve spodních částech odlitků a jejich složení je stejné jako složení slitiny odlitku.

Vadu typu *kovové vměstky* tvoří kovové, cizorodé částice, které jsou svým chemickým složením zřetelně odlišné od základního kovu. Nejčastěji to jsou neroztavené přísady, feroslitiny, zbytky a úlomky chladítek.

*Nevyhovující lom* je charakterizován jako odchylka vzhledu náhodně vybraného nebo zkušebního odlitku od stanoveného normálu nebo od lomu připraveného na základě předem sjednaných technických přejímacích podmínek mezi výrobcem a odběratelem [1,2].

#### **Příčiny vzniku:**

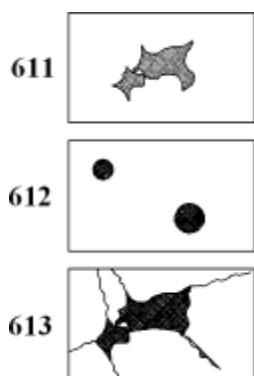
Vada typu broky může vzniknout při prudkém vlévání taveniny do vtokového systému, kdy dojde k vystříknutí kapek kovu nebo při použití nesprávně provedených vtoků. Vystříknuté kapky, které vytvoří broky, se usadí v různých místech formy, kde se ochladí

a následně se s proudem kovu již nespojí. Vada kovové vměstky vzniká neroztavením kovových předmětů, které se z technologických důvodů vkládají do formy, dále nerozpuštěním feroslitin, jiných kovových předmětů a nečistot zanesených do formy.

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K zamezení vzniku *broků* je vhodné zabránit rozstříku kovu, zajistit plynulé plnění formy tekutým kovem, snížit ochlazovací účinky formy a lící teplotu, pokud je to možné. Zabránit vzniku *kovových vměstků* lze péčí o čistotu vsázky, kovových chladítek a jádrových podpěrek, dále pak optimální teplotou taveniny a dodržováním technologické kázně [1,2].

## **2.4 Vady mikrostruktury (600)**



Obr. 20 Schéma vady - mikrostaženiny, mikrobubliny, mikrotrhliny [1]

Tato třída obsahuje 8 skupin vad, z nichž skupina mikroskopické dutiny (610) se dělí na 3 druhy vad. Ostatními skupinami jsou vměstky (620), nesprávná velikost zrna (630), nesprávný obsah strukturních složek (640), zatvrdlina, zákalka (650), obrácená zákalka (660), oduhličení povrchu (670) a jiné odchylky od mikrostruktury (680). U těchto vad jde většinou o odchylky parametrů vlastností odlitků od sjednaných technických podmínek a norem a tedy nikoli o vady v pravém slova smyslu. K posuzování vad této třídy je nutné provést metalografické

strukturní rozbor, protože konvenčním kritériem pro odlišení makrodefektu od mikrodefektu je rozlišovací schopnost lidského oka, která se udává mezní hodnotou 0,2 mm. Vady zatvrdlina, zákalka (650) a obrácená zákalka (660) jsou vady především litin [4,7].

### **2.4.1 Mikroskopické dutiny (610)**

Jsou definovány jako vnitrokrystalové a mezikrystalové, prostým okem neviditelné dutiny a porušení souvislosti odlitku, jež neodpovídají požadavkům norem a technických přejímacích podmínek. Tato skupina vad se dělí na mikrostaženiny (611), mikrobubliny (612) a mikrotrhliny (613).

#### **Příčiny vzniku:**

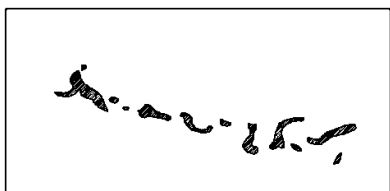
Uvedené vady mají do značné míry stejný mechanismus vzniku, který spočívá v nukleaci a růstu vady až po jistý mezní rozměr, který leží pod rozlišovací schopností lidského oka. *Mikrostaženiny, mikrobubliny a mikrotrhliny* se navzájem odlišují tvarem a fyzikální podstatou vzniku.

#### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

U mikroskopických dutin je třeba se řídit stejnými opatřeními jako u těchto makroskopických vad. Je tedy důležité zajistit usměrněné tuhnutí odlitků pomocí nálitků a chladítek, dolévat nálitky a snížit lící teplotu, upravit složení formovacích směsí a jejich vlhkost, zlepšit prodyšnost forem a jader a například zmenšit rozdíly v tloušťkách jednotlivých částí odlitků [1].



## 2.4.2 Vměstky (620)



Obr. 21 Schéma vady – vměstky [1]

Touto vadou se rozumí mikročistota, která neodpovídá požadavkům sjednaným technickými přejímacími podmínkami. Mikročistota se vyjadřuje množstvím, velikostí, tvarem a rozložením nekovových vměstků (oxidů, sulfidů a nitridů). U ocelí se mikročistota vyžaduje a hodnotí se [7].

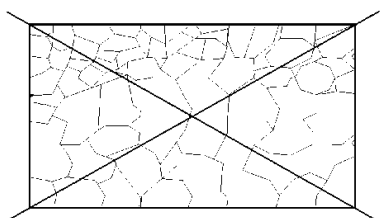
Při posuzování příčin vzniku *vměstků* v oceli je třeba vycházet z jejich původu, který může být exogenní, kdy jsou do oceli vměstky vnášeny působením okolního prostředí, nebo endogenní, kdy vznikají v oceli vnitřními procesy během tavení, odlévání, tuhnutí a chladnutí odlitku. Exogenní vměstky mohou být makroskopických a řidčeji mikroskopických rozměrů.

### **Příčiny vzniku:**

Při posuzování příčin vzniku *vměstků* v oceli je třeba vycházet z jejich původu, který může být exogenní, kdy jsou do oceli vměstky vnášeny působením okolního prostředí, nebo endogenní, kdy vznikají v oceli vnitřními procesy během tavení, odlévání, tuhnutí a chladnutí odlitku. Exogenní vměstky mohou být makroskopických a řidčeji mikroskopických rozměrů.

### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K zabránění vzniku exogenních *vměstků* makro i mikroskopické velikosti je třeba přijmout stejná opatření jako u vady *nekovové vměstky (520)*. Vznik endogenních *vměstků* je v největší míře určen závěrečnou dezoxidací ocelí v pánvi [1].



Obr. 22 Schéma vady - nesprávná velikost zrna [1]

## 2.4.3 Nesprávná velikost zrna (630)

Tato vada představuje odchylky velikosti zrna od sjednaných technických přejímacích podmínek nebo od norem. Zpravidla se jedná o hrubé zrna. Nejčastěji se s touto vadou lze setkat u vysokolegovaných zušlechtěných ocelí, u chromniklových

korozivzdorných a austenitických manganových ocelí (Hadfieldovy oceli), u kterých je velikost primárních zrn funkcí teploty lité a rychlosti krystalizace. U ocelí je třeba rozlišovat austenitické zrna (primární a sekundární) a feritické, feriticko-perlitické a perlitické zrna [1].

### **Příčiny vzniku:**

Například na primární strukturu ocelového odlitku má určující vliv spolu s chemickým složením také lící teplota a tloušťka stěny odlitku. S rostoucí lící teplotou a tloušťkou stěny roste velikost primárního austenitického zrna.

### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

K zabránění vzniku hrubého primárního austenitického zrna je třeba odlévat ocel z co nejnižší lící teploty a použít modifikátorů a postupů ovlivňujících makrostrukturu masivních odlitků [3].

#### 2.4.4 Nesprávný obsah strukturních složek (640)

Tato vada znamená odchylku v druhu, množství, velikosti, tvaru nebo rozložení strukturních složek od ustanovení norem, nebo sjednaných technických přejímacích podmínek.

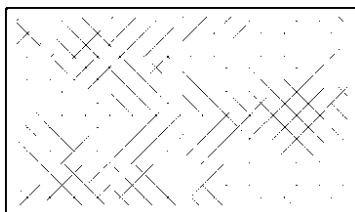
##### **Příčiny vzniku:**

Příčiny vzniku této vady je nutné odvodit na podkladě analýz konkrétních druhů neshod. U ocelí může jít při zušlechťování o nesprávný poměr mezi podílem martenzitu a zbylých nemartenzitických složek (bainitu, perlitu a feritu). To může zapříčinit nevyhovující požadovanou tvrdost. V jiném případě ve struktuře zůstanou zbytky lící struktury, což může způsobovat vysokou křehkost oceli [7].

##### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

Prevence k vzniku této vady může být nasměrována do oblastí metalurgické fáze výroby, krystalizace a chladnutí odlitku a tepelného zpracování, které má největší vliv na konečné uspořádání strukturních složek v oceli [1].

#### 2.4.5 Oduhličení povrchu (670)



Obr. 23 Schéma vady - oduhličení povrchu [1]

Vada *oduhličení povrchu* představuje nepřipustné oduhličení povrchu odlitku, spojené s nevyhovující strukturou, která může být příčinou nevyhovující tvrdosti a pevnosti povrchových vrstev, takže odlitek nesplňuje funkční požadavky stanovené technickými přejímacími podmínkami [2].

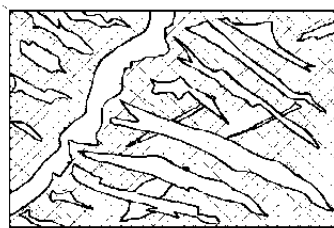
##### **Příčiny vzniku:**

K oduhličení vzniká v důsledku reakce uhlíku s kyslíkem za vzniku oxidu uhličitého. K velkému oduhličení povrchu ocelového odlitku dochází především v průběhu tepelného zpracování v žihacích pecích.

##### **Opatření k zabránění vzniku vady:**

Nebezpečí nežádoucího oduhličení povrchu je malé při běžných technologických postupech výroby odlitků a jejich tepelného zpracování. Nebezpečí se může zvýšit u výroby speciálních odlitků, u kterých může být důležitá povrchová tvrdost neopracované části. [1]

#### 2.4.6 Jiné vady mikrostruktury (680)



Obr. 24 Schéma vady - jiné vady mikrostruktury [1]

Do této skupiny se řadí odchylky od mikrostruktury stanovené normami nebo sjednanými přejímacími podmínkami, kromě vad skupin (610) až (670). Mohou to být anomální tvary, nebo neobvyklé způsoby vyloučení strukturních složek a fází, jako například u ocelí Widmannstättenova struktura, karbidy po hranách primárních austenitických zrn apod.

### ***Příčiny vzniku:***

Příčiny vzniku mohou být rozmanité a spočívat ve společném účinku činitelů metalurgických, slévárenské technologie a tepelného zpracování. Významnou měrou ke vzniku odchylek mikrostruktury může přispět způsob krystalizace a rychlost chladnutí[1].

### ***Opatření k zabránění vzniku vady:***

Pro tyto vady nelze získat všeobecně platná doporučení a je nutné vycházet z konkrétní analýzy příčin jejich vzniku. Většinu vad mikrostruktury lze odstranit tepelným zpracováním[1].

## **2.5 Vady chemického složení a vlastností odlitků (700)**

Tato třída obsahuje čtyři skupiny vad, které se dále nerozdělují. Jsou jimi nesprávné chemické složení (710), odchylky hodnot mechanických vlastností (720), odchylky hodnot fyzikálních vlastností (730) a nevyhovující homogenita odlitku (740). Stejně jako v předchozí třídě, tak i v této třídě nejde o vady v pravém (technickém) slova smyslu, ale o odchylky parametrů a vlastností odlitků od sjednaných přejímacích technických podmínek a norem. Podle [25] je podíl výskytu vad této třídy na celkové neshodě (zmetkovitosti) vyráběných ocelových odlitků na posledním místě. Nelze však nepříznivý vliv těchto vad na jakost ocelových odlitků podceňovat. Nejmenší podíl vad v ocelových odlitcích mají v této třídě skupiny 720 a 730.

### **2.5.1 Nesprávné chemické složení (710)**

Tato vada se projevuje odchylkami chemického složení materiálu odlitku od požadované normy nebo předem sjednaných technických podmínek. Chemické složení materiálu dané normou platí pro rozbor tavby. Pokud nebyl odebrán tavební vzorek pro chemický rozbor materiálu a pro kontrolní chemický rozbor, tak se vzorek odebírá ze zkušebního bloku pro zjišťování hodnot mechanických vlastností nebo přímo z daného odlitku [7].

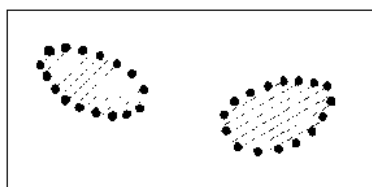
### ***Příčiny vzniku:***

Možnými příčinami této vady mohou být nesprávně tříděný vsázkový materiál, šrot i přísadové materiály, nesprávný výpočet vsázky, nesprávně řízená tavba nebo porucha při tavicím procesu a nehomogenita lázně v tavicích pecích.

### ***Opatření k zabránění vzniku vady:***

opatření k zabránění vzniku *nesprávného chemického složení* patří řádné třídění vsázkových surovin a šrotu podle chemického složení a správný výpočet chemického složení vsázky. Tuto vadu nelze opravit a je možné ji pouze tolerovat [1].

### **2.5.2 Nevyhovující homogenita odlitku (740)**



Obr. 25 Schéma vady - nevyhovující homogenita odlitku [1]

Vada *nevyhovující homogenita odlitku* představuje shluky vysoké koncentrace exogenních i endogenních nekovových vměstků, sulfidů, oxidů, nitridů, shluky vycezenin, ředin, staženin a mikrostaženin, případně i výskyt hrubé primární struktury a jiných vnitřních poruch. V dosud platné normě ČSN 42 1240 tato vada uvedena nebyla. Její zavedení do klasifikace podle [1] bylo provedeno s ohledem na masivní odlitky, u

kterých je velice ekonomicky náročné určovat vlastní příčiny nehomogenity.

***Příčiny vzniku:***

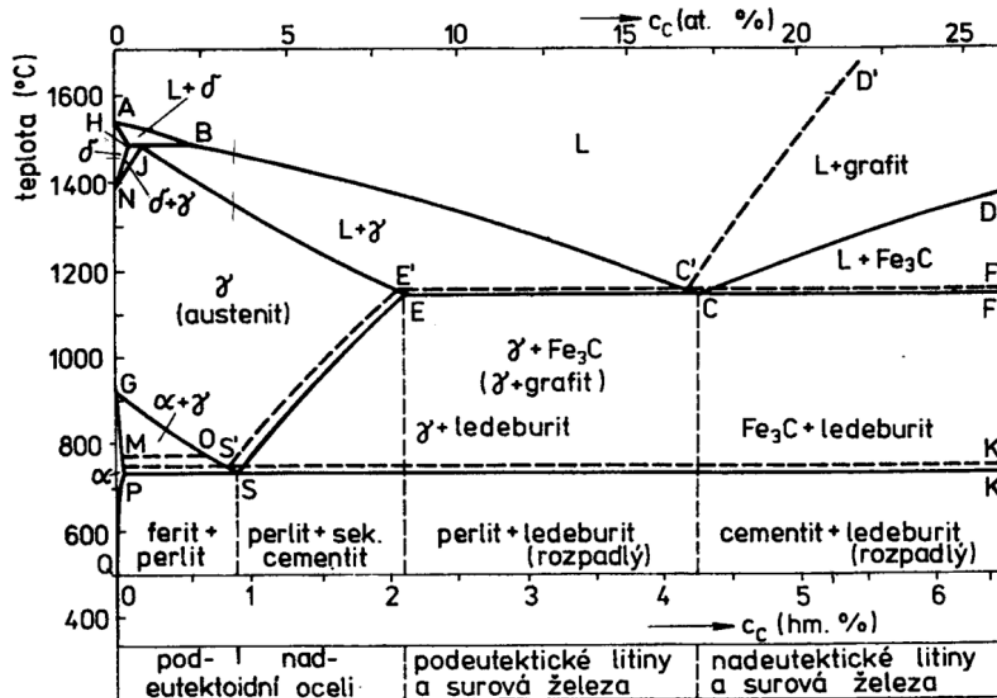
Příčiny této vady jsou různé. Záleží na tom, která slévárenská vada identifikovanou nehomogenitu způsobuje. Obvykle to jsou vnitřní dutiny, bubliny, staženiny, řediny, shluky nekovových vměstků, vycezenin, zadrobenin a difúzně nespojená vnitřní chladítka s podpěrkami jader.

***Opatření k zabránění vzniku vady:***

Jednotlivá opatření k zabránění vzniku této vady vyplývají z opatření vad, které tuto nehomogenitu způsobují. Opravy nehomogenity odlitků jsou velmi obtížné a nákladné, proto se odlitky často zmetkují. Vnitřní homogenitu ocelových odlitků lze významně zvýšit použitím správného keramického filtru a jeho vhodným umístěním do vtokové soustavy slévárenské formy [1].

### 3 Oceli na odlitky a základní metalurgie slitin

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14 % uhlíku. Při obsahu uhlíku vyšším než 2,14 % se jedná o litiny. Rozdělení slitin železa podle obsahu uhlíku je vyobrazeno v rovnovážném diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C na Obr. 26



Obr. 26 Rovnovázný diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [10]

Sortiment ocelí na odlitky je v českých slévárnách rozdělen do tří skupin. První skupinou jsou oceli pro všeobecné použití, které se dále dělí na nelegované oceli, nízkolegované chrom-molybdenové, podskupinu chrom – molybden – niklové oceli, které zahrnují oceli nízkolegované, středně legované a vysokolegované. Druhou skupinou jsou korozivzdorné oceli dělené podle struktury na martenzitické, austenitické, plně austenitické a austeniticko-ferritické. Poslední skupina žáruvzdorných ocelí se také rozděluje podle struktury na ferritické, ferriticko-austenitické a austenitické.

Slévárství má v naší zemi dlouholetou tradici. Do šedesátých let 20. století se ve slévárnách oceli a hutních závodech pro výrobu oceli na odlitky i oceli k odlévání ingotů používaly stejné technologie a zařízení. V posledních desítkách let byly velké hutní podniky modernizovány a tím se výrazně zvýšila výrobnost jednotlivých agregátů. Vložené vysoké investice na taková zařízení kryje vysoká produktivita hutní ocelárny.

I když bylo bývalé Československo největším producentem ocelových odlitek v Evropě, tak v posledních desetiletích u nás výroba ocelových odlitek stagnuje. Na našem území se před rokem 1989 ročně vyprodukovalo více než 300 tisíc tun ocelových odlitek. Po roce 1991 klesla jejich výroba na třetinu a i po roce 2000 se stále produkce ocelových odlitek drží na kolem 100 tisíc tun. V dnešní době v jedné slévárně oceli je tavící kapacita obvykle desítky tisíc tun, v hutní ocelárně to jsou miliony tun. Je to dáno také tím, že v

hutních ocelárnách je denní odběr tekutého kovu plynulý, ale ve slévárnách kolísá podle vyráběného sortimentu. Produkce odlitků ze slitin železných kovů u nás neustále klesá. V letech 2003 až 2013 byla nejnižší výroba, jež vznikla důsledkem celosvětové finanční krize, zaznamenána v roce 2010. V České republice se výrobou odlitků z oceli zabývá více než 20 sléváren z přibližného celkového počtu 170 [2].

### 3.1 Oceli na odlitky

Výroba ocelových odlitků se řadí do nejmladší oblasti slévárenské výroby. Odlitky se odlévají z klasických uhlíkových ocelí (nelegovaných) a ocelí slitinových (legovaných). Slitinové oceli obsahují více jednoho nebo více prvků, než udávají níže vypsane maximální koncentrace[3]:

0,9% Mn	0,2% Co
0,5% Si	0,1% Mo
0,5% Ni	0,1% V
0,3% Cr	0,1% Ti
0,2% W	0,1% Al

#### ***Pevnost v tahu:***

Pátá číslice v označování uhlíkových ocelí podle ČSN udává charakteristiku pevnosti v tahu:

3 –  $R_m = 300 - 390\text{MPa}$

4 –  $R_m = 400 - 490\text{MPa}$

5 –  $R_m = 500 - 590\text{MPa}$

6 –  $R_m = 600 - 690\text{MPa}$

7 –  $R_m = 700 - 790\text{MPa}$

Význačná vlastnost na odlitky:

0	obvyklá jakost
1	zaručená mez průtažnosti
2	zaručená vrubová houževnatost (KC)
3	zaručená (KC) a tavná svařitelnost
5	zvětšená odolnost proti korozi
6	vlastnosti (1) a (5) současně
7	vlastnosti (2) a (5) současně
8	vlastnosti (3) a (5) současně
9	zaručená nejmenší magnetická indukce

[3]

Druh tepelného zpracování:

1 – normalizační žihání

2 – kalení

### 3.1.1 Uhlíkové oceli na odlitky

Příklady ocelí na odlitky, jejich vlastnosti a použití:

ČSN 42 26 41.2 – Tato uhlíková ocel je používána na odlévání různých strojních součástí. Chemické složení: C = 0,22%, S + P = max. 0,09 – 0,13%. Mechanické vlastnosti:  $R_m = 450\text{MPa}$ , A = 22%, HB = 132. Tavná svařitelnost. Dodávané odlitky jsou v žíhaném stavu.

ČSN 42 26 43.1 – Ocel hodící se pro odlitky pracující až do teplot 400°C. Chemické složení: C = 0,25%, S + P = max. 0,07 – 0,09%, Cr = max. 0,15%. Mechanické vlastnosti:  $R_m = \text{min. } 450\text{MPa}$ , A = 22%, Z = 20%. Zaručená vrubová houževnatost KCU = 40 J/cm<sup>2</sup>, HB = 132. Velice dobrá svařitelnost. Odlitky se dodávají ve stavu normalizačně žíhaném.

ČSN 42 26 50.2 – Jedná se o nejužívanější uhlíkovou ocel na odlitky. Používaná na strojní součásti, které jsou méně namáhané. Chemické složení: C = 0,32%, ostatní prvky nejsou předepsány. Mechanické vlastnosti:  $R_m = 520\text{MPa}$ , A = 12%, HB = 156. Tavná svařitelnost je obtížná. Dodává se ve stavu žíhaném.

ČSN 42 26 61.1

ČSN 42 26 61.6 – Pro značně namáhané strojní součásti je ideální odlévání odlitků právě z této oceli. Její chemické složení: C = 0,44%, S + P = max. 0,09 – 0,11%. Mechanické vlastnosti:  $R_m = 600 - 690\text{MPa}$ , A = 10%, HB = 177 - 215. Svařitelnost je velmi obtížná. Dodávané odlitky jsou pak ve stavu normalizačně žíhaném nebo zušlechtěném.

Z výše uvedeného přehledu uhlíkových ocelí můžeme odvodit typické obecné závislosti: s rostoucím obsahem C roste pevnost a tvrdost ocelí (kalitelnost) a naopak klesá tažnost. Zároveň se zhoršuje tavná svařitelnost [3].

### 3.1.2 Slitinové oceli na odlitky

Příklady ocelí na odlitky, jejich vlastnosti a použití:

ČSN 42 27 20.1

ČSN 42 27 20.6 – Uvádí se také jako ocel křemíková. Tato ocel je používána na odlitky namáhaných ozubených kol. Chemické složení: C = 0,52 – 0,60%, Si = 0,5 – 0,65%, Mn = 0,5 – 0,75%. Mechanické vlastnosti:  $R_m = 650 - 850\text{MPa}$ , A = 12%, HB = 183 - 239. Svařitelnost oceli je velmi obtížná. Užívá se ve stavu normalizačně žíhaném (nižší hodnota  $R_m$ ) nebo zušlechtěném. Uvádí se také jako ocel křemíková.

ČSN 42 27 31.1 – Ocel, která je vyhovující pro odlitky na stavbu parních centrál (do teplot 500°C). Tato chromvanadová ocel má chemické složení: C = 0,1 – 0,2%, Cr = 0,95 – 1,25%, V = 0,3 – 0,4 %, Ni = max. 0,5%. Mechanické vlastnosti:  $R_m = 450 - 650\text{MPa}$ , A = 18%, Z = 30%, KVU = 40 J/cm<sup>2</sup>, HB = 125 – 190. Tavná svařitelnost je velmi dobrá. Používá se ve stavu normalizačně žíhaném i popuštěném.

ČSN 42 27 60.2

ČSN 42 27 61.4 – Manganová austenitická ocel (Hadfieldova), odolná proti opotřebení. Chemické složení: C = 1 – 1,5%, Mn = 12 – 14%, Cr = 0,7 – 1,2%, Si = max. 0,7 %. Mechanické vlastnosti:  $R_m = 800\text{MPa}$ , HB = 180 - 420. Užití této oceli je buď to ve stavu kaleném nebo žíhaném. Svařitelnost je velmi obtížná, stejně jako obrobitelnost (pouze broušení), kalitelnost je dobrá. Odlitky mají A = O a struktura zakalené oceli je austenitická (nemagnetická). Ocel je užívána na odlitky vystavené velkému opotřebení

(otěr pod tlakem) jako jsou desky drtičů a granulátorů, válce drtičů, traťové výhybky, drtící kužely, apod.

ČSN 42 28 22.0 – Křemíková ocel jejíž složení je: C = 0,5 – 0,8%, Si = 14 – 16%. Mechanické vlastnosti nejsou uváděny. Obrobitelnost je pouze broušením. Tato ocel je vysoce odolná proti korozi (i kyselinami HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), špatně však odolává HCl a neodolává HF a horkým alkalickým roztokům. Odlitky jsou velmi křehké a nesnášejí prudké teplotní změny.

ČSN 42 29 31.1

ČSN42 29 32.1 – Austenitická chromniklová ocel. Chemické složení: C = 0,15 – 0,25%, Si = 1,2 - 2,0%, Cr = 17 – 19%, Ni = 8 – 9,5%. Mechanické vlastnosti: jsou dány v normě ve vztahu k austenitizačnímu žhání a v tomto stavu se tato ocel také používá: R<sub>m</sub> = 450MPa, A = 30%, Z = 35%, KCU = 80 J/cm<sup>2</sup>, HB = 140 – 190. Tato ocel je odolná proti chemickému působení HNO<sub>3</sub>, zředěné H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a slabým organickým kyselinám. Je málo obrobitelná, ale velmi dobře svařitelná. Užívá se pro odlitky chemického, potravinářského, olejářského, papírenského průmyslu, apod. [3].

**Mezi další oceli na odlitky se řadí:**

- Žáruvzdorné oceli
- Žáropevné oceli
- Korozivzdorné oceli
- Otěruvzdorné oceli
- Nemagnetické a magnetické oceli
- Mrazuvzdorné oceli
- Oceli se zvýšenou pevností za pokojové teploty

## 3.2 Tavení kovů ve slévárnách

Ve strojírenství se používá odlitků z oceli, litiny a ze slitin neželezných kovů. Na výrobu ocelových odlitků se používá převážně uhlíková ocel s obsahem uhlíku v mezích 0,15 – 0,45% a s obvyklým obsahem doprovodných prvků: 0,5% Mn, 0,25% Si, max. 0,05%P, max. 0,05% S[2].

## 3.3 Pece pro tavení oceli

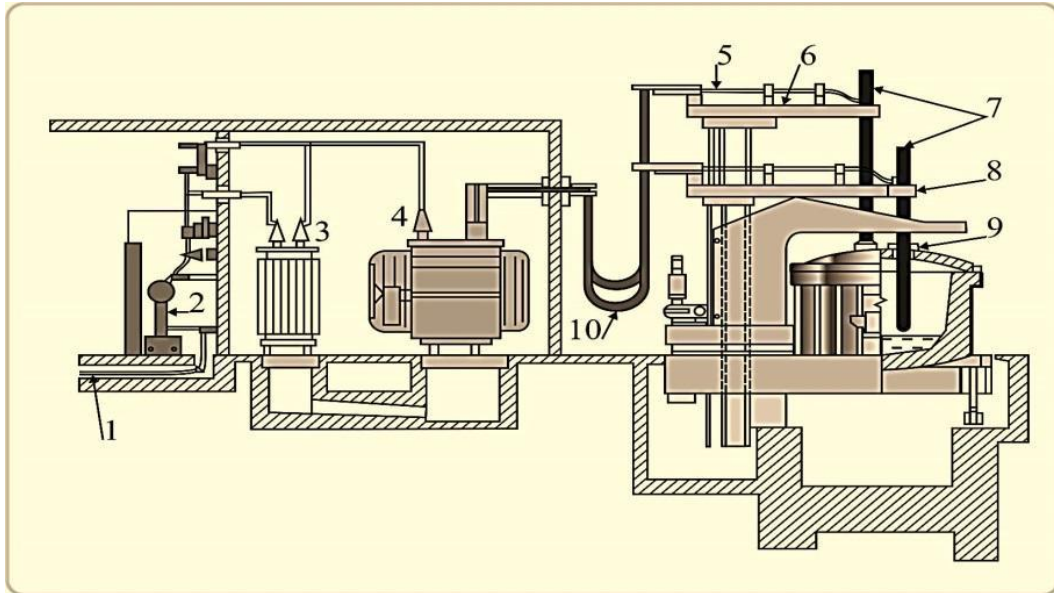
K tavení oceli se používá martinských pecí, elektrických obloukových pecí, elektrických indukčních pecí a kelímkových pecí. Elektrické obloukové pece a elektrické indukční pece jsou v našich slévárnách pro tavení oceli na odlitky nejužívanější. V hutních slévárnách se mimo uvedené pece používají také martinské stacionární pece [2,8].

### 3.3.1 Elektrické obloukové pece

Schéma třífázové elektrické obloukové pece je na obr. 27. Pec je napájena přímo ze sítě vysokého napětí kabelem 1, přes hlavní vypínač 2, tlumivku 3 a transformátor 4. U malých pecí je obvykle v jedné nádobě s pecním transformátorem i tlumivka. Funkce zapojení tlumivky je pouze ve fázi natahování, aby svým indukčním odporem snižovala kolísání napětí na obloucích i v síti. Konstrukce pecního transformátoru by měla krátkodobě zajistit až 100 % přetížení. Přetěžování pecního transformátoru je dáno výrobcem a může být například po dobu 30 min. o 50 %. Transformátor je obvykle ponořen do transformátorového oleje, který slouží jako chladicí médium. Transformátory menších výkonů mohou být chlazeny vzduchem. Vypínače, tlumivka a pecní



transformátor jsou umístěny v transformátorové kobce. Z transformátoru je elektrická energie vedena měděnými pásnicemi na vnější stěnu transformátorové kobky a dále lany 10 až na ramena držákem elektrod 6. Vlastní elektrody 7 jsou drženy držákem 8. Na rameni držáku elektrod je proud veden dále měděnými pásnicemi 6. Elektroda prochází víkem pece přes chlazený kroužek elektrod 9. Rychlost roztavení vsázky závisí především na instalovaném příkonu pecního transformátoru a na schopnosti regulace pece využít instalovaný příkon.



Obr. 27 Schéma elektrické obloukové pece [2]

Instalovaný příkon pecního transformátoru ve slévárnách bývá většinou 300 až 600 kVA/t. Na roztavení tuny vsázky se počítá s teoretickou spotřebou 380 kWh/t. Skutečná spotřeba na roztavení a ohřátí lázně na 1600 °C je cca o 80 kWh/t vyšší. Ve slévárnách pracují obvykle EOP o hmotnosti tavby 4 až 20t. Těžké odlitky se vyrábějí ve slévárnách u hutních oceláren, které dodávají tekutý kov. EOP mají typ vyzdívek zásaditý. Slévárny v ČR již nepoužívají kyselé vyzdívky. Výhodou zásaditých pecí vyzděných obvykle magnezitem a chrommagnezitem je možnost zpracovávat kovovou vsázku s nezaručeným obsahem fosforu a síry. Tyto umožňují vyrábět oceli s velmi nízkým obsahem fosforu a síry. Kyselé pece byly vyzděny nebo vydusány žáruvzdornými materiály na bázi SiO<sub>2</sub>. Jejich výhodou byly nižší zpracovací náklady, ale to bylo možné pouze při použití vsázky se známým chemickým složením.

Teploty v elektrickém oblouku přesahují 3000 °C. Ohřev elektrickým obloukem má za následek lokální přehřívání kovu. Po vzniku tekuté lázně působí oblouk pouze na povrch lázně, což může mít za následek vysokou teplotní heterogenitu a zhoršené podmínky pro přenos tepla. V elektrickém oblouku dochází k disociaci dusíku a vodíku, které se rozpouští v lázni. Vysoké teploty lázně pod obloukem mají rovněž vliv na odpařování některých kovů nebo jejich oxidů. Vyšší obsah dusíku a vodíku v ocelích vyráběných na obloukových pecích se snižuje uhlíkovým varem. Ve funkci ohřevu oxidují při vysokých teplotách zrníčka grafitu a padají na hladinu lázně. Potom je nutné zejména při výrobě oceli s nízkým obsahem uhlíku počítat s nauhličením oceli. Hlavní výhodou elektrických obloukových pecí ve vztahu k pecím indukčním jsou menší nároky na kusovitost a sypnou hmotnost vsázky a možnost měnit chemické složení oceli v širokých mezích [2,8].

### ***Oxidační údobí***

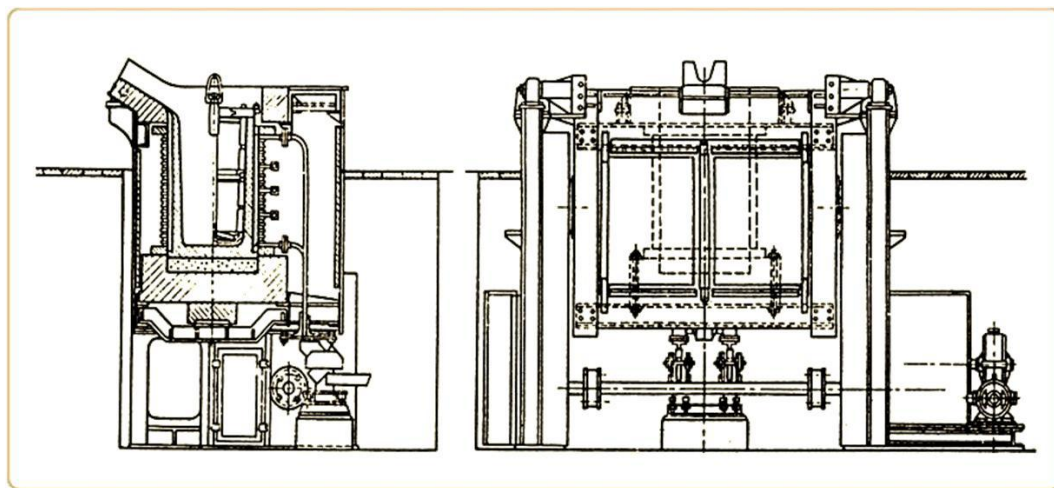
Účelem oxidačního údobí tavby je odstranit-okysličit nežádoucí prvky, zmenšit obsahy vodíku, dusíku, vyrovnat teplotu lázně a zmenšit obsah vměstků v oceli. Kyslík patří k nejdůležitějším prvkům v oceli. Zúčastňuje se všech metalurgických reakcí probíhajících v oxidačním i redukčním údobí tavby a také při odlévání a tunutí ocelových odlitků. Jeho celkový obsah v kovu musí být co nejnižší. Po provedené oxidaci se musí koncentrace kyslíku snížit tak, aby bylo možné odstranění síry v redukčním údobí. Ocel pro odlitky musí mít obsah kyslíku tak nízký, aby nedošlo při tunutí k reakci s uhlíkem, za vzniku oxidu uhelnatého, tvořícího v odlitcích exogenní bubliny CO. Vznik této vady v odlitcích je důsledkem minimální rozpustnosti kyslíku v oceli[2,8,9].

### ***Redukční údobí***

Ocel při odlévání do syrových forem (tj. vlhkých s určitým obsahem vody) reaguje s atmosférickým kyslíkem i s vnitřním povrchem formy. Důsledkem obou pochodů je další oxidace (reoxidace) odlévané oceli. Proto musí být v oceli před vlastním odléváním přebytek dominantního dezoxidačního prvku, který bude ocel při lití do forem dezoxidovat po celou dobu odlévání. Oceli na odlitky se před litím do formy dezoxidují přidáním kovového hliníku (cca 1%). V případě odlévání hmotných odlitků může však zvýšený obsah hliníku způsobit vadu odlitku - křehkých tzv. lasturových lomů[2,8,9].

## **3.3.2 Elektrické indukční pece**

Metalurgická část elektrické středofrekvenční pece je uvedena na obr. 28. Ve slévárnách oceli se používají výhradně elektrické indukční kelímkové pece. Kanálkové pece se používají ve slévárnách litiny a v ocelárnách se nepoužívají.



Obr. 28 Schéma elektrické indukční pece [2]

Pece pracují zpravidla se střední frekvencí (250 až 600 Hz). Pece na síťovou frekvenci jsou ve slévárnách oceli méně časté. S vyšší frekvencí pracují pece s malou hmotností vsázky, používané jako pece laboratorní. Indukční pece jsou napájeny ze sítě vysokého napětí přes pecní transformátor. Z pecního transformátoru je napájen měnič frekvence proudem o napětí obvykle do 6000 V. Proud je nejprve usměrňován na polovodičových diodách, vyhlazen tlumivkou. Potřebná frekvence se vytváří výkonovými tyristory. Tyristory jsou řízeny a frekvenci je možno plynule měnit. Proudem o střední frekvenci je napájen induktor. U pecí starší konstrukce je možné se také setkat s rotačním měničem (motor – generátor středofrekvenčního proudu). Konstrukce pece je odstíněna od

induktoru svazky transformátorových plechů, které vedou elektromagnetické pole a snižují ztráty. Indukčnost cívky je kompenzována baterií kondenzátorů. Induktor a kondenzátory tvoří rezonanční obvod, který se reguluje jednak změnou kapacity kondenzátorové baterie tj. zapojováním nebo odpojováním kondenzátorů a jednak změnou frekvence. Zdrojem tepla u indukčních pecí jsou indukované proudy. Středofrekvenční indukční pece pracují s příkonem 500 – 1000 kW/t. Ve slévárnách přesného lití se instalují nejčastěji pece s hmotností tavby 40 až 250 kg. V ostatních slévárnách oceli o objemu 0,5 až 25t. U pecí na síťovou frekvenci (50 Hz) je možné použít s ohledem na rozsah víření lázně maximální příkon cca 300 kW/t. Výrobnost pece závisí především na instalovaném příkonu zdroje. U pecí na síťovou frekvenci je možné instalovat výkonný zdroj jen u pecí s větší hmotností vsázky, které pracují s tekutým zbytkem. Více než polovina kovu se při odpichu ponechává v peci. Vsázka tvoří za těchto podmínek jen polovinu hmotnosti odlévané tavby a instalovaný výkon se využívá jen na roztavení této poloviny hmotnosti, měrný elektrický příkon v kWh/t je pak dvojnásobný a doba tavení se urychlí. Pece na síťovou frekvenci se používají více ve slévárnách litiny, kde jsou instalovány pece o hmotnosti 1 až 80t. Význam pecí na síťovou frekvenci klesl s rozvojem polovodičové techniky a následujícím zlevnění měničů frekvence. Pece na síťovou frekvenci se mohou vyzdívat keramickými tvárniciemi. U středofrekvenčních pecí se používají výhradně výdusky, neboť případné spáry ve zdivu by u těchto pecí mohly být příčinou proniknutí kovu vyzdívkou kelímku. Pro zhotovení výdusek se používají kyselé dusací hmoty na bázi drcených křemenců ( $\text{SiO}_2$ ) nebo zásadité dusací hmoty nejčastěji na bázi spinelu  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  (20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), případně  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  (30 %  $\text{MgO}$ ). Indukční pece proto bývají stavěny se dvěma nebo třemi kelímky. Jeden kelímek je v opravě a následně může zůstat v rezervě. Středofrekvenční indukční pece mají nezastupitelnou úlohu tavicího agregátu ve slévárnách přesného lití. Pro odlévání odlitků na strojních formovnách je také dávána přednost indukčním pecím. Z pohledu metalurgického slouží indukční pece jako agregát k přetavování vsázky. Kromě nauhličení, legování a dezoxidace se během tavby záměrně nemění chemické složení oceli. V indukční peci nedochází k samovolnému nauhličování vsázky a jsou proto vhodné pro výrobu ocelí s nízkým obsahem uhlíku. Výhodou indukčních pecí oproti pecím obloukovým jsou nižší zpracovací náklady, nižší pořizovací náklady (při srovnatelné výrobnosti) a ekologické přednosti (nižší prašnost, nižší hlučnost). Míchání kovu indukčními proudy během tavby vytváří v kelímku chemickou a tepelnou homogenitu, což je výhodné pro dosažení úzkého rozmezí chemického složení a odpichových teplot. Indukční pec je operativní tavicí agregát vhodný pro přerušovaný provoz. Doby tavby mohou být podle typu pece kratší než jedna hodina. Potom při době odlévání 30 minut jsou schopny dvě indukční pece plynule zásobovat formovací linku tekutým kovem. V mnoha slévárnách jsou indukční pece jedinou alternativou pro výrobu korozivzdorných ocelí s nízkým obsahem uhlíku[2,8].

### 3.4 Dezoxidace oceli

Ocel je vyráběna oxidačními pochody, a proto v závěru tavby zůstává v kovové lázni určité množství rozpuštěného kyslíku. Obsah kyslíku v kovové lázni po oxidaci doprovodných prvků závisí na složení kovu (hlavně obsahu uhlíku) a strusky (aktivity  $\text{FeO}$ ), na teplotě lázně a druhu výrobního pochodu. Úkolem dezoxidace je snížit obsah kyslíku v tekuté oceli na požadovanou výši, neboť v průběhu chladnutí, tuhnutí a krystalizace oceli se rozpustnost kyslíku podstatně snižuje, což vede ke vzniku oxidů  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CO}$  atd. podmiňujících vznik dutin, pórů a znečištění utuhlé oceli

oxidickými vměstky. To se projeví ve špatné tvařitelnosti a zhoršení mechanických vlastností oceli.

Dle stupně dezoxidace rozdělujeme oceli na :

1. uklidněné – obsah kyslíku snížen na úroveň, kdy při odlévání a tuhnutí již neprobíhá uhlíková reakce
2. neuklidněné – při odlévání a tuhnutí dochází k průběhu oxidace uhlíku za vzniku bublin CO
3. polouklidněné – mezičlánek mezi uklidněnou a neuklidněnou ocelí.

Dezoxidace oceli v peci, tj. snížení aktivity kyslíku v oceli i strusce na hodnotu, která je vyhovující pro odsíření, dolegování oceli a závěrečnou dezoxidaci v pánvi. Dominantní dezoxidačním prvek je prvek, který řídí aktivitu kyslíku v oceli. V oceli na odlitky je to hliník. Používané způsoby technologie je možné rozdělit na srážecí (hlubinou), extrakční (difuzní) dezoxidaci, dezoxidaci syntetickými struskami a dezoxidaci za sníženého tlaku (ve vakuu).

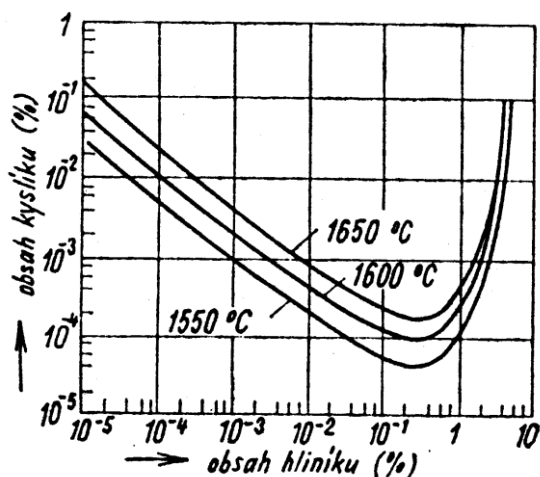
### **Srážecí dezoxidace**

Jedná se o pochod, kdy se snažíme o snížení aktivity kyslíku rozpuštěného v oceli, přidáním prvků, které mají vysokou afinitu ke kyslíku. Výsledkem reakce jsou následně oxidy v tuhém, tekutém nebo plynném stavu. Ty jsou za teplot metalurgických pochodů termodynamicky stabilní. Jako vměstky pak zůstávají v oceli nebo jich část vyplouvá a přechází ve strusky. Ke srážecí dezoxidaci se používá při výrobě oceli na odlitky nejčastěji křemík ve formě ferosilicia (75% Si) nebo hliník ve formě hliníkových housek. Dezoxidace Si a Al může být kombinována s použitím dalších prvků jako Ti, Ca aj.

### **Dezoxidace hliníkem**

Dezoxidace hliníkem sníží aktivitu kyslíku tak, že během tuhnutí je zabráněno uhlíkové reakci v odlitech během tuhnutí. Po dezoxidaci hliníkem zůstává v oceli určitá koncentrace tzv. zbytkového hliníku, která dezoxiduje ocel při sekundární oxidaci.

Rovnovážné obsahy hliníku a kyslíku v tavenině železa při teplotách 1550 až 1650 °C jsou uvedeny na obr 29. Hliník v tavenině i v oceli po ztuhnutí existuje jednak ve formě oxidů jednak rozpuštěný v roztoku. Pod teplotou likvidu se také část hliníku váže na



Obr. 29 Rovnovážné obsahy [Al] a [O] v tavenině železa při teplotě 1550 až 1650 °C

nitrid AlN. Obsah hliníku se proto udává jako hliník celkový nebo jako hliník rozpuštěný [Al]. Skutečné obsahy hliníku v oceli jsou vyšší než rovnovážné. Při tak nízkých obsazích kyslíku je vyzdívka i struska zdrojem kyslíku, který difunduje do oceli. Výsledné obsahy kyslíku proto závisí na složení strusky a vyzdívky. V pánvi po odpichu pod dobře dezoxidovanou zásaditou struskou jsou obsahy kyslíku nižší než  $10^{-3}$  ppm, obvykle 4 až 6 ppm. U taveb se struskou obsahující vyšší obsah FeO může docházet i k propálu hliníku v pánvi během odlévání a to až 0,020% Al. Pod struskami s obsahem

FeO nižším než 2% k měřitelnému propalu hliníku v pánvi nedochází.

Po dezoxidaci hliníkem jsou obsahy kyslíku nízké a jsou srovnatelné s aktivitou kyslíku. Na oxidy bývá vázáno v oceli cca 0,01% Al. Rozdíl mezi obsahem hliníku rozpuštěným a vázaným na oxidy odpovídá množství oxidických vměstků a je možné jej považovat za míru oxidické čistoty oceli. V oceli dezoxidované hliníkem je nutné, aby zbytkový obsah hliníku byl vyšší než 0,030%. V takto dezoxidované oceli je všechn kyslík vázán na hliník jako  $Al_2O_3$ . Moderní spektrální analyzátoři (kvantometry) umožňují stanovení hliníku rozpuštěného i celkového.

K dezoxidaci se používají hliníkové housky, případně odpadní hliník. U ocelí na odlitky se používá téměř vždy závěrečná dezoxidace hliníkem v pánvi. Hliník plave na hladině oceli a je ve styku s atmosférou. Proto je při dezoxidaci hliníkovými houskami propal hliníku 40 až 70%. Snížení rozptylů výsledných obsahů hliníku se dosáhne některým ze způsobů ponořování hliníku pod hladinu kovu nebo použitím ferohliníku.

Spodní hranice obsahu zbytkového hliníku je dána požadavkem na zabránění vzniku uhlíkové reakce po celou dobu odlévání a tuhnutí odlitku. Horní obsah zbytkového hliníku je limitován nebezpečím vzniku lasturových lomů. Lasturový lom je lom probíhající na hranicích primárních austenitických zrn. Primární austenitická zrna jsou zrna vznikající při tuhnutí a chladnutí odlitků. Lze považovat za prokázané, že na iniciaci lasturových lomů se podílí nitrid hliníku. V ocelích s velmi nízkým obsahem dusíku nebo hliníku se lasturové lomy netvoří. Při výrobě oceli na obloukových pecích jsou výsledné obsahy dusíku v nelegovaných ocelích obvykle 90 až 130 ppm. Při takovém obsahu dusíku je nutné po dezoxidaci hliníkem počítat s vznikem nitridu hliníku.

Kritické množství rozpuštěného hliníku, při jehož překročení se začnou tvořit na lomových plochách lasturové lomy je závislé na obsahu hliníku a dusíku v oceli a na velikosti primárního zrna (na rychlosti tuhnutí a chladnutí – tloušťce stěny odlitku). S rostoucí tloušťkou stěny odlitku a obsahem dusíku v oceli klesá kritická koncentrace hliníku v oceli. Lasturové lomy se vyskytují zejména u tlustostěnných odlitků. Zbytkový obsah hliníku se musí pohybovat v rozmezí určeném nebezpečím vzniku bublin v odlitcích při jeho nízké koncentraci a nebezpečím vzniku lasturových lomů při jeho vysoké koncentraci. Povolené rozmezí se s rostoucí tloušťkou stěny odlitku zužuje. Závislost mezi obsahem hliníku a tloušťkou stěny odlitku (vyjádřenou hodnotou směrodatné tloušťky stěny 2R) je uvedena na obr. 5.20. Lasturový lom lze omezit prvky, které zjemňují primární austenitické zrno a tvoří s dusíkem nitridy stabilnější než nitrid hliníku. K těmto prvkům patří titan, zirkonium, niob molybden, a také síra. V praxi českých sléváren oceli byl používán k prevenci proti lasturovým lomům titan. Při kombinované dezoxidaci hliníkem a titanem váže hliník kyslík a titan dusík. Titan působí substituční zpevnění matrice a zvyšuje sklon ke vzniku trhlin. Koncentrace titanu v oceli se doporučuje vyšší než 0,040%, pro těžké odlitky vyšší než 0,030%.

## 4 Popis výroby odlitku čerpadla a analýza problémů

Slévárna dostala zakázku na výrobu ocelového odlitku čerpadla. Pro vyrobení ocelového odlitku čerpadla byla zvolena technologie gravitačního lití. Na výrobu čerpadla byl zvolen materiál dle značení EU EN GP240GH ( 1.0619 ). V tabulce 1 je znázorněno procentuální zastoupení jednotlivých prvků v oceli.

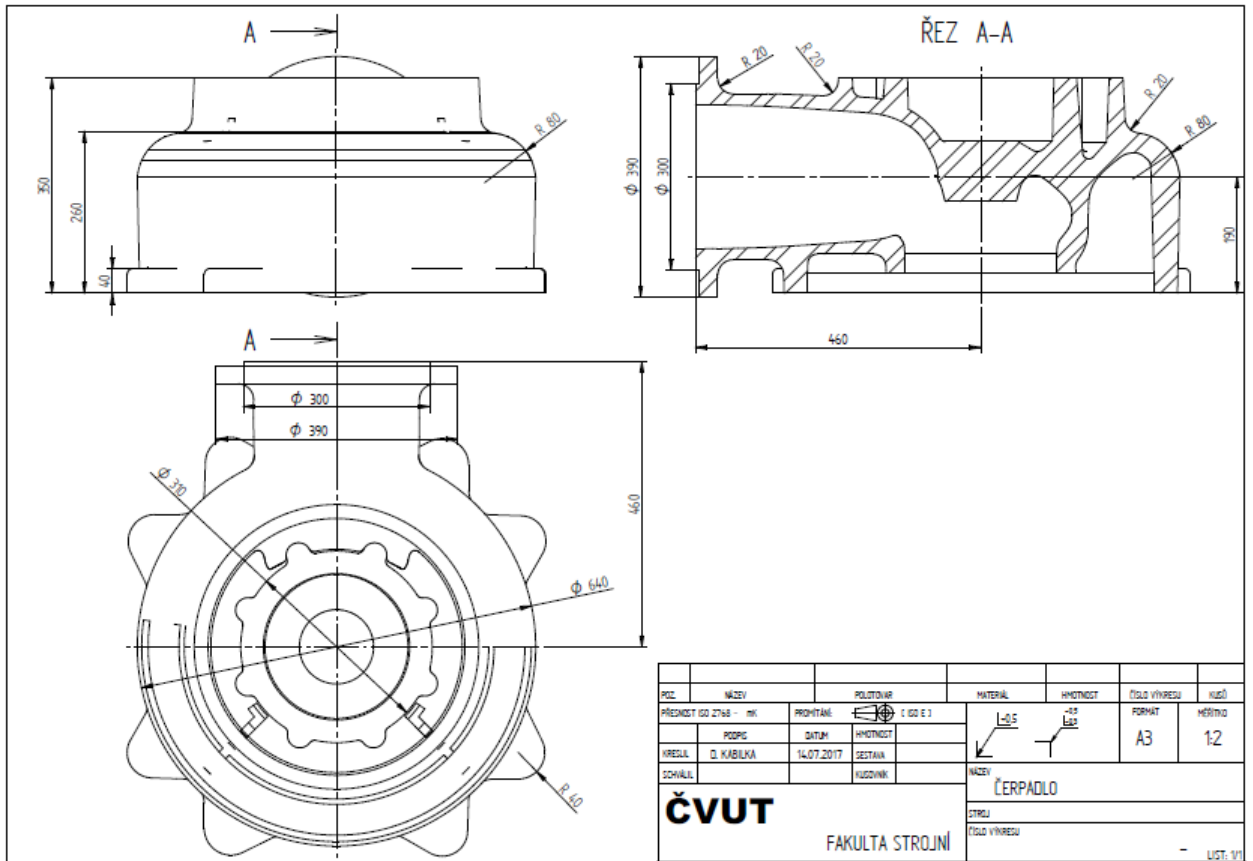
Tabulka 1 chemické složení oceli [%] GP240GH (1.0619): EN 10213-2007

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	V	Cu
0.18 - 0.23	max 0.6	0.5 - 1.2	max 0.4	max 0.03	max 0.02	max 0.3	max 0.12	max 0.03	max 0.3

Forma pro odlitek byla vyrobena z polského ostřiva Grudzeń Las D50 = 0,35 mm (Ložisko písku Grudzeń Las se nachází v Polsku zhruba 300 km od hranic s Českou republikou. Písky z této oblasti se vyznačují vysokým obsahem SiO<sub>2</sub>, minimálním množstvím oxidů a vysokou tepelnou odolností, díky které se eliminuje výskyt připečenin. Minimální množství prachových podílů, oválné a hladké zrna umožňují menší dávkování drahých pojiv. Velikosti středních zrn se pohybují v rozmezí 0,10 až 0,40 mm. Uplatnění nachází ve slévárnách oceli i litiny). Jako aktivátor byla použita hmota (Huttenes Albertus 100T3). Dávkování pryskyřice bylo zvoleno 0,8% a dávkování aktivátoru 50% hmotnosti pryskyřice. Forma byla ošetřena nátěrem na bázi korundu (Arkofluid 6277 firma Huttenes Albertus). Jelikož hmotnost surového odlitku činí 675kg a slévárna nemá pec dostačující velikosti, tak musela probíhat tavba ve dvou pecích současně, aby byli schopni dodat dostačující množství materiálu na odlití čerpadla.

### *Parametry odlitku:*

- Hmotnost: 675Kg
- Materiál: uhlíková ocel GP240GH (1.0619)



Obr. 30 výkres odlitku čerpadla

## 4.1 Analýza problémů

### Popis vady

Po obrobení se na povrchu odlitku objevilo mnoho vad. Místem jejich výskytu je spodní část formy. Vady se jeví jako bubliny, ačkoli se netypicky vyskytují ve spodní části formy, viz

Obr. 31, Obr. 32, Obr. 33.



Obr. 31 Místo odběru vzorku vady



Obr. 32 Detaily vady 1





Obr. 33 Detaily vady 2

Na Obr. 34, Obr. 35 je výbrus, pohled na výřez z odlitku s inkriminovanou vadou (pro názornost ze dvou stran)

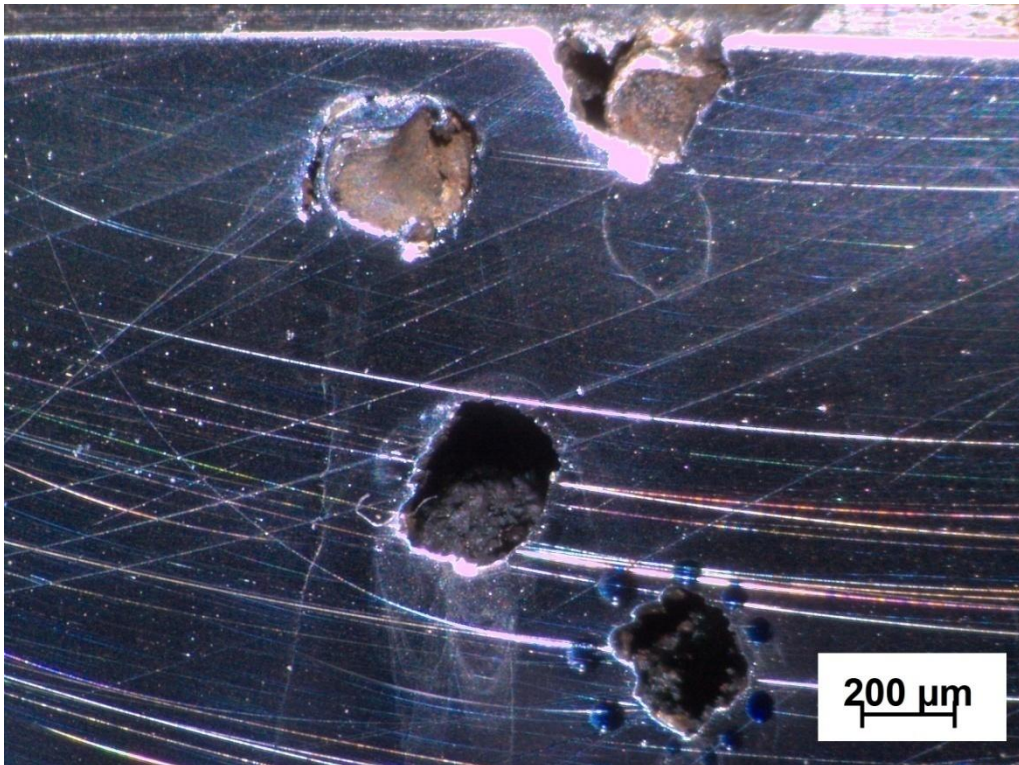


Obr. 34 Výbrus odlitku 1

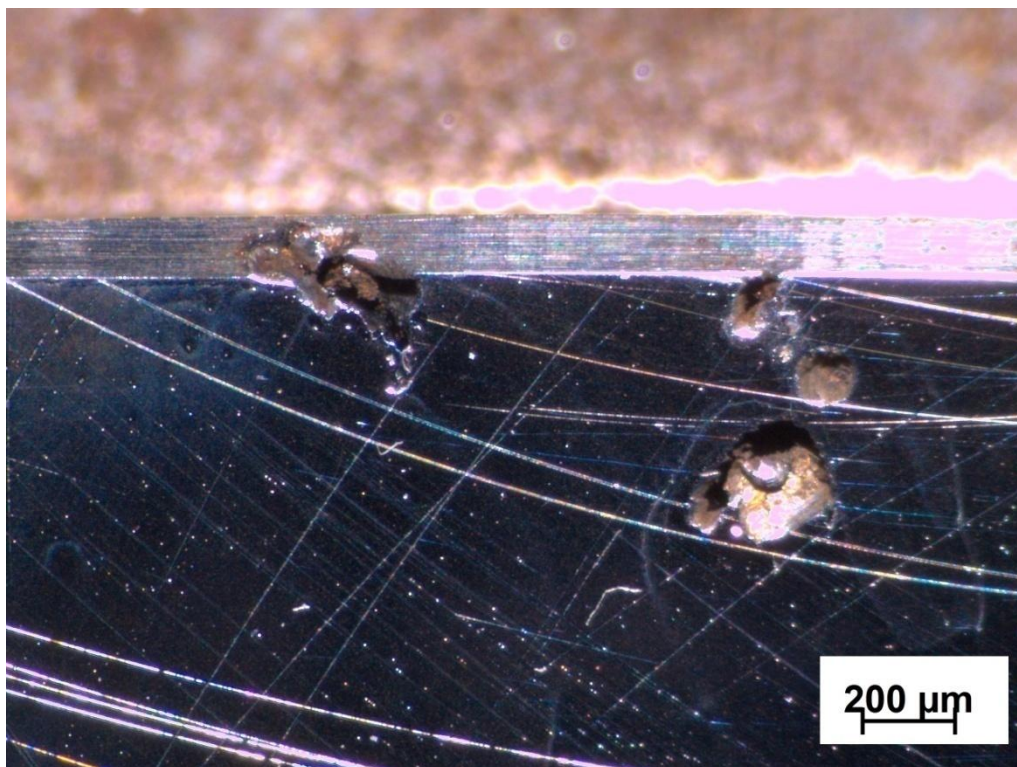


Obr. 35 Výbrus odlitku 2

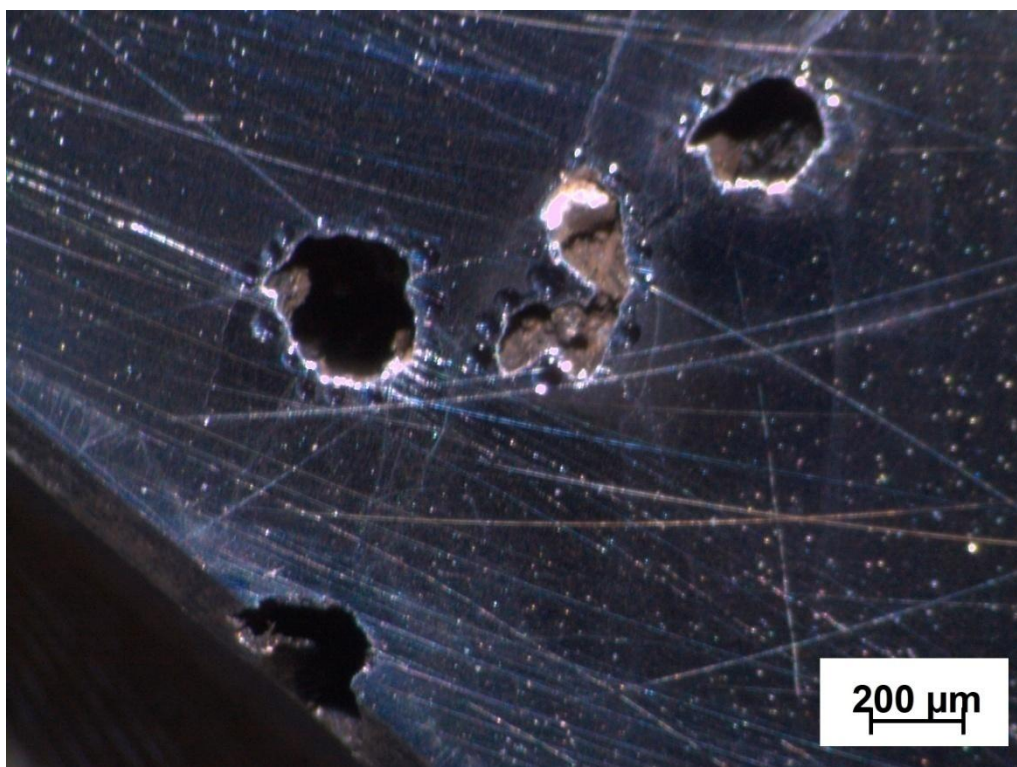
Z výbrusu byla zhotovena metalografie, která je zobrazena na následujících fotografiích a znázorňují detailní vady v odlitku.



Obr. 36 Fotografie vady 1



Obr. 37 Fotografie vady 2



Obr. 38 Fotografie vady 3

Ze snímků je vidět pravidelný kulatý tvar dutiny, z toho se dá usuzovat, že se jedná nikoliv o staženinu, ale o uzavřený plyn (staženina je vidět zřetelně na Obr. 38, nepravidelný tvar v mezidendritickém prostoru)

## 4.2 Hypotézy vzniku vad

Zde jsem uvedl možné hypotézy, které mohly zapříčinit vznik vad daného odlitku.

Hypotéza č. 1: Nesprávná technologie výroby odlitku

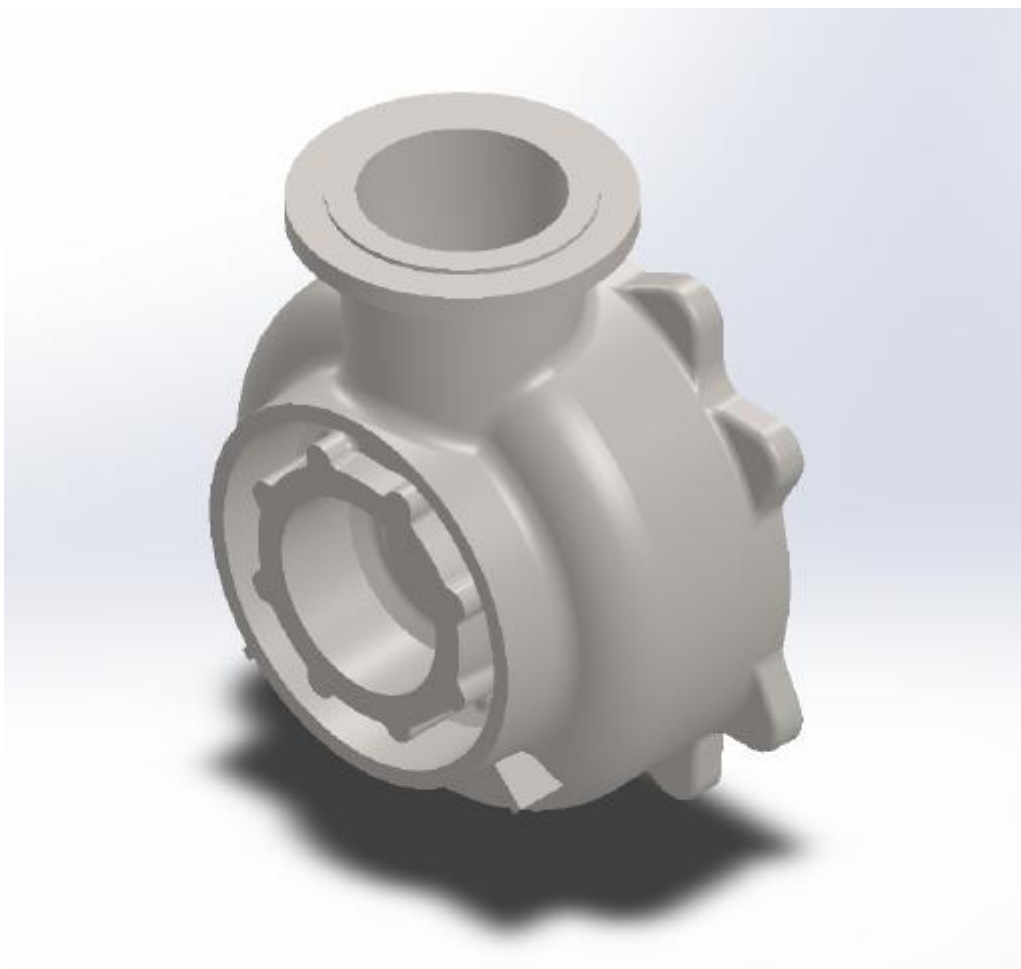
Hypotéza č. 2: Nesprávná vlhkost formovací směsi

Hypotéza č. 3: Nesprávná metalurgie

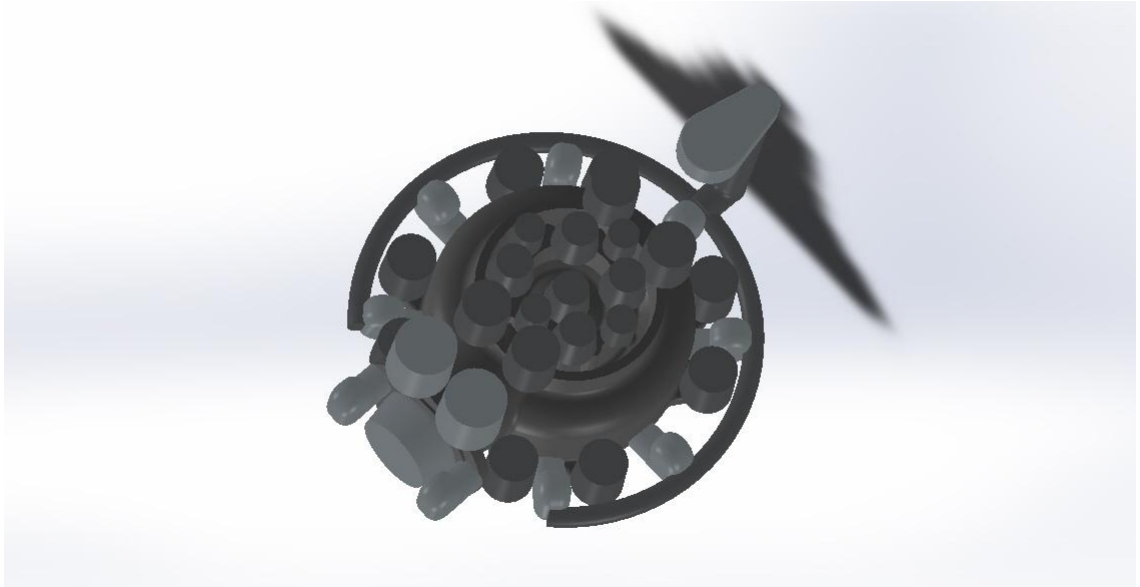
## 4.3 Vyhodnocení hypotéz

### 4.3.1 Ad. Hypotéza č. 1

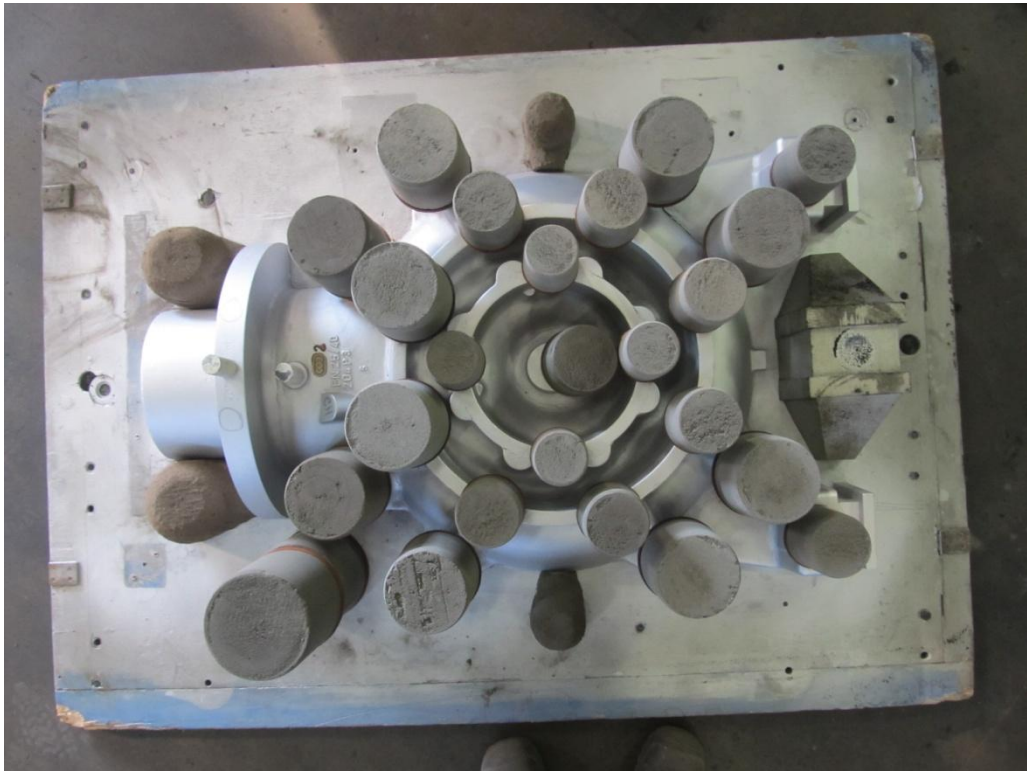
Na základě poskytnutých informací ze slévárny a postupového výkresu jsem vyhotovil v programu Solid WORKS 3D model odlitku Obr. 39, aby mi pomohl k objasnění vzniku vady. Poté jsem 3D model doplnil vtokovou soustavou, nálitky a exotermickými nástavci Obr. 40, abych ho mohl použít do simulace, která by mi zobrazila případné vady, které mohly vzniknout nesprávně zvoleným postupem odlévání.



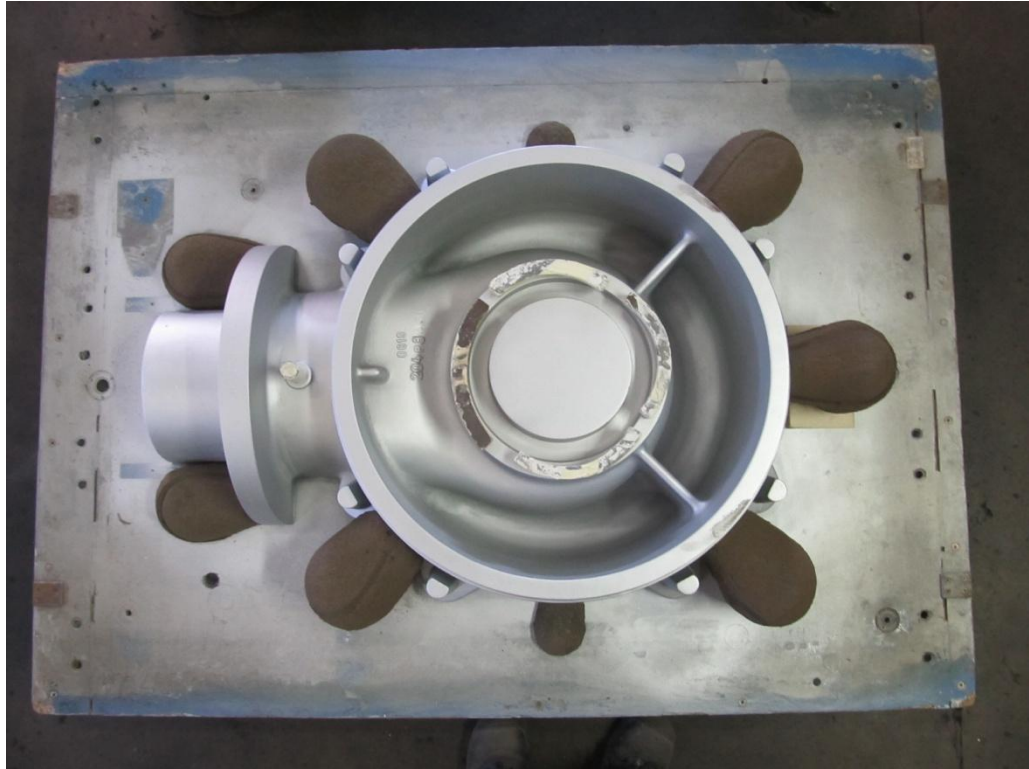
Obr. 39 3D model odlitku čerpadla



Obr. 40 3D model odlitku čerpadla s vtokovou soustavou, jádrem a exotermickými nástavci



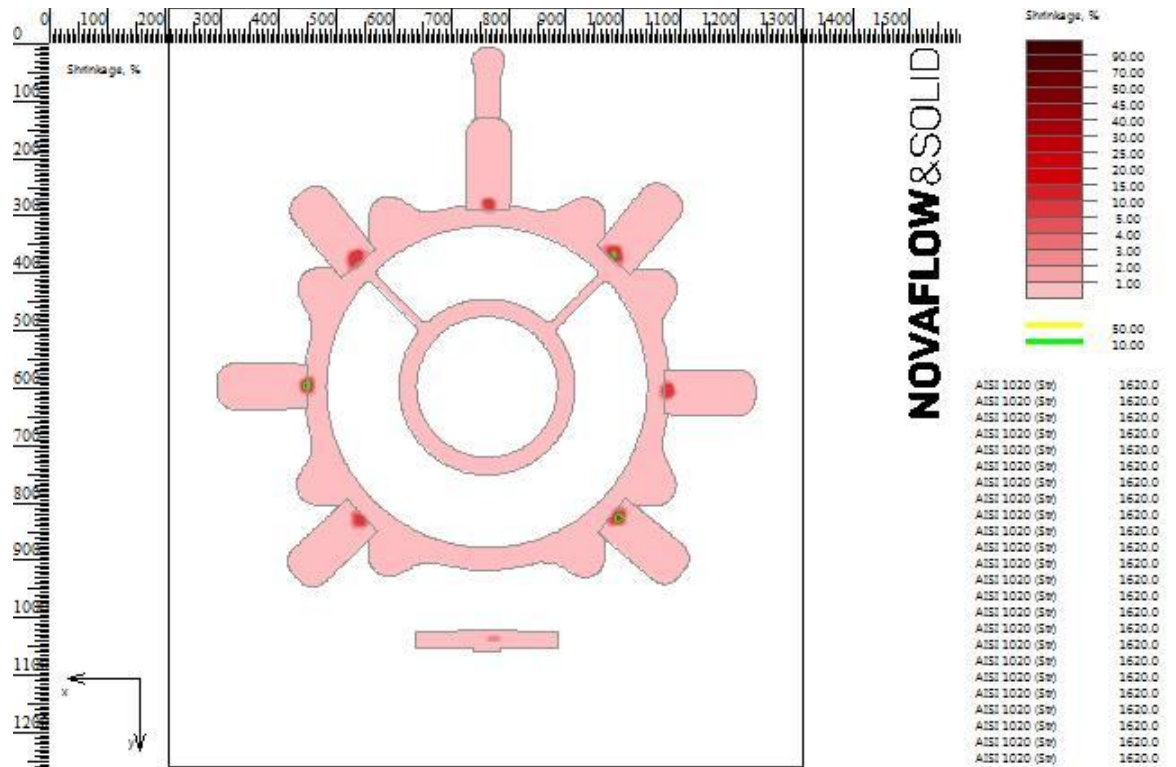
Obr. 41 Rozmístění exotermických nástavců a nálitků pohled na horní stranu modelu



Obr. 42 Rozmístění náliček pohled na spodní stranu modelu

Simulace litého odlitku byla zhotovena v programu NovaFlow. Obr. 43, Obr. 44, Obr. 45 zobrazují staženiny, které v odlitku vznikly.

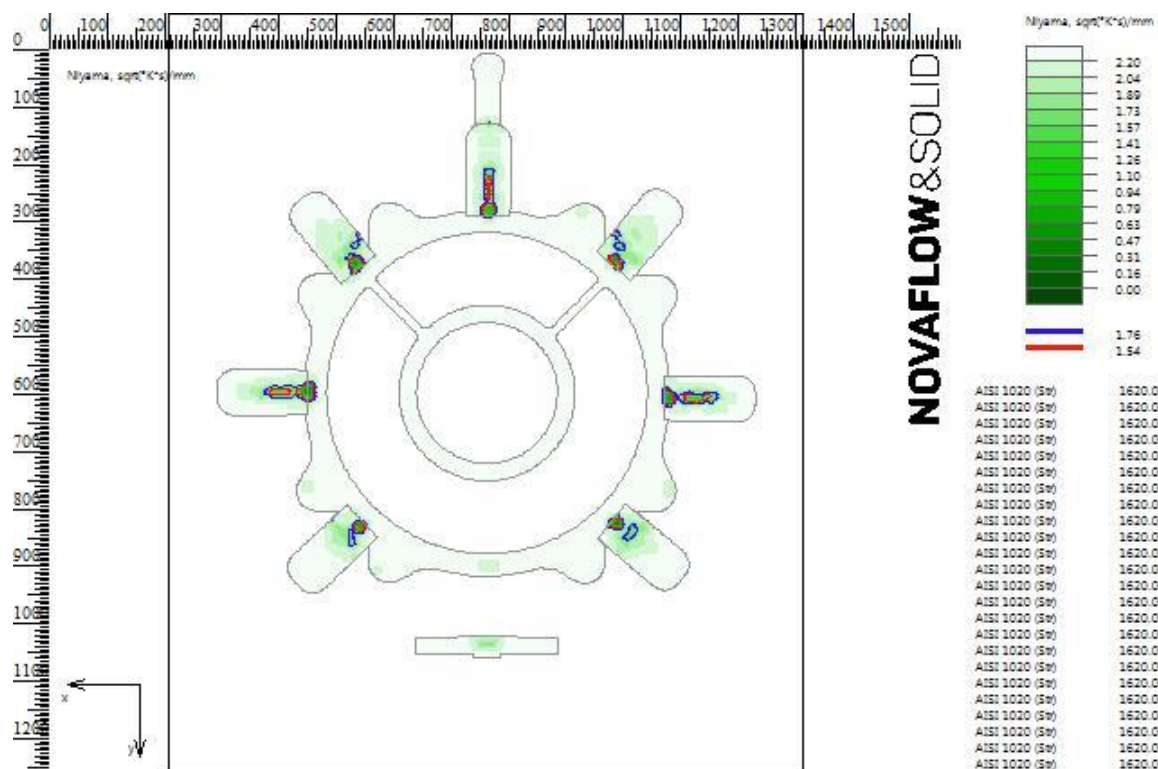
Jak je vidět, tak na zkoumané ploše, která byla postižena vadami, se dle simulace žádné vady staženin neobjevily.



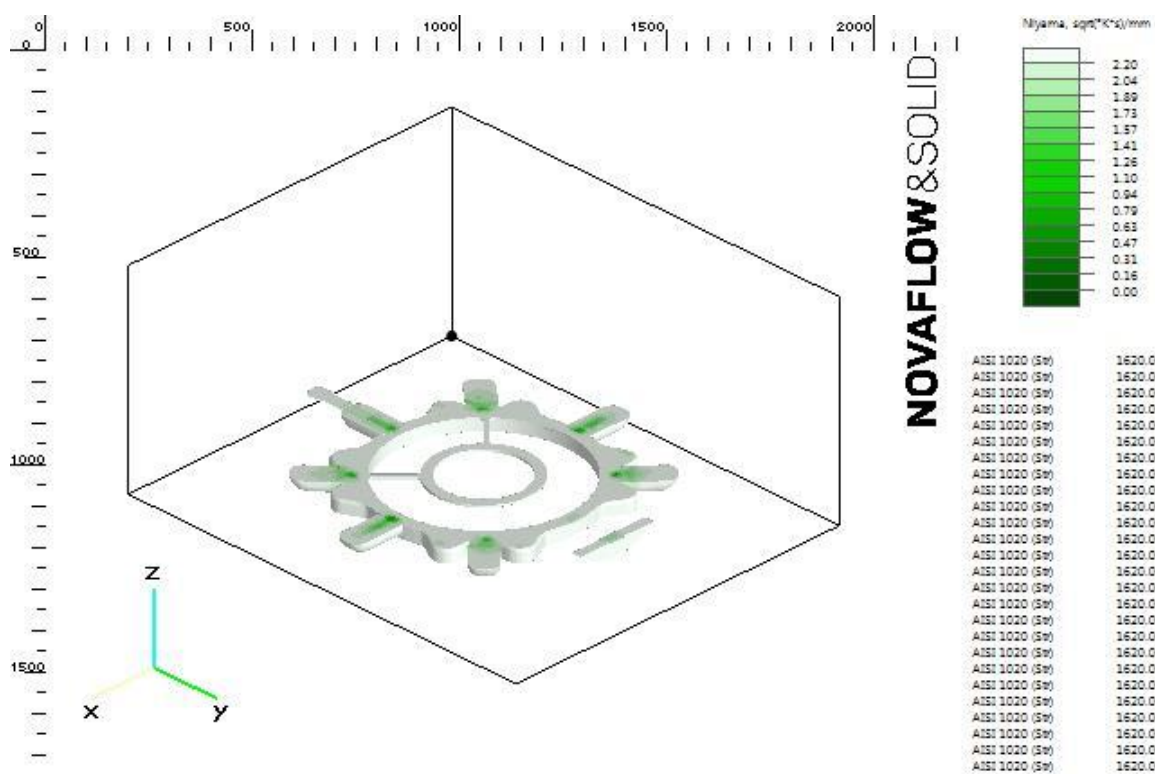
Obr. 43 Staženiny



Obr. 46, Obr. 47 Obr. 48, nám znázorňují další druh vady - porezitu. Vidíme, že dle simulace není zkoumaná plocha postižena ani touto vadou.

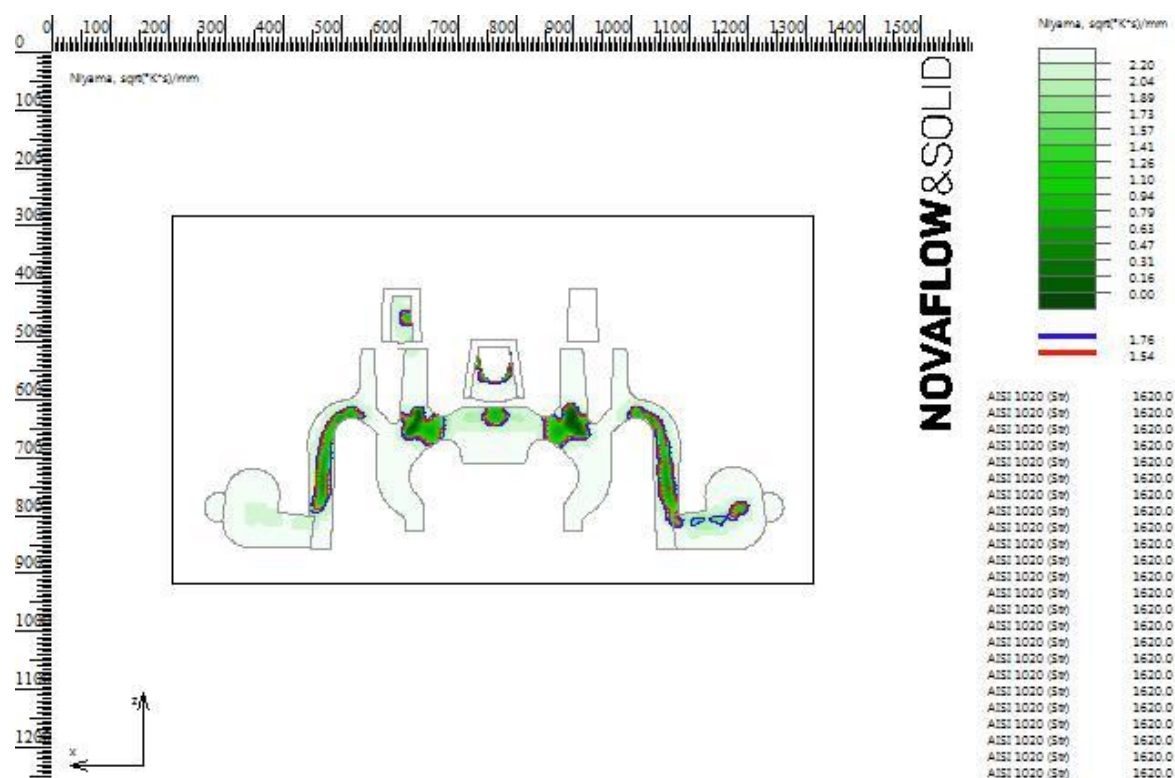


Obr. 46 Porezita



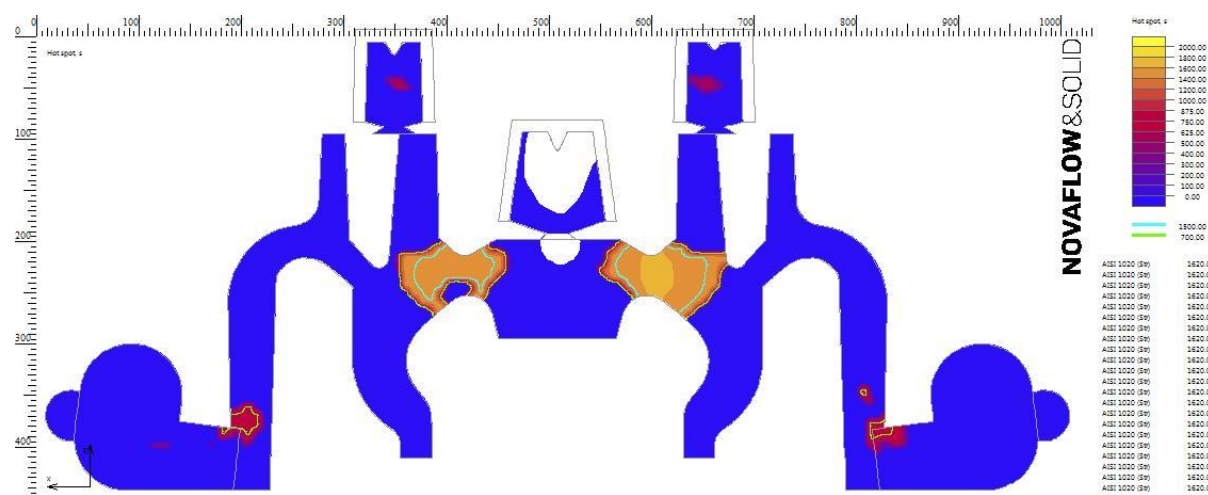
Obr. 47 Porezita





Obr. 48 Porezita

Na Obr. 49 je vidět riziková oblast vzniku vad



Obr. 49 Tepelný uzel

Tepelný uzel je neboli hot spot tzn. kde je největší, tam je největší tepelný modul a tam tavenina tuhne jako poslední místo a dá se tam očekávat vada. Tyto místa by měla být zanáltkována, či nějak technologicky ošetřena, zejména pokud je v těchto místech vada nepřijatelná.

Na základě všech podkladů a výsledků simulací jsem usoudil, že zvolená technologie výroby odlitku nezpřičinila vznik vad odlitku.

### 4.3.2 Ad. Hypotéza č. 2

Jelikož množství a výskyt vad byl velice nepravidelný, tak je hypotéza vlhké formovací směsi velmi nepravděpodobná. Ke vzniku vad došlo pouze ve spodní straně odlitku. V jiných místech, které byly v kontaktu s formovací směsí byl odlitek relativně zdravý. Kdyby byla špatná vlhkost formovací směsi, tak dojde k vytvoření vad po odlitku rovnoměrně.

### 4.3.3 Ad. Hypotéza č. 3

Dle místa vzniku a tvaru vad jsem usoudil, že mohlo dojít ke vzniku zapříčiněním špatné metalurgie oceli.

Protože slévárna neměla dostačující kapacitu pece, tak musela použít na tavbu materiálu pece dvě. V materiálech, které mi byly poskytnuty, byla i chemie tavby z pecí. Na základě hodnot jsem stanovil průměr chemií taveb z obou pecí. V tabulce 2 můžeme vidět, že tavenina obsahovala malé procentuelní zastoupení hliníku jak v první peci, tak i v peci druhé. Tato skutečnost nasvědčuje o tom, že došlo k nesprávné dezoxidaci oceli. Zbytkový obsah hliníku by měl být dle kapitoly 3.4 vyšší než 0,030% aby došlo ke správné dezoxidaci oceli.

Tabulka 2 – Chemie odlitku

Prvek	Pec 1.	Pec 2.			
Al	0,0123	0,005	Σ	0,00865	%
As	0,002	0,002	Σ	0,002	%
B	0,001	0,001	Σ	0,001	%
C	0,211	0,199	Σ	0,205	%
Ca			Σ	0	%
Co	0,005	0,005	Σ	0,005	%
Cr	0,0832	0,294	Σ	0,1886	%
Cu	0,039	0,043	Σ	0,041	%
Fe	98,3	98,2	Σ	98,25	%
Mn	0,845	0,626	Σ	0,7355	%
Mo	0,01	0,0154	Σ	0,0127	%
N			Σ	0	%
Nb	0,00254	0,00969	Σ	0,006115	%
Ni	0,0356	0,101	Σ	0,0683	%
P	0,00787	0,0107	Σ	0,009285	%
S	0,00911	0,0103	Σ	0,009705	%
Sb	0,01	0,01	Σ	0,01	%
Si	0,387	0,282	Σ	0,3345	%
Sn	0,005	0,005	Σ	0,005	%
Ti	0,00347	0,00248	Σ	0,002975	%
V	0,00557	0,00967	Σ	0,00762	%
W	0,01	0,01	Σ	0,01	%
Zr	0,002	0,002	Σ	0,002	%

# Závěr:

Cílem této bakalářské práce bylo zaměřit se na racionalizace výroby odlitku ocelového čerpadla

V první části práce byla stručně popsána klasifikace vad odlitků z pohledu historie. První atlas klasifikace vad vznikl již ve 40. letech 20. století na britském území a poté byly zpracovány další příručky vad odlitků všemi průmyslově vyspělými zeměmi včetně tehdejšího Československa. V Československu byla vydána norma ČSN 42 1240, která se zaměřuje na názvosloví a klasifikaci vad. Tato norma je platná dodnes.

Druhá část popisuje vady ocelových odlitků. Je zde ucelený přehled klasifikace vad. Každý druh vady je doplněn o obecný popis této vady, dále obsahuje příčinu vzniku této vady a opatření proti vzniku. Mezi nejčastější vady ocelových odlitků byly vybrány vady tříd: vady povrchu (200), dutiny (400), makroskopické vměstky a vady makrostruktury (500), vady mikrostruktury (600) a vady chemického složení a vlastností odlitků (700).

Ve třetí části práce popisuje oceli na odlitky a jejich základní metalurgii. Vzhledem k praktické části, ve které se práce zabývá ocelovým odlitkem, byly popsány vybrané oceli na odlitky, které se používají pro výrobu tohoto a podobných typů výrobku. Dále jsou zde uvedeny pece, které se nejčastěji používají pro výrobu oceli.

Čtvrtá část je zaměřena na vybraný odlitek a jeho problémy. Úkolem bylo zjistit příčinu vzniku vady na tomto odlitku. Po prozkoumání dodaných materiálů byly stanoveny tři možné hypotézy vzniku této vady. První hypotézou je nesprávná technologie výroby odlitku. Na základě simulace představující technologii výroby odlitku bylo potvrzeno, že vniklé vady nejsou zapříčiněny nesprávnou technologií. Hypotéza číslo dvě je nesprávná vlhkost formovací směsi. Jelikož došlo ke vzniku vad výhradně ve spodní straně odlitku a jejich množství a výskyt byl velice nepravidelný, je tato hypotéza velmi nepravděpodobná. Kdyby byla nesprávná vlhkost formovací směsi, došlo by k vytvoření vad po odlitku rovnoměrně. V hypotéze číslo tři práce popisuje metalurgii odlitku. Na základě dodaného výpisu chemického složení taveniny bylo usouzeno, že chemické složení oceli je nesprávné. Bylo zjištěno, že tavenina obsahovala malé zastoupení hliníku, což nasvědčuje o nesprávné dezoxidaci oceli. Tato skutečnost mohla být zapříčiněna nesprávným postupem taveniny materiálu.

# Seznam použitých zdrojů

1. ELBEL, Tomáš. Vady odlitků ze slitin železa: Klasifikace, příčiny, prevence. Brno: Matecs, 1992.
2. ŠENBERGER, Jaroslav. Metalurgie oceli na odlitky. V Brně: VUTIUM, c2008. ISBN 9788021436329.
3. JELÍNEK, Petr. Slévárství. 4. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000. ISBN 8070789522.
4. LEVÍČEK, Petr a Karel STRÁNSKÝ. Metalurgické vady ocelových odlitků: (příčiny a odstraňování). Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
5. FREMUNT, Přemysl a Jaroslav ŠIMON. Tavení oceli v elektrických pecích. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
6. PŘIBYL, Josef. Vady ocelových odlitků: určeno stř. a vyš. technickým kádrům ve slévárnách oceli. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. Řada strojírenské literatury.
7. ELBEL, Tomáš. Diagnostika a řízení kvality odlitků [online]. In: . 2013, s. 179 [cit. 2017-07-04]. ISBN 978-80-248-3356-9. Dostupné z: [online]. [cit. 2017-07-04]. Dostupné z: [http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin\\_Animace/Opory/02\\_Metalurgicke\\_inzenyrstvi/08\\_Diagnostika\\_a\\_rizeni\\_kvality\\_odlitku/Elbel\\_Diagnostika\\_a\\_rizeni\\_kvality.pdf](http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/08_Diagnostika_a_rizeni_kvality_odlitku/Elbel_Diagnostika_a_rizeni_kvality.pdf)
8. ČAMEK, Libor. Slévárství ocelových odlitků [online]. In: . 2013, s. 141 [cit. 2017-07-12]. ISBN 978-80-248-3358-3. Dostupné z: [http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin\\_Animace/Opory/02\\_Metalurgicke\\_inzenyrstvi/10\\_Slevarenstvi\\_ocelovych\\_odlitku/Camek\\_Slevarenstvi\\_ocelovych\\_odlitku.pdf](http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/10_Slevarenstvi_ocelovych_odlitku/Camek_Slevarenstvi_ocelovych_odlitku.pdf)
9. Metalurgie slévarenských slitin [online]. In: HAMPL, Jiří. 2013. s. 85 [cit. 2017-07-15]. 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](http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/09_Metalurgie_slevarenskych_slitin/Hampl_Metalurgie_slevarenskych_slitin.pdf)
10. Rovnovážný diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [online]. [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <http://konstrukce.webz.cz/sups/2too2.html>

OBR. 1 SCHÉMA VADY - DRSNÝ POVRCH [7] .....	11
OBR. 2 SCHÉMA VADY - POVRCHOVÉ PŘIPEČENINY [7] .....	12
OBR. 3 SCHÉMA VADY - HLUBOKÉ PŘIPEČENINY – SPEČENINY [7] .....	12
OBR. 4 SCHÉMA VADY - ZÁLUPY NA HORNÍ PLOŠE FORMY [7] .....	13
OBR. 5 SCHÉMA VADY - ZÁLUPY NA DNĚ FORMY [7] .....	13
OBR. 6 SCHÉMA VADY - ZÁLUPOVÉ SÍŤOVÍ [1] .....	13
OBR. 7 SCHÉMA VADY VÝRONKY [1] .....	14
OBR. 8 POMERANČOVÁ KŮRA [8] .....	15
OBR. 9 SCHÉMA VADY - NEŠTOVICE [1] .....	15
OBR. 10 SCHÉMA VADY - UZAVŘENÉ ENDOGENNÍ BUBLINY .....	16
OBR. 11 SCHÉMA VADY - BUBLINY [1] .....	17
OBR. 12 SCHÉMA VADY - ZAHLCENÝ PLYN [1] .....	18
OBR. 13 SCHÉMA VADY – BODLINY [1] .....	19
OBR. 14 SCHÉMA VADY - ODVAŘENINY OD FORMY [1] .....	19
OBR. 15 SCHÉMA VADY - VNITŘNÍ UZAVŘENÉ STAŽENINY [1] .....	20
OBR. 16 SCHÉMA VADY - STAŽENINY OD JADER [1] .....	20
OBR. 17 SCHÉMA VADY - SEKUNDÁRNÍ STRUSKOVITOST [1] .....	21
OBR. 18 SCHÉMA VADY - ZADROBENINY [1] .....	22
OBR. 19 SCHÉMA VADY BROKY [1] .....	23
OBR. 20 SCHÉMA VADY - MIKROSTAŽENINY, MIKROBUBLINY, MIKROTRHLINY [1] .....	24
OBR. 21 SCHÉMA VADY – VMĚSTKY [1] .....	25
OBR. 22 SCHÉMA VADY - NESPRÁVNÁ VELIKOST ZRNA [1] .....	25
OBR. 23 SCHÉMA VADY - ODUHLIČENÍ POVRCHU [1] .....	26
OBR. 24 SCHÉMA VADY - JINÉ VADY MIKROSTRUKTURY [1] .....	26
OBR. 25 SCHÉMA VADY - NEVYHOVUJÍCÍ HOMOGENITA ODLITKU [1] .....	27
OBR. 26 ROVNOVÁŽNÝ DIAGRAM Fe-Fe <sub>3</sub> C [10] .....	29
OBR. 27 SCHÉMA ELEKTRICKÉ OBLOUKOVÉ PECE [2] .....	33
OBR. 28 SCHÉMA ELEKTRICKÉ INDUKČNÍ PECE [2] .....	34
OBR. 29 ROVNOVÁŽNÉ OBSAHY [Al] A [O] V TAVENINĚ ŽELEZA PŘI TEPLOTĚ 1550 AŽ 1650 °C .....	36
OBR. 30 VÝKRES ODLITKU ČERPADLA .....	39
OBR. 31 MÍSTO ODBĚRU VZORKU VADY .....	40
OBR. 32 DETAILY VADY 1 .....	40
OBR. 33 DETAILY VADY 2 .....	41
OBR. 34 VÝBRUS ODLITKU 1 .....	41
OBR. 35 VÝBRUS ODLITKU 2 .....	42
OBR. 36 FOTOGRAFIE VADY 1 .....	42
OBR. 37 FOTOGRAFIE VADY 2 .....	43
OBR. 38 FOTOGRAFIE VADY 3 .....	43

OBR. 39 3D MODEL ODLITKU ČERPADLA.....	44
OBR. 40 3D MODEL ODLITKU ČERPADLA S VTOKOVOU SOUSTAVOU, JÁDREM A EXOTERMICKÝMI NÁSTAVCI.....	45
OBR. 41 ROZMÍSTĚNÍ EXOTERMICKÝCH NÁSTAVCŮ A NÁLITKŮ POHLED NA HORNÍ STRANU MODELU.....	45
OBR. 42 ROZMÍSTĚNÍ NÁLITKŮ POHLED NA SPODNÍ STRANU MODELU.....	46
OBR. 43 STAŽENINY .....	46
OBR. 44 STAŽENINY .....	47
OBR. 45 STAŽENINY .....	47
OBR. 46 POREZITA .....	48
OBR. 47 POREZITA .....	48
OBR. 48 POREZITA .....	49
OBR. 49 TEPELNÝ UZEL .....	49

# Přílohy

## Příloha 1 – Seznam tříd, skupin a vad odlitků [1]

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

*Pokračování přílohy 1*

300	Porušení souvislosti	310	Trhliny	311	Povrchové trhliny
				312	Podpovrchové trhliny
				313	Vnitřní trhliny
		320	Praskliny		
		330	Porušení souvislosti mechanickým poškozením	331	Lom za tepla
				332	Lom za studena
		340	Porušení souvislosti nespojením kovu	341	Zavaleniny
				342	Nedokonalý svar
400	Dutiny	410	Bubliny	411	Bubliny způsobené kyslíkem
				412	Bubliny způsobené vodíkem
				413	Bubliny způsobené dusíkem
				414	Zahlcený plyn
				415	Sít'kovité bubliny
		420	Bodliny		
		430	Odvařeniny	431	Odvařeniny od formy, jádra
				432	Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů
				433	Odvařeniny od vměstků
		440	Staženiny	441	Otevřené staženiny
				442	Vnitřní, uzavřené staženiny
				443	Řediny
				444	Staženiny od jader nebo ostrých hran formy
				445	Povrchové propadliny
		446	Plynové staženiny		
		500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	510	Struskovitost
512	Sekundární struskovitost				
520	Nekovové vměstky			521	Zadrogeniny
				522	Rozplavený písek
				523	Odpadnutý nátěr
				524	Oxidické pleny
				525	Grafitové pleny
				526	Černé skvrny
530	Makrosegregace a vycezeniny			531	Gravitační odmíšení
				532	Makroodmíšení
				533	Stvolové vycezeniny
				534	Mezerové vycezeniny
540	Broky				
550	Kovové vměstky				
560	Nevyhovující lom				



*Pokračování přílohy 1*

600	Vady mikrostruktury	610	Mikroskopické dutiny	611	Mikrostaženiny	
				612	Mikroublíny	
				613	Mikrotrhlíny	
		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 chemického složení a vlastností odlitků	710	Nesprávné chemické složení			
		720	Odchylky hodnot mechanických vlastností			
		730	Odchylky hodnot fyzikálních vlastností			
		740	Nevyhovující homogenita odlitku			

**Příloha 2 – Roztřídění vad odlišků podle skupin a druhů dle ČSN 42 1240 [1]**

Číslo skupiny vad	Název skupiny vad	Číselné označení vady	Název druhu vady
1	Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti	11	Nezaběhnutí
		12	Přesazení
		13	Zatekliny
		14	Vyboulení
		15	Zborcení
		16	Mechanické poškození
		17	Nedodržení rozměrů
		18	Nedodržení hmotnosti
2	Vady povrchu	21	Přípečeniny
		22	Zavaleniny
		23	Zálupy
		24	Nárůsty, strupy
		25	Výronky
		26	Výpotky
		27	Okujení, opálení
		28	Omačkání, otlučení, pohmoždění
3	Přerušení souvislosti	31	Trhliny
		32	Praskliny
4	Dutiny	41	Bubliny
		42	Bodliny
		43	Staženiny
		44	Řediny
		45	Mikrostaženiny
		46	Mikrobubliny
5	Vměstky	51	Struskovitost
		52	Zadrogeniny
		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