

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POVRCHOVÉ VADY ODLITKŮ SURFACE CASTING DEFECTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RAŠEK ONDŘEJ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. LADISLAV TOMEK

BRNO 2013
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie Akademický rok:
2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Rašek

**který/která studuje v bakalářském studijním pro-
gramu obor: Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Povrchové vady odlitků

v anglickém jazyce:

Surface casting defects

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výroba jakostních odlitků vyžaduje, aby povrch odlitku byl hladký a bez povrchových vad. Jeden druh těchto vad je způsoben penetrací kovu do slévárenské pískové formy a případnými reakcemi mezi lícem formy a odlévaným materiálem. Výsledkem reakcí na rozhraní formy a kovu, v závislosti na stupni proniknutí kovu, mohou tedy být tyto povrchové vady: povrchová drsnost, připečeniny a hluboké zapečeniny. Tyto mohou mít významný vliv na snížení mechanických vlastností odlitků, zvláště pak na únavovou životnost. Jejich vliv může vést i ke zhoršení obrobitelnosti odlitků.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření literárního přehledu mechanismů probíhajících na rozhraní form-kov, popis vzniku povrchových vad odlitků a jejich vliv na výsledné vlastnosti odlitků.

Seznam odborné literatury:

1. ELBEL, T., aj. Vady odlitků ze slitin železa. Brno: MATECS, 1992. 332 s.
2. NARO, R.-L., WALLACE, J.-F. Effect of Mold-Steel Interface Reactions on Casting Surface. AFS Transactions. 1992, vol. 100, no. 95, s. 797-820. ISBN 0-87433-155-2.
3. LANE, A.-M., et al. Penetration of Liquid Steel in Sand Molds, Part II: Chemical Reactions at the Mold/Metal Interface During Casting of Steel. AFS Transactions. 2001, vol. 109, no. 57, s. 1327-1345. ISBN 0-87433-155-2.
4. JELÍNEK, P., PAWL AS, P. Vliv par kovů a cristobalitické expanze na vznik hlubokých zapečenin u ocelových odlitků. Slévárenství. 1988, roč. 36, č. 10, s. 412-421. ISSN 0037-6825.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Tomek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013. V Brně, dne
19.11.2012

L.S.

.....
prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

.....
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

RAŠEK Ondřej: Povrchové vady odlitků

Povrchové vady odlitků patří i po desítkách let zkoumání k aktuální problematice odlévaných kovů. Ty znamenají značné ztráty pro slévárny.

Práce obsahuje literární přehled druhů vad, mechanismů jejich vzniku a jejich zkoušek, následků na mechanické vlastnosti odlitků a jejich obrábění.

Klíčová slova:

Odlévání, povrch, vada, připečenina, odlitek, mechanismus vzniku vady

ABSTRACT

RAŠEK Ondřej: Surface defects in castings

Surface defects in casting include after decades of research on current problems of metal cast. They mean significant losses for foundries.

Thesis includes a review of kinds of defects, their origins and their examinations, the effects on the mechanical properties and their machinability.

Key words

Casting defect, surface, metal penetration, casting, mechanisms of defects

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAŠEK, Ondřej. *Povrchové vady odlitků*. Brno, 2013. 34s,1 příloha. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav slévárenství. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Tomek.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma povrchové vady odlitků vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 22.5.2013

.....
Ondřej Rašek

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu Ing. Ladislavu Tomkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Danieľu Raškovi za pomoc a rady při realizování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	
Prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
Úvod	9
1 Technologie odlévání.....	10
2 Vady odlitků	11
2.1 Druhy vad odlitků.....	11
2.2 Povrchové vady odlitků.....	11
2.2.1 Připečeniny	11
2.2.2 Zálupy	13
2.2.3 Nárosty	14
2.2.4 Výronky	16
2.2.5 Výpotky	17
2.2.6 Zatekliny.....	18
2.2.7 Nepravidelnosti povrchu odlitku	19
2.3 Mechanismy vzniku vad	21
2.3.1 Mechanická penetrace	21
2.3.2 Chemická penetrace	23
2.3.3 Penetrace způsobená parami	24
2.3.4 Penetrace explozemi par.....	24
2.3.5 Expanzní penetrace	25
2.3.6 Vliv atmosféry na rozhraní forma – kov	26
2.3.7 Podmínky pro kvalitní povrch odlitku	29
2.4 Zkoušky připečenin	30
2.4.1 Gertsmanův odlitek	30
2.4.2 Fursundův odlitek.....	31
2.4.3 Odlitek dle Mikšovského, Havlíčka a Bartušky	32
2.5 Vliv vad na součást při mechanickém namáhání.....	33
2.6 Vliv povrchových vad na obrobitelnost	34
3 Závěr	35
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Přílohy	

ÚVOD

Technologie odlévání patří mezi nejstarší způsoby výroby produktů či polotovarů určených pro další zpracování. Stejně jako každá technologie má svoje nevýhody. Jedna z nich jsou právě vady (obr. 1.01) vznikající při samotném procesu lití. Vady vznikají uvnitř odlitku, tak i na povrchu.

Povrchové vady významně ovlivňují mechanické vlastnosti, obrobitelnost, povrchovou úpravu a další vlastnosti odlitků. I přestože se této problematice věnuje značný počet odborníků po dobu několik desítek let, stále způsobuje vysoké finanční ztráty na jejich odstraňování či přímém vyhazování zmetkových součástí. Odstraňování vad však mimo finanční stránku obnáší i zdravotní rizika pro pracovníky vlivem vznikajících látek.

Tato práce má za cíl vytvořit literární přehled mechanismů vad vznikajících na povrchu odlitků, přehled druhů vad, jejich vlastností a důsledků.



Obr. 1.01 Vady povrchu odlitků [1]

1 TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ

Technologie odlévání patří mezi nejstarší způsoby výroby produktů či polotovarů určených pro další zpracování. Principem odlévání je odlévání roztaveného kovu do formy (obr. 1.11). Hmotnosti odlitků mohou být v řádech desítek gramů až v řádech desítek výjimečně stovek tun. Tato technologie má mnoho výhod i nevýhod, které jsou uvedeny v tabulce 1.11. Odlitky jsou v dnešní době nedílnou součástí většiny odvětví průmyslu (automobilový, stavebnictví, zdravotnický...).

Výhody	Nevýhody
Vysoké využití materiálu	Velké smršťování
Vysoká míra recyklovatelnosti	Výskyt vnitřních i vnějších vad
Relativně nízká spotřeba energie	Nerovnoměrné tuhnutí a chlazení
Dosažení odlití složitých tvarů	
Možnosti odlévání většiny kovů	
Vysoká tuhost odlitku	

Tab. 1.11 Klady a zápory odlitků [2]



Obr. 1.11 Proces odlévání [3]

2 VADY ODLITKŮ

2.1 Druhy vad odlitků

Vady odlitků jsou, jako u všech ostatních výrobku zpracovávaných i ostatními technologiemi, nežádoucím prvkem. Jejich odstranění je časově i finančně náročné a ne vždy možné. Vady mají rozdílné následky, většinou zhoršují povrchovou vrstvu materiálu, nebo se vyskytují uvnitř, kde výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti. Vadami odlitků se však firmy nezabývají jen z hlediska ekonomického. Výroba vadných odlitků může stát slévárnu i její reputaci, která může být i důvodem jejího zániku. Existuje mnoho druhů vad odlitků. Každý druh má odlišné příčiny a jejich výsledkem jsou různé nedokonalosti odlitků. Jejich seznam a rozdělení je uvedeno v tabulce příloha 1.

2.2 Povrchové vady odlitků

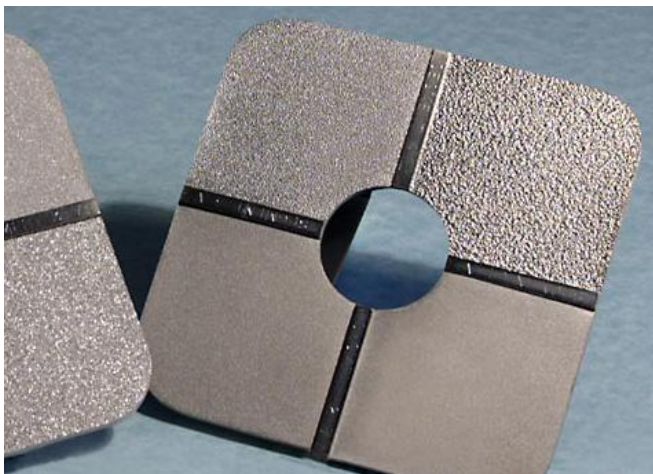
Povrchové vady vznikají většinou vzájemnou interakcí forma-kov. Tento druh vady je viditelný pouhým okem. Ačkoli jsou vady na povrchu, jejich odstranění je mnohdy časově stejně náročné jako výroba nového kusu. Je tedy nutné zvážit, jestli se oprava daného kusu vůbec vyplatí.

2.2.1 Připečeniny

Mezi vady charakterizované jako připečeniny se řadí i povrchová drsnost odlitku. Její význam je největší především u litinových odlitků, u kterých zpravidla nedochází k tepelné úpravě a je jedním ze základních kritérií při jejich prodeji.

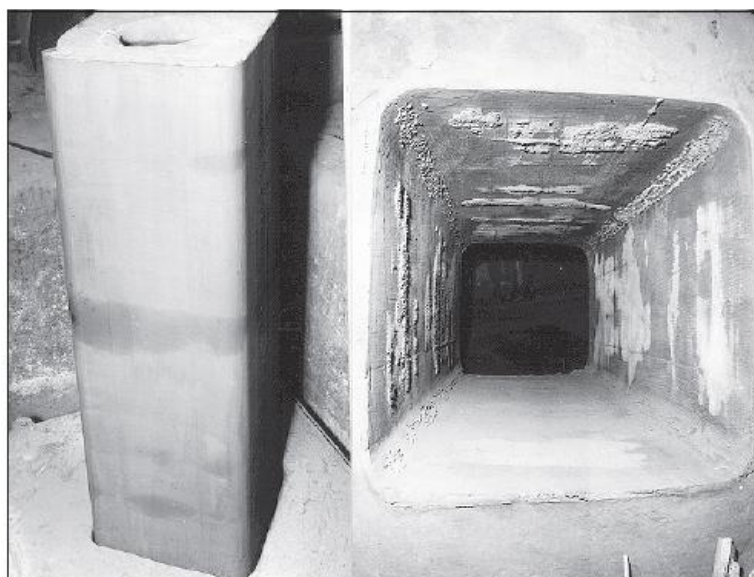
Vada na litém povrchu je zjišťována komparační metodou. K porovnání je užito vzorkovnice (viz obr. 2.11) s různými drsnostmi od $4\mu\text{m}$ až po $100\mu\text{m}$ R_a . Porovnávání je prováděno při šikmo dopadajícím světle, v různých směrech. Dále lze použít digitální drsnoměry. Důvodem vzniku vady může být málo upěchovaná formovací směs, nedostatečné promísení vody ve směsi vedoucí k nehomogennímu zapěchování formy a velmi hrubému povrchu.

Vznik vady lze omezit především úpravou slévárenské formy (zvýšit stupeň zhuštění formy, úprava povrchu nátěrem, změnit velikost ostřiva, polohovat odlitek ve formě, zhotovit formu s ochlazovacím účinkem) a úpravou kovu (minimalizace lící teploty, plnění formy laminární, spodní podtlakové lití) [4], [5].



Obr. 2.11 Komparační vzorkovnice (6)

Povrchové připečeniny (obr. 2.12) vznikají, když je tlak odlévaného kovu větší, než je odpor proti vnikání kovu do pórovitosti formovací směsi. Pokud kov zateče do hloubky větší, než je polovina průměrné velikosti průměru zrna, dochází ke zrodu vady. Největší vliv na odpor proti vnikání kovu do mezer formy má kapilární tlak. Ten je ovlivněn jak velikostí pórovitosti formy či jádra, tak vzájemnou smáčivostí kovu a formovací směsi. Vzniklé připečeniny jsou většinou velké plochy s malou hloubkou, avšak špatně odstranitelné. Jediné možnosti odstranění povrchových připečenin je povrch obrousit či intenzivně otryskat [4], [5], [7].



Obr. 2.12 Povrchová připečenina [4]

Hluboké připečeniny neboli zapečeniny (obr. 2.13) vznikají většinou u velkých tlustostěnných odlitků. Povrch zapečenin má sklovitý vzhled. Ve vysoce tepelně namáhaných místech odlitku (jádro) vzniká směs materiálu odlitku a formy. Možností vzniku je již výše zmiňované nauhličení kovu, způsobující snížení teploty tavení a vzniku zapečenin hlubokých i více než 1 cm po celém obvodu odlitku, ve výjimečných případech proniknou celým odlitkem. Odstraňování této směsi se provádí pomocí vysekávání, oxidačního žhání a broušení. Metalostatický tlak je vypočítáván podle vzorce (1). Dosažení tohoto tlaku (výšky sloupce kovu h) je potřeba, aby proběhla penetrace do formy. [4], [7].

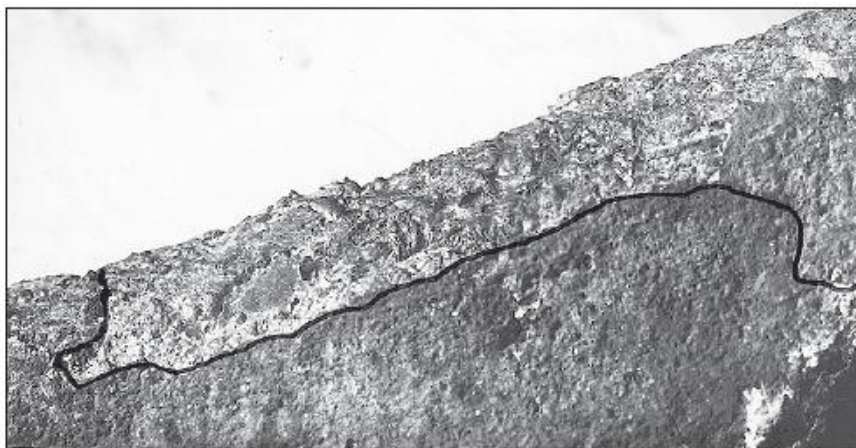
$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \alpha}{r \cdot \rho \cdot g} \quad (1)$$

Kde: σ – povrchové napětí tekutého kovu

α – krajní úhel smáčení

r – poloměr kapilár

Z výpočtu (1) tedy dostaneme krajní hodnotu výšky sloupce kovu, při které začne kov penetrovat do formy. Tato hodnota se pohybuje okolo 0,9 m pro nesmáčivou formu. Avšak nastane-li při lití ke vzniku oxidační atmosféry či jiné změně podmínek, výška se výrazně zmenšuje. Tento proces neprobíhá průběžně, ale po určitých skocích. Kov pronikne první vrstvou a tam ztuhne. Tím se mění tepelná vodivost formy a kov se opět roztaví a pronikne o další vrstvu hlouběji. Tyto skoky po čase vymizí. [7]



Obr. 2.13 Hluboká oddělená zapečenina [4]

Vznik povrchových a hlubokých připečenin ovlivňuje mnoho faktorů jako například: Lící teplota kovu, množství legur a velikost dezoxidace, vzájemná smáčivost materiálu formy a kovu, velikost odlitků a rychlost jejich ochlazování, velikost a tvar zrn ostřiva a velikost jeho nahuštění [4].

2.2.2 Zálupy

Zálupy (obr. 2.21) na horní ploše formy se tvoří účinkem tepla vyzařujícího z kovu. Vada vzniká vlivem odloupení tenké vrstvy spodní části formy. Výsledkem je tenká vrstva formovacího materiálu, která je překrytá vrstvou kovu [4].

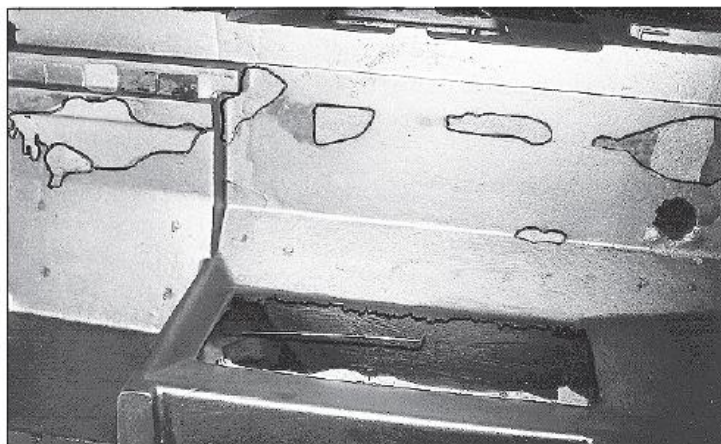
Pokud se oddělí tenká vrstva ze spodní části formy, vznikají zálupy na dně formy. Tyto zálupy vznikají účinkem tepla proudícího kovu, který se pohybuje po dně formy.

Zálupové síťoví je většinou vytvářeno na dně formy. Jedná se o lehce odstranitelné nárůstky, které se dost často překrývají. Bývají hodně rozvětvené a velice jemné. Pod síťovím se obvykle objevují zbytky materiálu formy [4].



Obr. 2.21 Zálup na odlitku litého do bentonitové formy [4]

V případě nízké přilnavosti nátěrové vrstvy a formy, mohou vzniknout nátěrové zálupy (obr. 2.22). Ty vznikají působením nosné kapaliny nátěru a to při odpařování zbytků, nebo jejím rozrušováním pojiva formy [4].



Obr. 2.22 Nátěrové zálupy [4]

Hlavním faktorem způsobujícím výskyt zálupů, je vznikající napětí v ostřivu, které je způsobeno jeho pomalou tepelnou roztažností. Zálupy jsou většinou problematickou odléváním do bentonitových forem. Vznik vady ovlivňují i další faktory jako tlak vytvořený odpařující se vodní párou či dalších plynů, snížení objemu jílu vlivem dehydratace, kondenzací odpařené vody a další [4].

2.2.3 Nárosty

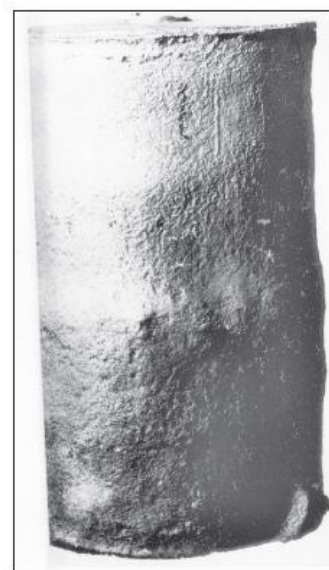
Vybouleniny (obr. 2.31) se vyznačují přebytkem kovu na stěnách odlitku. Tyto přebytky mívají obvykle větší drsnost než zbývající plochy odlitku, případně obsahují zapečeniny.

Vady typu vyboulenin jsou způsobeny vlivem tlaku kovu (nedostatečně napěchovaná forma, nedostatečná úprava jádra, namáhání formy více, než kolik je schopna unést), nebo u LKG a LLG vlivem krystalizace (vlivem roztažnosti uhlíku během tuhnutí taveniny).

Především těmto vadám lze např. zvýšením stupně napěchování formy, zvětšit podíl pojiva ve formovací směsi, snížením tlaku odlitku ve formě jejím odlišným polohováním [4].

Odření a shrnutí (obr. 2.32) jsou vady na geometrii ploch odlitku, kde se nepravidelně navyšuje materiál a většinou v jiných částech vyskytují zadobeniny.

Příčiny vzniku mohou být opotřebované nebo deformované spojovací prvky (kolíky a otvory v rámu formy), špatně vložené jádro či nesprávně složená forma.



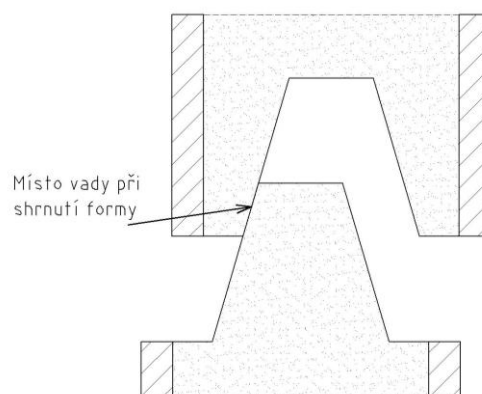
Obr. 2.31 Vyboulenina na součásti [4]

Zabránit jejich vzniku lze pomocí změny technologie, kterou vytváříme formu. Další možnosti jsou úpravy konstrukce tenkostěnných svislých odlitků, kontroly spojovacího materiálu a průběžná kontrola opotřebení formy [4].

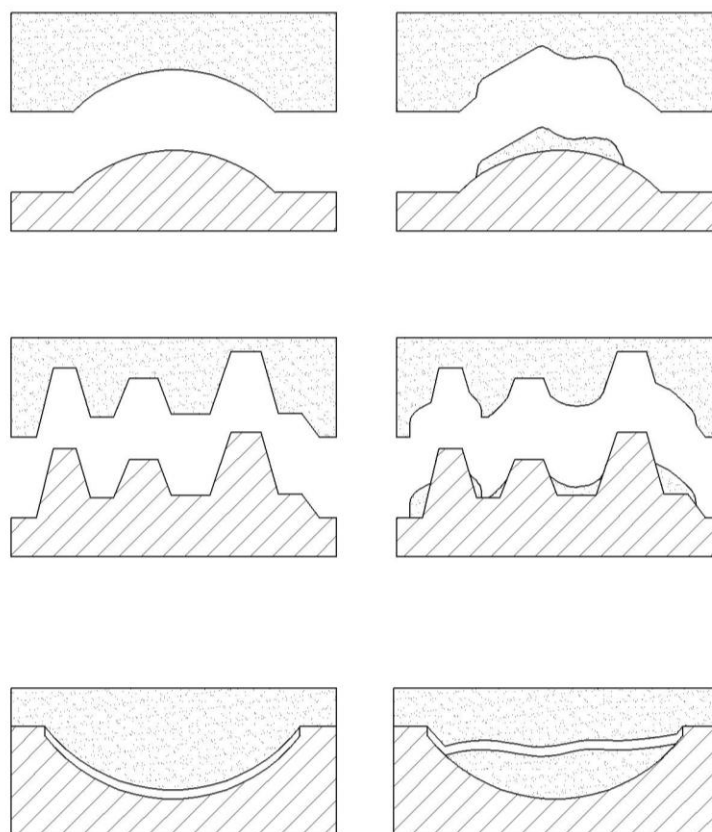
Vady typu utržení a sesunutí jsou rozpoznatelné podle tvaru nárostku, který kopíruje tvar poškozené formy nebo jádra. Zbytky poničené formy a jádra se v odlitku nacházejí jako zadržování [4].

Vznik utržení (obr. 2.33) a sesunutí může být způsobován špatným zvolením úkosů na modelu, silné vrstvy formovací směsi visící na vršku formy, poškození při přepravě, manipulaci a skládání formy nebo malá hodnota pevnosti v tahu formovací směsi.

Utržení a sesunutí lze omezit rovnoměrným napěchováním směsi, průběžnými kontrolami formy a její pevnosti a zvýšením pevnosti v lehce narušitelných částech [4].



Obr. 2.32 Vada vzniká při shrnování formy [4].



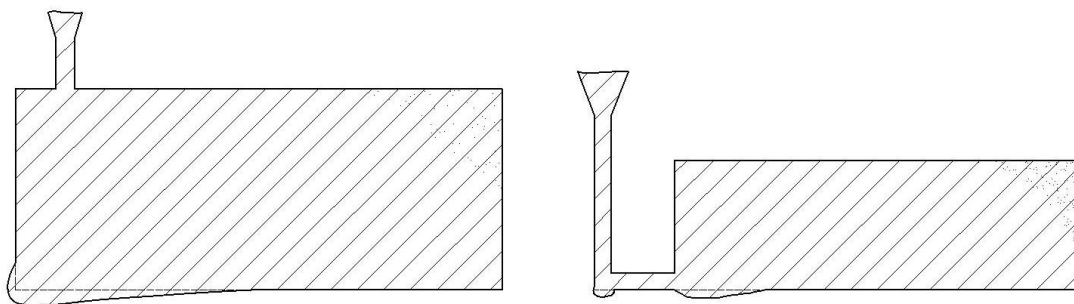
Obr. 2.33 Vady vzniklé utržením formy [4].

Eroze vzniká narušením formy proudem tekoucího kovu. Kov naráží na stěny a odplavuje zrna formy, které jsou vyplavovány dále do odlitku a tím snižují jeho kvalitu.

K erozi (obr 2.34) může docházet kvůli nízké soudržnosti zrn ostřiva, nevhodně zvolený tvar či poloha vtokové soustavy, velké výšce proudu kovu, velké rychlosti lití, nebo je kov odléván při příliš vysoké teplotě.

Pokud padá kov z pánve do formy z příliš velké výšky, pohlcuje plyny a okysličuje se, a po dopadu na formu odtrhává jednotlivá zrna formy. Mimo jiné se i kov rozstříkuje a tvoří chladné kapky, které se dále neroztaví a vzniká další typ vad. Aby bylo dosaženo vysoké kvality odlitku, je třeba udržovat stálý, krátký proud a přiblížit pánev co nejblíže k rámu.

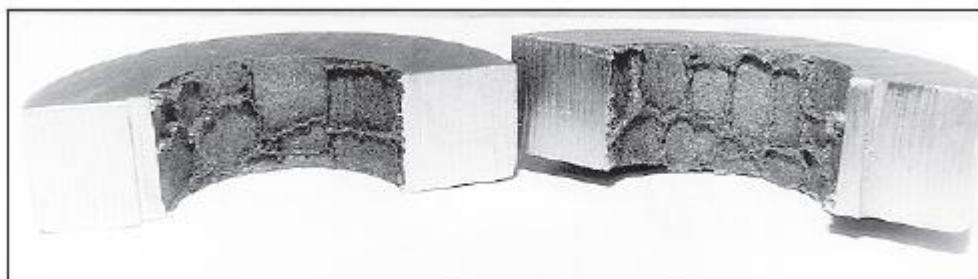
Dále jde erozi zabránit výměnou pojiva za jiné s vyšší pevností za licích teplot, rovnoměrně a více upěchovaná forma, rozdělení vlévání kovu do více otvorů, vyztužení míst dopadu kovu keramickými prvky a tvárnicemi [4].



Obr. 2.34 Schéma erozivního poškození formy [4].

2.2.4 Výronky

Pokud se ve formě nebo jádře vyskytují trhliny, do kterých kov zatéká, vznikají výronky (obr. 2.41) tvaru žeber. Jedná se o shluk výrůstku na povrchu plochy odlitku, většinou u válcových součástí a hranách se zaoblením. Tato vada se vyskytuje především u směsí s organickým pojivem [4].



Obr. 2.41 Výronky vzniklé na odlitku [4].

Výronky (obr 2.42) jsou dalším zástupcem vad zapříčiněných napětím. Objevují se u dobře zabíhavých kovů a slitin. Vada se obvykle vyskytuje u formovacích směsí s organickými pojivy, které mají dobrou počáteční pevnost za studena, ale nízkou teplotu

temodestrukce. V případě prasknutí povrchového nátěru jádra či formy, dojde k vniknutí kovu do spáry a její následné vyplnění [4].



Obr. 2.42 Výronky vzniklé ve válcovém odlitku [4].

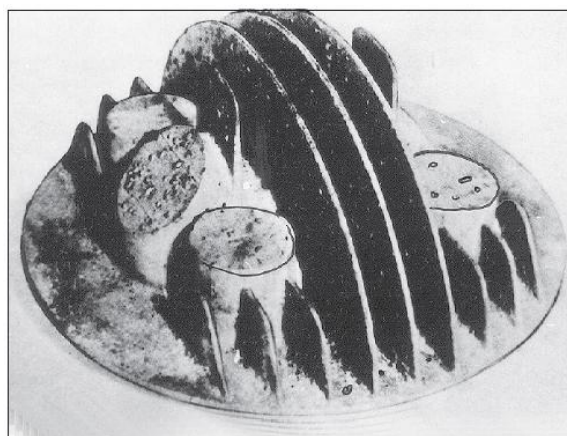
Jednou z možností omezení tvorby výronků je vmísení zrn oxidů železa, které zvyšují teplotu termodestrukce o 120°C. Dále je možné zvýšit podíl pojiva ve formovací směsi, nahrazovat ostřívo křemenného typu za nekřemenné nebo přidání expandovaného perlitu, který má relaxační účinky [4].

2.2.5 Výpotky

Výpotky (obr. 2.51) jsou části kovu kulovitěho tvaru v místech, kde se kov nedotýkal formy. Složení výpotků se liší od složení odlévaného kovu.

V litinách se tato vada objevuje u jejich tuhnutí, kdy je eutektikum vytlačeno na volný povrch odlitku. Dále v lehkých kovech může být vada způsobena po překročení teploty solidu při tepelném zpracování. Obecně se výpotky vyskytují tam, kde působí tlak plynů při tuhnutí odlévaného kovu, či při smršťování tuhé části odlitku.

Výskyt vady je ovlivňován obsahem fosforu a naplyněním taveniny, tudíž k zabránění tvorby se snažíme kov nejprve odfosfořit a odplynit [4].



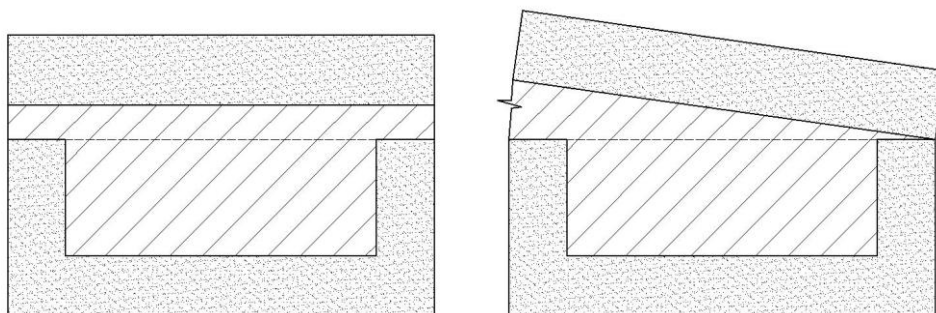
Obr. 2.51 Hliníkový odlitek s výpotkem [4]

2.2.6 Zatekliny

Zatekliny (obr. 2.61) vlivem netěsnosti formy mají různé tvary i tloušťky. Vyskytují se podél dělicí roviny či známek jádra.

Zatekliny mohou být způsobeny nepřesnými rámy na formě, nedostatečným stažením rámu, nebo je tlak kovu vyšší, než je pevnost formy.

Zatížením formy či jejím větším stažením můžeme zabránit vzniku vady. Další možností je použití formovacích rámu, opatrným rozklepáním modelu při vytahování, nebo zmenšení výšky vtokového kůlu [4].

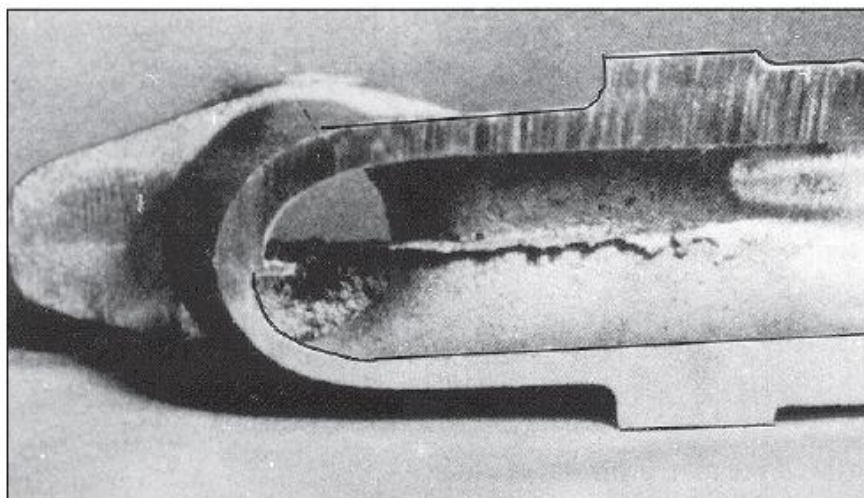


Obr 2.61 Schéma vzniku zateklin [4]

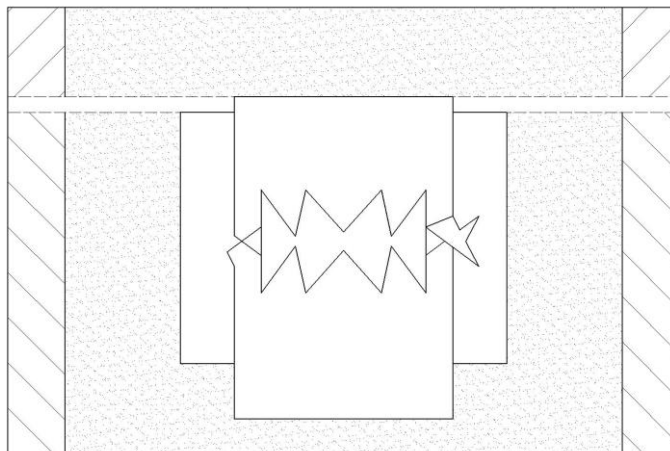
V případě prasklého jádra (obr 2.62) má výronek na odlitku větší tloušťku a nepravidelný tvar.

Příčinou prasklého jádra může být jeho malá pevnost vůči zatížení kovu, nevhodná manipulace či zakládání (obr. 2.63), nebo bylo jádro nepřesně vyrobeno.

Zabránit výronkům vzniklým prasklým jádrem lze především opatrnou manipulací s jádrem při přepravě a jejich zakládání, použitím správných jádrových směsí a správným použitím výztuh a podpěr [4].



Obr 2.62 Odlitek s prasklým jádrem [4]



Obr 2.63 Schéma praskliny v jádře [4]

Výronky vzniklé na povrchu odlitku mohou být zapříčiněné prasklou formou. Tyto praskliny vznikají převážně v ostrých rozích ve spodní části formy.

Forma může prasknout důsledkem vysokého tlaku litého kovů, nedostatečně napěchovanou směsí, nevhodnou manipulací s formou před začátkem lití, použitím bezrámových forem, nebo nesprávným umístěním odlitku ve formě.

Předejít vzniku výronku lze použitím formy s rámem, opatrnou manipulací s formou a jejím skládáním, větším napěchováním formovací směsí, nebo vhodným umístěním formy na rovné a očištěné podložce [4].

2.2.7 Nepravidelnosti povrchu odlitku

Jednou z vad nepravidelnosti povrchu je tzv. pomerančová kůra (obr. 2.71). Tyto nerovnosti jsou na první pohled viditelné okem a připomínají povrch pomerančové kůry. Hloubka nerovností roste s tloušťkou odlitku. Nejčastější výskyt pomerančové kůry je u ocelových odlitků.

Tato vada vzniká vlivem reakce tekutého kovu a formovací směsí, nebo průhybem skořepinové formy důsledkem rozpínání.

Omezení vzniku pomerančové kůry může být docíleno použitím zregenerovaného ostříva, nebo omezením tepelného rozpínání ostříva [4].

Dále k nepravidelnostem povrchu patří zvrásnění povrchu (obr 2.72), který má větší hloubku nerovností, než pomerančová kůra.



Obr. 2.71 Odlitek s pomerančovou kůrou [4]

K zvrásnění dochází, pokud došlo ke kontaktu oxidačního prostředí a kovu během lití. Další příčiny mohou být nízká teplota odlévání, nebo má odlévaný kov příliš vysokou afinitu ke kyslíku.

Afinita ke kyslíku lze snížit vhodným použitím hliníku ke snížení reoxidace odlévaného kovu, nebo použitím redukční atmosféry [4].

Neštovice (obr. 2.73) jsou posledním druhem vady nepravidelného povrchu. Vznikají na velkých, tlustostěnných odlitcích. Jejich vzhled je podobný neštovicím, tudíž vypadají jako dolíčky.

Nejčastějšími příčinami vzniku neštovic mohou být vznikající plyny oxidačních vlastností, volba forem na bázi CrMg s pojivem z vodního skla, nebo nevhodně zvolený plynový režim formy [4].

Správná volba ostřiva (jeho báze, velikost menší než 1mm) a vhodná doba vytvrzení zabrání tvorbě vady typu neštovice.

Velmi častou vadou bývá tvorba okují a opalu.

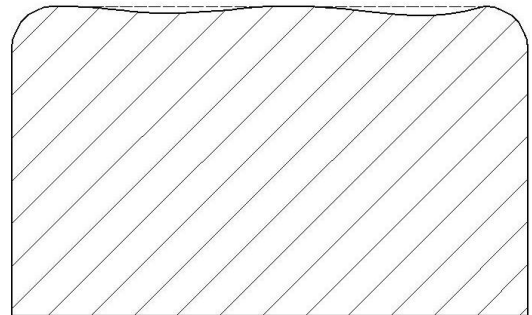
Tyto vrstvy vznikají působením kyslíku při žíhání a při použití vysokých žíhacích teplot a časů.

Vadě se dá zabránit správným režimem žíhání a zabráněním přístupu kyslíku do peci (kontrolou těsnosti) [4].

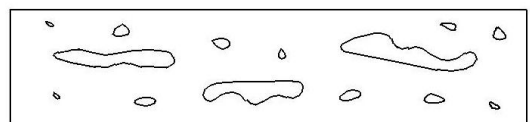
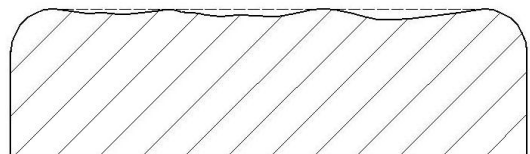
Někdy může při odlévání dojít ke vzniku plynových bublin. Tyto bubliny jsou nežádoucí a vedou ke zmetkovitosti odlitku. Tato vada může být nebezpečná v případě malých přídavků na obrábění. Tím pádem je odstraněna jen část nerovností a bublin a zbývající část se objeví jako vzduchové dutiny. Vznik vady může být zapříčiněn nesprávným polohováním odlitku ve formě.

Aby se vadě předešlo a obráběná plocha byla vysoké kvality bez bublin a dutin, je třeba model odlitku polohovat obráběnou plochou dolů. Plynové vměstky s menší vahou než odlévaný kov, tudíž stoupají vzhůru a nezůstávají na dně. Jsou-li obráběné plochy i na horní straně, je třeba zvětšit přídavky na obrábění. Pokud není možné polohovat odlitek obráběnou plochou dolů, je vhodné ho umístit svisle.

Nejlépe lze vady odstranit u svislých a šikmých ploch, nejhůře pak u vodorovných ploch. Vodorovné plochy v horní části odlitku zabraňují úniku plynů a strusky do nálitků. Důsledkem toho je vznik vad. Zabránit nebo omezit vzniku těchto vad lze odléváním v nakloněné poloze, která usnadňuje odchod plynů a strusky a tím pádem omezuje vznik dutin a bublin na vodorovných plochách odlitku. Mimo jiné dochází i k lepšímu zaplňování formy. [8]



Obr. 2.72 Zvrásnění povrchu [4]



Obr. 2.73 Schéma neštovic na odlitku [4]

2.3 Mechanismy vzniku vad

Existuje několik mechanismů, podle kterých k penetraci dochází. Jsou to penetrace chemické, mechanické, expanzní, explozivní a penetrace způsobená parami [9].

2.3.1 Mechanická penetrace

Děj, který by probíhal zcela bez chemické reakce, se většinou nevyskytuje. Úhel smáčivosti SiO_2 je při čistě mechanické reakci dostatečně veliký (přes 90°) na to, aby k zatékání kovu nedocházelo. Rovnice (2) popisuje rovnováhu mezi tlaky působícími na formovací směs (levá strana) a tlaky bránící zatékání kovu (pravá strana). Pokud v rovnici (2) dojde k nerovnováze, dojde k penetraci kovu mezi zrna ostřiva (Obr. 3.11). Záleží také na použité formovací směsi a její upěchování. Mezi kovem a atmosférou či formou dochází k chemickým reakcím, které mění kapilární tlak. Vliv samotného kovu je určování chemickým složením, ale především licí teplotou – jeho přehřátím. Se zvyšující se teplotou prudce klesá úhel smáčení. Ten lze do jisté míry ovlivnit i chemickým složením kovu a to jak pozitivně (větší úhel – Si, P), tak negativně (menší úhel – C, Mn, S) [5], [9].

$$P_{\text{st}} + P_{\text{dyn}} + P_{\text{exp}} = P_{\gamma} + P_{\text{f}} + P_{\text{g}} \quad (2)$$

Kde: P_{st} = Metalostatický tlak

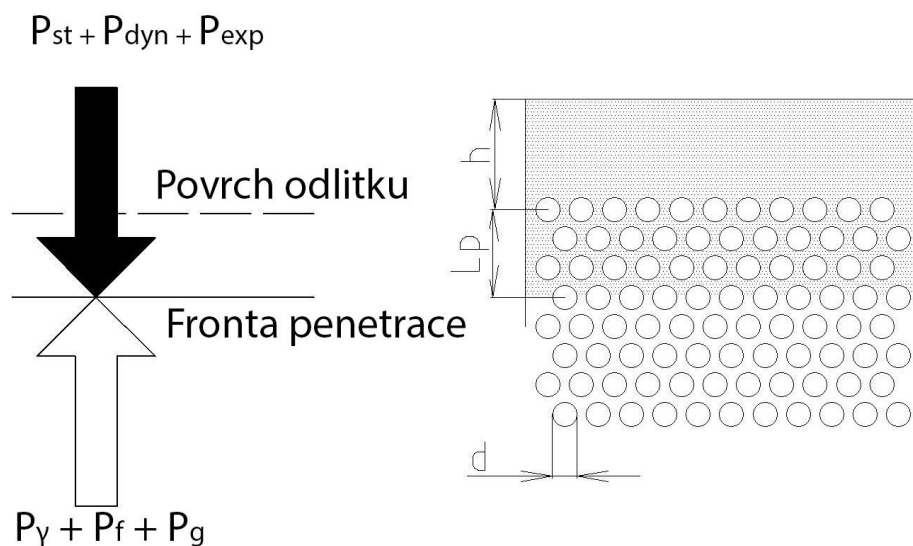
P_{dyn} = Dynamický tlak

P_{exp} = Expanzní tlak

P_{γ} = Kapilární tlak

P_{f} = Odpor proti proudění mezi zrnny formy

P_{g} = Tlak plynů ve formě



Obr. 3.11 Princip porušení tlakové rovnováhy na rozhraní kov-forma [5]

V tekutém stavu nepůsobí v rovnici (2) na levé straně vždy všechny vlivy. Například expanzní tlak působí jen u grafitických litin, tedy u ocelí se tato složka vůbec nevyskytuje. Jejich výskyt se mění během fází tuhnutí, jak znázorňuje obr 3.12. Pravou stranu rovnice nejvíce ovlivňuje kapilární tlak, který závisí především na úhlu smáčení, povrchovém napětí a průměru pórů. Pokud proběhne chemická reakce mezi kovem a formou, úhel smáčení se výrazně zmenší.



Obr. 3.12 Časový průběh působení mechanické penetrace [10]

Zbývající členy pravé strany rovnice (2) dosahují značně menších hodnot než kapilární tlak. Tlak plynu dosahuje ve formě jen minimálních hodnot (1-1,25 atm) [11]. Je tedy zbytečné přidávat zplyňující přísady kvůli zvýšení protitlaku ve formě proti penetraci kovu.

Poslední člen (odpor proti proudění) závisí na rychlosti proudění, pórovitosti formy, viskozitě taveniny a délce toku kovu. Omezení lze dosáhnout úpravou formy a to lepším upěchováním či zvolením menší zrnitosti ostřiva. [10]

Velký vliv má i pórovitost směsí. Ta je ovlivněna zrnitostí ostřiva a jeho napěchováním. Pokud je směs chemicky vytvrzená, je možné použití nátěru, který zlepší povrch formy odlitku. Povrchový nátěr ale není vždy možný, například u bentonitových směsí. Proto je potřeba zaměřit se více na zrnitostní skladbu směsi. Pro malé odlitky (10–200 kg) je ideální střední velikost zrna 0,2-0,22 mm, obsah zrn o velikosti menší, než 0,125 mm 4-9%. Dále se do bentonitových směsí přidává kamenné uhlí za účelem útlumu škodlivých emisí. Tabulka 3.11 ukazuje faktory ovlivňující mechanickou penetraci [5], [9]

Zvýšení podporuje sklon k penetraci	Zvýšení snižuje sklon k penetraci
Metalostatický tlak	Povrchová energie (napětí)
Dynamický tlak	Úhel smáčení mezi kovem a formovací směsí
Velikost pískových zrn (prodyšnost, hustota směsi)	Nátěry
Licí teplota	Upěchování směsi

Tab. 3.11 Faktory ovlivňující mechanickou penetraci [10]

2.3.2 Chemická penetrace

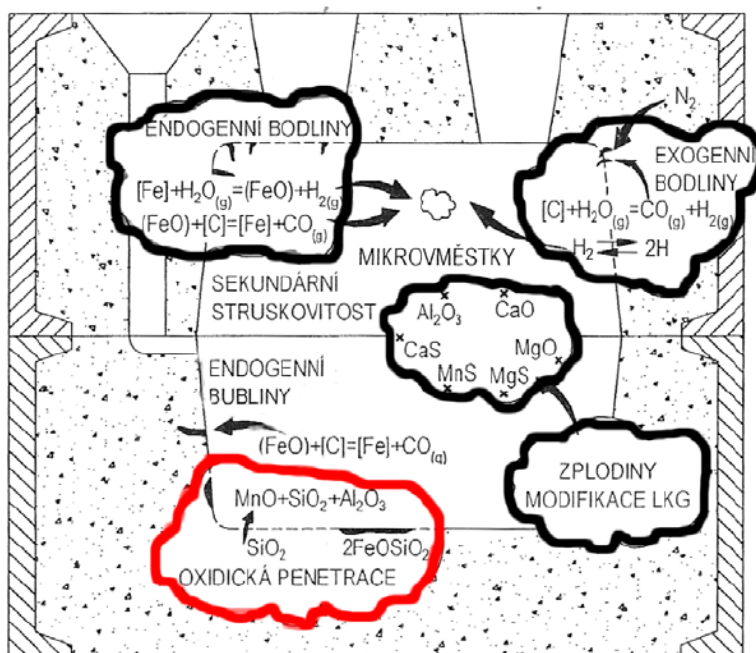
Velmi často dochází ke vzniku oxidační atmosféry, která vzniká kvůli nedostatku uhlíku v kovu. Ta má za následek výrazné snížení smáčecího úhlu až do negativních hodnot, což znamená, že je kov přímo nasáván do póru formy a tím pádem vznikají hluboké zapečeniny. Čím více má atmosféra oxidační charakter (například CO_2), tím více se chemická penetrace projevuje [9].

Například reakce oxidu železa a křemíků vzniká fayalit (Fe_2SiO_4), který má úhel smáčení 21° a teplotu tavení 1200°C . Díky tomu může k penetraci docházet i za teplot nižších, než je teplota tavení kovu [5]. Autoři (8) popisují, že k reakci dochází vždy, ale ne ve všech případech se jedná o závadu [10].

V závislosti na složení slitiny se na jejím povrchu mohou tvořit i oxidy jiných prvků. Zejména problematické jsou slitiny obsahující mangan. Ten oxiduje rychle a tvoří nízko tavitelné křemičitany s pískem, které mají vysokou přilnavost a malý úhel smáčení. Pokusy bylo prokázáno, že očištění formy oxidačními plyny během lití zvyšuje pronikání kovu, zatímco čištění neutrálními nebo redukčními plyny pronikání zabraňuje. Proto je důležité znát přesné složení plynů [12].

Dalším problémem může být použití nesprávné formovací směsi, například odlévání oceli do směsi určené pro litiny. Tato směs obsahuje kamenné uhlí, které by způsobilo nauhličování oceli. Dojde ke snížení teploty tavení a tím pádem kov lépe zatéká do mezer mezi zrny a opět dochází ke vzniku vady. Navíc za licích teplot má uhlík vyšší afinitu ke kyslíku než železo, tudíž litina je chráněna přednostní oxidací uhlíku. Penetrovaný kov tudíž bývá oduhličen [5], [9].

Při každém odlévání na vzduchu dojde k reakci kovu a kyslíku (sekundární oxidace). V té chvíli reagují s kyslíkem veškeré prvky s vyšší afinitou, než má železo. Výsledkem jsou fáze (pevné, kapalné, plynné), které reagují s licí formou a vytváří jak povrchové, tak vnitřní vady (viz obr. 3.21) [7],[13].



Obr 3.21 Reoxidační procesy ve slévárenské formě a její důsledky [13]

Tekutý kov předává své teplo formě, začne se rozpínat vzduch, který je mezi zrna ostřiva. Jestliže je forma syrová, pak jsou místa formy dotýkající se kovu vysušována a voda se mění v páru. Kyslík obsažený v páře reaguje s prvky (uhlík, doprovodné prvky) podle afinitní řady ke kyslíku za vzniku vad. [13]

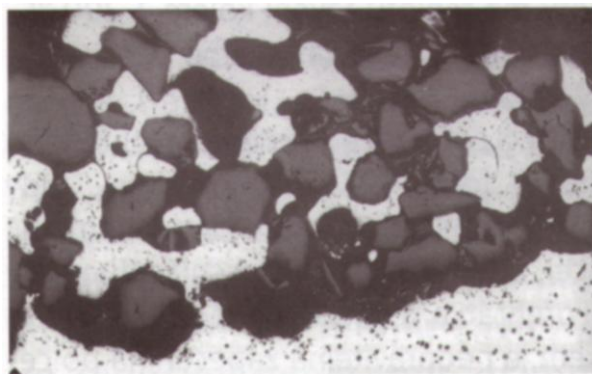
2.3.3 Penetrace způsobená parami

V místech, kde vysoká teplota zůstává delší dobu (tepelné uzly, tlustostěnné odlitky), mohou unikající páry odnášet částice kovu. Jedná se sice o nepatrné množství z hlediska hmotnosti kovu, ale může dojít k pokovování jednotlivých zrn. Následkem je zmenšení úhlu smáčivosti a větším sklonům k pronikání kovu do pórů [9].

Z výzkumu (14) vzniku zapečenin vyplynulo, že ve větší hloubce formy je zvýšený obsah Mn a jeho sloučeniny s Fe (70% + 30% Mn). Pokusy byly prováděny na litím do uzavřené korundové trubici. Tyto trubice byly pověšeny nad roztavený kov. Unikající kovové páry $[(\text{FeO})_2 + (\text{MnO})_2]$ penetrovaly do formovacího materiálu. Změna formovacího materiálu nijak neovlivnila průběh difuze. Ovlivnění rychlosti difuze nastane změnou parciálního tlaku kyslíku. Dalším faktorem ovlivňujícím rychlost difuze je míra pórovitosti směsi. Kolem jednotlivých zrn se tvoří tenká vrstva s odlišným úhlem smáčivosti, než mají čistá zrna ostřiva formy. Pokovená zrna mají rovněž odlišnou tepelnou vodivost. Teplo roztaveného kovu se dostává více do hloubky formy a tím usnadňuje vnikání kovu. Tento druh je nebezpečný zejména pro tlustostěnné odlitky s několikahodinovou dobou tuhnutí. Forma, která byla vystavena kontaktu parám a následnému lití vykazovala značně vyšší výskyt zapečenin, než forma nevystavená vlivu par [5].

2.3.4 Penetrace explozemi par

Penetrace způsobená explozemi par začala vznikat při lití za vyšších tlaků, u silně upěchovaných forem s nízkou prodyšností a vysokou vlhkostí. Explosivní penetrace na velkých plochách vzniká tam, kde dojde k velmi rychlému zaplnění formy kovem. Vodní pára vznikající při lití proniká do ostřiva. Dutiny se uzavřou a na rozhraní formakov dojde k explozi vlivem odpařované vody. Tato exploze natlačí kov do formy a tím ji utěsní. Další páry nemohou unikat a dochází k další explozi. K explozi je třeba splnění několika podmínek. Koncentrace vodní páry a uhlíkatých přísad, uzavřený prostor v místě nárůstu tlaku a iniciace exploze, kterou zapříčiní tekutý kov. K explozím dochází i vlivem jiných výbušných látek, nejen vodní páry. Na obr. 3.41 lze vidět pouze jediný spoj mezi penetrovanou vrstvou a materiálem odlitku. Tato vada je typická svým ostrým ohraničením penetrované plochy.



Obr. 3.41 Řez explozivní penetrací na odlitku [9]

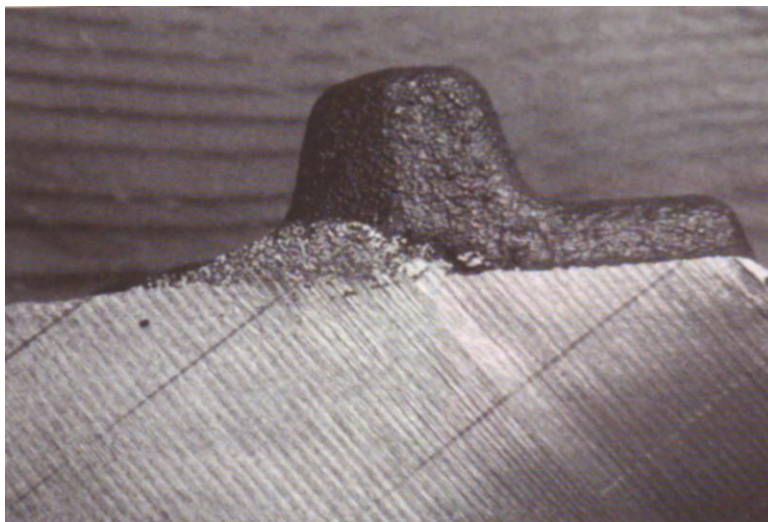
Omezení vzniku explozí par lze podle autorů (14) dosáhnout [10]:

- Menším stupněm napěchováním formy
- Snížením obsahu vody v bentonitových směsích
- Snížením obsahu spálených vyplavitelných látek
- Zrovnoměněním upěchování formy a nížením pěchovacích sil
- Zrovnoměněním proudění kovu v odlitku změnou zářezů
- Zajištěním vhodného odvzdušnění
- Použitím postřiku bionaftou kvůli lokálnímu zabránění kondenzaci vody

Odstranění této vady není tak obtížné jako u většiny ostatních vad. Mezi vadou a samotným odlitkem bývá minimální množství spojených částí a tím pádem lze lehce seškrábnout či odloupnout [5], [9].

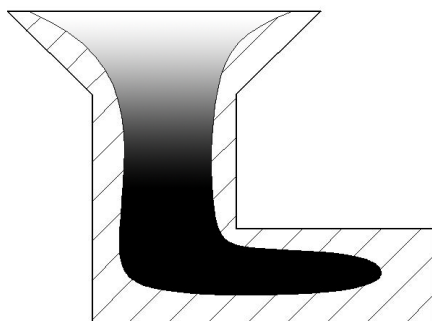
2.3.5 Expanzní penetrace

U litin vzniká během grafitizace k výrazné expanzi (obr. 3.51), která zapříčiňuje roztahování odlitku. K nejvyšší penetraci dochází při eutektickém složení, protože tehdy se vyloučí nejvíce grafitu a tím pádem se nejvíce navýší celkový objem. Pokud je forma odlitku správně navržena a nálitek chladne jako poslední (Obr 3.52 vlevo), pak se jen zvýší jeho hladina. Pokud ovšem nálitek zatuhne dříve, než kov uvnitř formy (Obr 3.52 vpravo), začne tlak působit na místa tepelných uzlů. Vzniklý tlak poté vtlačí kov do formovací směsi. Barevná část na obr. 3.52 značí nezatuhlý – rozpínající se kov, zatímco šrafovaná část je již zatuhlý kov. Autor výzkumu (16) uvádí, že obsah fosforu v litině může působit pozitivně, dokonce při obsahu 0,2% úplně odstraní expanzní pnutí na formu odlitku. Ovšem záleží na požadovaném obsahu P v odlitku, tudíž ne všude může být tato metoda použita. U bentonitových směsí neexistuje opatření zabráňující vzniku vady. Jediný způsob řešení je tedy změna technologická či metalurgická. Doporučuje se vždy provádět simulace na PC, která dokáže vznik vady předvídat a tím předejít ztrátám vzniklým tvorbami zmetků [5], [9], [10].

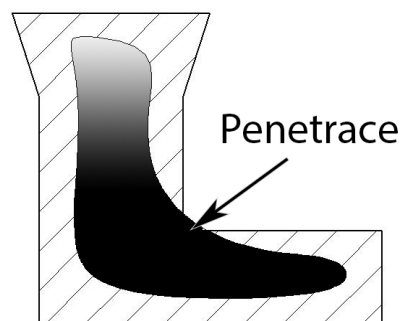


Obr. 3.51 Řez vadou – expanzní penetrace [9]

Dobrá konstrukce



Špatná konstrukce



Obr. 3.52 Expanzní penetrace [10]

2.3.6 Vliv atmosféry na rozhraní forma – kov

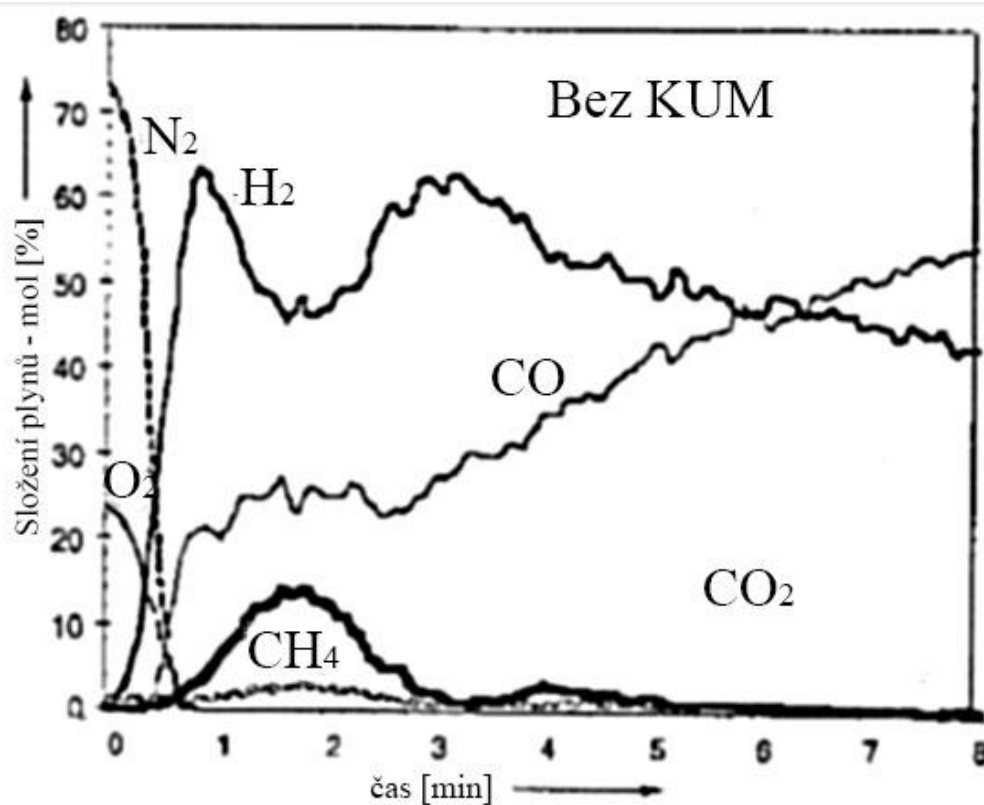
Jak bylo řečeno výše, penetrace je významně ovlivňována úhlem smáčení. Fayalit, který má nižší teplotu tavení (1205°C) i úhel smáčení (21°) tedy výrazně ovlivňuje vznik připečenin. A právě tvorba oxidů železa a jejich reakce s křemíkem mají zásadní význam tvorby vady.

Za účelem zjištění složení atmosféry na rozhraní forma-kov bylo provedeno měření na litině s lupínkovým grafitem (8). To bylo prováděno na odlitku jak bez tak s 4,9% podílem kamenouhelné moučky (dále jen KUM). Bylo zjištěno, že v žádném z případů nebyl zoxidovaný kov jako chemická penetrace. To je vysvětlováno faktem, že uhlík v kovu oxida dříve než železo, a tím ho chrání před oxidací. Výsledky měření jsou na obrázcích 3.61 a 3.62. U směsi bez KUM byla oxidační atmosféra zhruba po dobu 4 minut (poté byl kyslík vytlačen vodní párou), zatímco u směsi s KUM nebyla oxidační atmosféra nalezena vůbec.

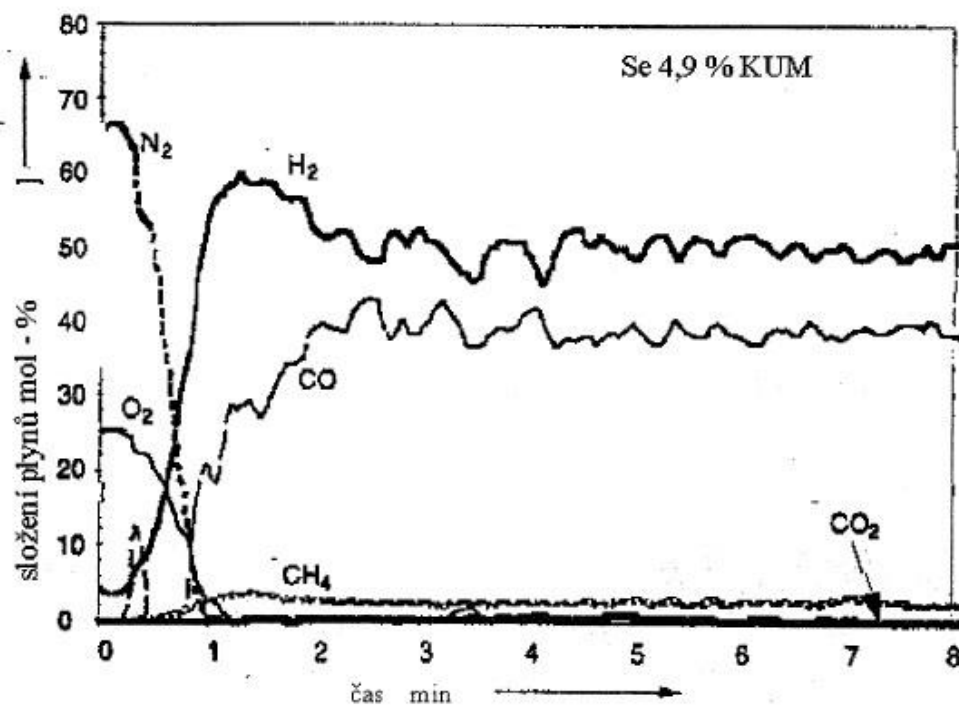
Snížení vzniku penetrace směsí s KUM je připisováno faktem, že uhlí nabobtná a tím se zmenší velikost pórů ve směsi. Autoři výzkumu (2) se nedomnívají, že by potlačení vzniku penetrace bylo způsobeno uvolňováním prchavých látek a tím vznikajícím protitlakem.

Není-li ve formě dostatek uhlíku, začne kyslík reagovat s CO a vytvářet CO_2 , které dále reaguje s oxidy železa a tím podporuje vznik fayalitu. Z toho vyplývá, že je důležité mít ve formě dostatečné množství uhlíku, který je schopen reagovat s kyslíkem.

Je však známo, že při tepelné destrukci uhlíkatých přísad unikají látky vytvářející pyrolýzní uhlík. Ten kondenzuje na znech formovací směsi a tvoří povrch nesmáčivým. Formovací směs by měla obsahovat 0,3-0,6% pyrolýzního uhlíku.



Obr. 3.61 Složení atmosféry v syrové formě po odlití – Bez KUM [10]



Obr. 3.62 Složení atmosféry v syrové formě po odlití s 4,9% KUM [10]

Výskyt pyrolýzního uhlíku však nemusí být vždy prospěšný. Pokud ho formovací směs obsahuje příliš mnoho, může tvořit uhlíkaté pleny (Obr 3.63), které se vyskytují jak na povrchu tak jako vnitřní vada.

Povrchová vada je tvořena nejčastěji na povrchu odlitku LLG a LKG odlévaných do bentonitových směsí které obsahují aditiva organického původu (nosič lesklého uhlíku). Někdy též vzniká při odlévání s jádry pojených umělými pryskyřicemi.

Vada je typická pro nadměrně vysoké koncentrace pyrolýzního uhlíku. Ta by neměla překročit hodnotu 0,6 hm. %, optimální koncentrace je mezi 0,2 až 0,4 hm. % pyrolýzního uhlíku v jednotné bentonitové směsi. Dále je vznik vady ovlivňován použitím jader pojených umělými pryskyřicemi.

Pyrolýzní uhlík má dvě formy. První je lesklý uhlík, jehož výskyt je minoritní, druhá je amorfni uhlík. Souvislé tenké vrstvy na povrchu formy či jádra vznikají právě z minoritního lesklého uhlíku.

U zkušebního odlitku z LLG, odlévaného do jednotné bentonitové směsi, obsahem 0,3 – 0,32 hm. % pyrolýzního uhlíku a použitím jader pojených umělými pryskyřicemi, se vyskytla povrchová vada typu uhlíkaté pleny.

Vada má lístkovitý tvar. Část je přilepena na vodorovných plochách odlitku, kde nezhodnocují hladkost plochy, ale jsou vidět jejich hranice – tvorba map.



Obr. 3.63 Uhlíkaté pleny na odlitku z LLG [15]

Zabránit vzniku vady lze:

- Zvýšením teploty lití, klidným laminárním plněním formy bez víření
- Obsah pyrolýzního uhlíku udržovat mezi 0,2 a 0,4 hm. %
- U jader používat minimální potřebný obsah pojiv, snížit obsah rozpustidel, používat anorganické látky a oxidační přísady do jader, větší tloušťka použitých nátěrů, zvýšení prodyšnosti jader. [15]

2.3.7 Podmínky pro kvalitní povrch odlitku [10]

Obecně pro bentonitové směsi platí pravidlo, že čím méně vody je použito k výrobě formy, tím lepší kvality odlitek dosahuje.

Složení formovací směsi

- Rovnoměrné a vhodné napěchování formovací směsi
- Vhodné složení formovací směsi – Obsah aktivního bentonitu, vyplavitelných látek, obsahu pyrolýzního uhlíku
- Vhodná granulometrie ostřiva i formovací směsi, aby nebyly zbytečně velké póry.

Příprava formovací směsi

- Dostatečné promísení, aby se maximálně snížilo množství volné vody a latentního bentonitu
- Důkladné prokypření před formovacím strojem, aby směs neobsahovala hroudy
- Chlazení vratné směsi

Forma

- Rovnoměrné zhutnění formy
- Nezakládat studená jádra do teplé formy
- Nepoškození formy při vyjímání modelu a při skládání

Vtoková soustava

- Odvzdušnění dutiny formy a jader
- Vtoková soustava zajišťující plynulé plnění formy
- Usměrněné tuhnutí

Tekutý kov

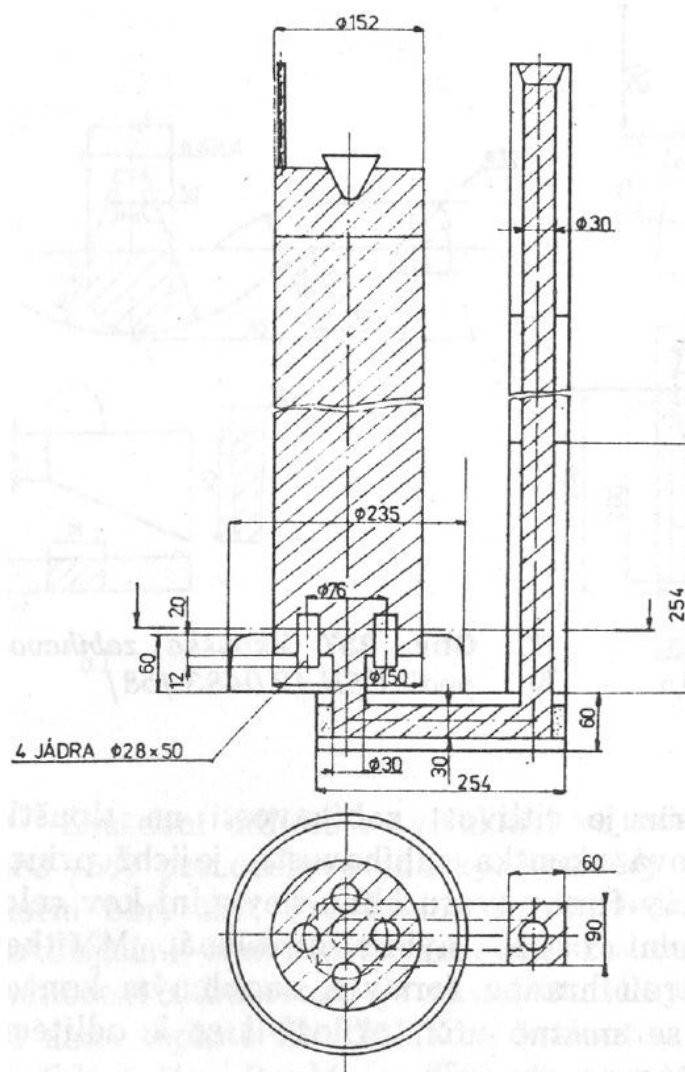
- Optimální teplota lití
- Optimální stupeň očkování
- Optimální chemické složení

2.4 Zkoušky připečenin [13]

Již od 40. let se provádí zkoušky připečenin na zkušebních odlitcích. Pokusů o sestavení zkušebního odlitku odpovídajícímu reálnému odlévání ve všech směrech bylo několik, avšak nebyly zcela úspěšné. Každá metoda zkušebních odlitků napodobuje jiné podmínky lití, proto se nepožívala jedna univerzální, ale několik. Mírou připečenin se v všech případech počítá plocha penetrace, objem připečeniny, hloubka proniknutí kovu do formy, srovnání s etanolem a další ukazatele.

2.4.1 Gertsmanův odlitek

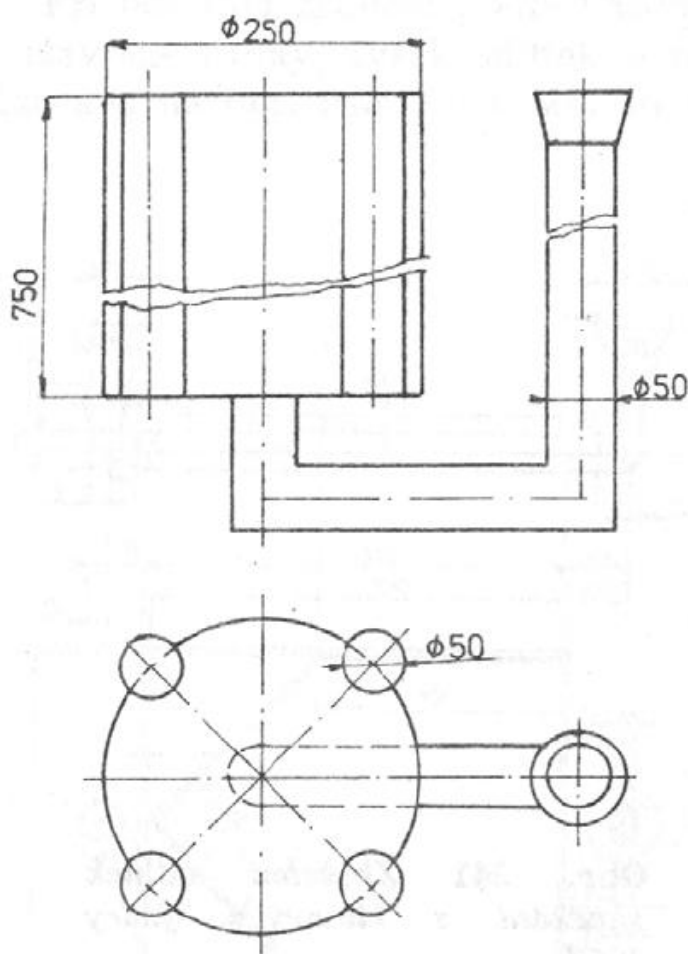
Tato metoda zkoumá penetraci kovu do jader. Vytváří se při ní podmínky blízké se provozním podmínkám (fyzikálním i chemickým). U této metody (Obr. 4.11) se dá měřit metalostatický tlak, který kov vytváří, a tím ověřit vliv na jádrech tvořených z odlišných formovacích směsí.



Obr. 4.11 Gertsmanův odlitek

2.4.2 Fursundův odlitek

Zkušební odlitek má tvar sloupového typu (Obr. 4.21). Forma je složena z válce o rozměrech $D=250$ mm a $h=750$ mm. Po obvodu jsou rozmístěny čtyři známky, jejichž osa je rovnoběžná s osou válce. V těchto známkách jsou umístěna válcová jádra s průměrem i výškou 50 mm. V každé známce bylo nad sebou naskládáno 15 jader. Forma byla zaplňována spodním litím od středu formy, tudíž jádra byla vystavována rozdílnému metalostatickému tlaku.

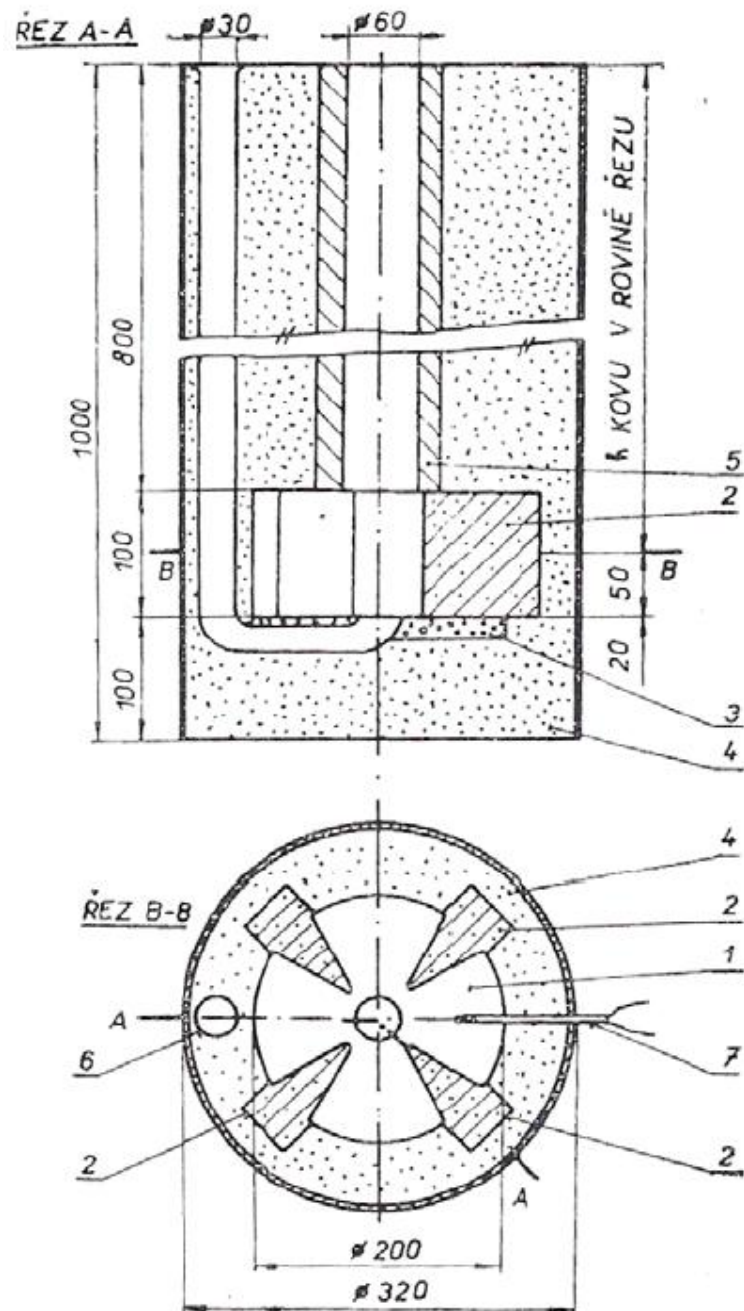


Obr. 4.21 Fursundův zkušební odlitek

2.4.3 Odlitek dle Mikšovského, Havlíčka a Bartušky

Tento druh zkušebního odlitku (Obr. 4.31) je upravený systém toho, co použil Gertsman.

Zde byly ovšem místo válcových jader použity klínové, a různě profilovaná forma (obr. 4.31).



Obr. 4.31 Odlitek s klínovými jádry

2.5 Vliv vad na součást při mechanickém namáhání [17]

Pevnost všech materiálů je ovlivněna vadami, které obsahují. Mohou to být mikroskopické vady typu atomárních nepravidelností, dislokací, nepravidelnosti na hranicích zrn kovu atd. S těmito vadami se počítá ve výpočtech na specifický druh namáhání.

V reálných výrobcích se však vyskytují další, větší vady. Ty mohou velice významně ovlivnit mechanické vlastnosti, obzvláště v okolí vady.

Je-li zjištěna při defektoskopické zkoušce vada, je nutno stanovit její charakter, velikost, tvar a polohu a rozhodnout, zda je vada přípustitelná, opravitelná nebo je nutné vyřazení součásti.

Vady působí jednak ovlivněním nosného průřezu, tak mění úroveň napětí vrubovým účinkem. Možnost šíření vady závisí především na druhu namáhání, stavu napjatosti v okolí vady, velikosti součásti a plasticitě materiálu.

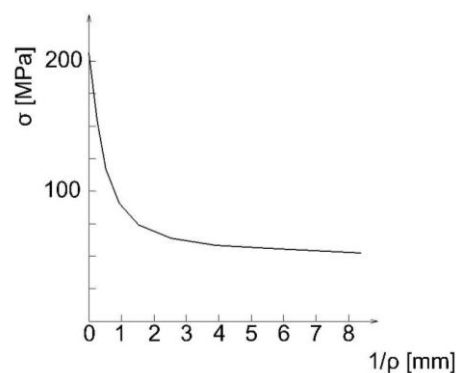
Ve výrobě se počítá s tím, že každý reálný výrobek obsahuje defekty či přímo trhliny. To se týká zejména svarových spojů a odlitků. V případě odlitků to mohou být řediny a dutiny vznikající v průběhu chlazení v ostrých přechodech.

Nebezpečnost vad však nezávisí jen na jejich velikosti, počtu a geometrii (ostrosti především), ale i typu namáhání. Pro každý typ podmínek existují takové vady, které lze označit za přípustné. Je ovšem potřeba přesně znát charakter namáhání součásti. Jako příklad je uvedena deska z tvárného materiálu s uměle vytvořenou vadou o velikosti 5% nosného průřezu. Pokud vada nebude typu trhliny, tak se při statickém tahu zatížení pevnost desky sníží jen o 5%.

Naprosto rozdílně se vada chová při namáháním cyklickém. Graf 5.11 vyjadřuje závislost meze únavy na ostrosti vady, vyjádřené hodnotou $1/\rho$, kde ρ je poloměr kořene vady. Z grafu 5.11 vyplývá, že pokles meze únavy je významný i pro poměrně „tupé“ vady. Například pro vadu kruhového průřezu klesne mez únavy na téměř jednu třetinu její původní hodnoty.

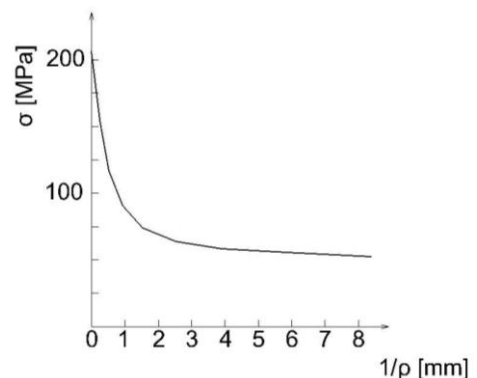
Další velký faktor ovlivňující chování mechanické chování je teplota. Se sníženou teplotou roste náchylnost ke křehkému porušení, naopak růst teploty ke vzniku creepu. Oba druhy vad jsou silně ovlivňovány přítomností vad.

Agresivita prostředí také hraje významnou roli při zkoumání povrchových vad. Ty totiž přednostně korodují ať už bez působení vnějších sil, tak s působením vnějších sil (koroze pod napětím).



Graf. 5.11 Závislost meze únavy na ostrosti vady [17]

Největší účinek, jak již bylo řečeno výše, je pro cyklické namáhání. V praxi se výpočty na mez únavy, provádějí tak, aby skutečná napětí nepřesáhla kritické. Ostatní druhy namáhání jsou oproti tomuto zanedbatelné, a proto se většinou výpočty zabývají tímto druhem. Graf 5.12 ukazuje závislosti relativní meze únavy (σ_{cv}/σ_c , kde σ_{cv} značí mez únavy materiálu s vadami a σ_c je mez únavy materiálu bez vad) na ostrosti vady pro dva odlišné materiály. Prvním je šedá litina ($\sigma_c = 60$ MPa) a druhý litá ocel ($\sigma_c = 300$ MPa). Z grafu (5.22) vyplývá, že pro šedou je pokles nejvíce na 65% původní hodnoty, avšak pro ocel až na 20% původní hodnoty. Z tohoto výsledku vyplývá značná rozdílnost náchylnosti vzniku a šíření vady v různých materiálech.



Graf 5.12 Závislost relativní meze únavy na ostrosti vady [17]

2.6 Vliv povrchových vad na obrobitelnost [18]

Čistota litiny je důležitá i z hlediska obrábění. Vliv kvality povrchu na obrábění je třeba uvažovat, protože povrchová plocha při obrábění je obrovská oproti odebíranému objemu materiálu. Nečistoty na povrchu zapříčiňují předčasné opotřebování nástroje. Čím je opotřebení větší, tím více se dotýká povrch nástroje obrobku, který produkuje více tepla. Důsledkem tohoto ohřevu je popuštění materiálu nástroje, materiálu obrobku, ale také může dojít až k přivaření nástroje.

Vměšky ovlivňující obrobitelnost nástroje se dělí dle jejich původu na:

- Precipitáty z roztavené či zmrazené oceli.
- Oxidy vzniklé v tekutém kovu při manipulaci
- Mechanické či chemické narušení žáruvzdorných materiálů roztaveným kovem

Účinek tvrdých vměstků na opotřebení byl zkoumán Ramalingamem a Wrightem. Ti provedli experimenty s ocelovými vzorky využitím práškové metalurgie. Tyto vzorky měly rozdílnou koncentraci Al_2O_3 . Testy opotřebení ukázaly, že se zvyšujícím se obsahem Al_2O_3 opotřebení nástroje stoupá. Stejný následek má i nárůst velikosti Al_2O_3 . Při zvyšování rychlosti obrábění také značně narůstala teplota procesu, která snižovala tvrdost nástroje.

Paliwoda studoval vliv kyslíku na obrobitelnost, který může obrobitelnost jak zlepšovat, tak zhoršovat. Aktivní (neboli zbytkový) kyslík může být přítomen jako FeO . Ten pomáhá zakulacovat sulfidické částice, a tím zlepšit podmínky obrábění.

3 ZÁVĚR

Cílem práce bylo sestavení přehledu povrchových vad odlitků, popis mechanizmů vad a jejich důsledků na vlastnosti materiálů.

Ačkoliv se problematikou povrchových vad zabývalo mnoho skupin výzkumníků, stále se jedná o velmi často vznikající jev, způsobující slévárnám nemalé ztráty.

Nejvíce vyskytovanou povrchovou vadou jsou připečeniny a zapečeniny. Jejich vznik je dán mnoha faktory ať už mechanického tak chemického typu. Jejich odstraňování je také obtížnější, než u většiny ostatních povrchových vad.

Z tohoto důvodu byly vytvořeny zkušební odlitky, na kterých se zkoumaly příčiny a následky zapečenin.

Povrch vad není jen nevzhledný, ale také výrazně zhoršuje mechanické vlastnosti. Nejvíce ovlivněnou oblastí je cyklické namáhání, kde jednotlivé nerovnosti povrchu zapříčiňují vznik mikrotrhlin a ty se dále šíří až do kritické velikosti kdy součást praskne.

Další oblastí negativně ovlivněnou povrchovými vadami je obrobitelnost. Nejen, že dochází k většímu opotřebení nástrojů, a tím pádem vyšším nákladům na úpravy odlitku, ale vlivem zvýšeného tření se odlitek ohřívá a může dojít až k ovlivnění jeho povodních mechanických vlastností.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [19]

1. Historic naval ship association. [online]. 1997 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.hnsa.org/index.htm>
2. BEDNÁŘOVÁ, Vlasta. Základy teorie a technologie slévárenství. [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: http://www.fmmi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmmi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/Zaklady_teorie_a_technologie_slevarenstvi.pdf
3. Internetová stránka firmy Uneko dostupná na: <http://www.uneko.cz>
4. JELÍNEK, Petr a Karel RUSÍN. Vady odlitků: Vady povrchu odlitků. *Slévárenství*. 1997, roč. 45, č. 5, s. 185-195. ISSN 0037-6825.
5. TOMEK, Ladislav, Ivo STACHOVEC a Jana TOMKOVÁ. Vliv interakcí kov-písková forma na povrchovou vrstvu odlitků. [online]. [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/download/Studijni-sylabus.pdf
6. Rubert + Company. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.rubert.co.uk/Comparison.htm>
7. OTÁHAL, Vlastislav. Vady Odlitků Atlas Vad: Železné a neželezné slitiny. In: Vady Odlitků Atlas Vad [online]. [cit. 2013-03-31]. Dostupné z: http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/Vady_odlitku_vytah.pdf
8. KOVVI, K, V PLJACKIJ a Franta VESELÝ. Vady odlitků a slitin neželezných kovů =. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956, 129 s.
9. NEUDERT, Alois. Penetrace: Přípečeniny u odlitků ze slitin železa. *Slévárenství*. 2011, roč. 59, 11-12, s. 364-368. ISSN 0037-6825..
10. Neudert, A., Duda, J. Penetrace kovu do forem ze syrových bentonitových směsí. Vady odlitků IV.-Výběr přednášek ze semináře, Česká slévárenská společnost pobočka Kopřivnice, 2000, s. 12/1-12/8.
11. S.R.GIESE a kol.: Část Iron Penetration in Sand Moulds, Part I. AFS Transactions 96-206, str. 1233 - 1248
12. J.O.Barlow a kol.: Cast Chemical Penetration in Sand Moulds in Steel Castings, AFS Transactions 97-145, str. 325 – 331

13. ELBEL, Tomáš. Reakce produktů reoxidace kovu se slévárenskou pískovou formou. In: Slévárství. 53. vyd. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, s. 163-168. ISSN 0037-6825.
14. J. BAIER, M.KÖPPEN: Handbuch der gußfehler ...IKO-Erbslöh 1994
15. JELÍNEK, Petr. Uhlíkaté pleny: specifická vada odlitků způsobená přebytkem pyrolýzních produktů organických aditiv formovacích směsí. *Slévárství*. 2010, roč. 58, 7-8, s. 276-277. ISSN 0037-6825.
16. Stefanescu, D.M., Giese, S.R., Piwonka, T.S., Lane, A.M. Cast Iron Penetration in Sand Molds, Part I: Physics of Penetration Defects and Penetration Model. AFS Transactions, vol. 104, 1996, 96-206, s. 1233-1248. ISSN 0065-8375.
17. ČECH, Jaroslav. Vady a kontrola odlitků. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 140 s. ISBN 80-214-0278-4.
18. MURSHED, M, E. ELEFTHIROU, R. GRIFFIN a C. E. BATES. Effect of Abrasive Inclusions on the Machinability of Cast Steel. In: Transactions of the American Foundry Society. Des Plaines: American Foundry Society, Inc., 2001, s. 1379-1389. ISSN 0065-8375.
19. Citace. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkrat- ka/Symbol	Jednotka	Popis
KUM		Kamenouhelná moučka
LKG		Litina s kuličkovým grafitem
LLG		Litina s lupínkovým grafitem
P_{dyn}	Pa	Dynamický tlak
P_{exp}	Pa	Expanzní tlak
P_f	Pa	Odpor proti proudění mezi zrna formy
P_g	Pa	Tlak plynů ve formě
P_{st}	Pa	Metalostatický tlak
P_γ	Pa	Kapilární tlak
h	mm	výška sloupce kovu
r	mm	poloměr kapilár
α	°	Úhel smáčení
σ	N/m	Povrchové napětí kovu

PŘÍLOHY

Příloha 1 - Druhy vad odlitků [7]

Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti	Chybějící části odlitku bez lomu	Nezaběhnutí
		Nedolití
		Vytečený kov
		Špatná oprava formy
		Přetryskaný odlitek
		Omačkání, potlučení, pohmoždění
		Neprávně upálený, odřezaný a obroušený odlitek
	Chybějící části odlitku s lomem	Ulomení části odlitku za tepla
		Ulomení části odlitku za studena
		Vyštípnutí
	Nedodržení rozměrů	Špatný (vadný) model
		Přesazení
		Nevyhovující rozměry
		Zborcení, deformace
	Nedodržení hmotnosti odlitku	
Vady povrchu	Přípečeniny	Drsný povrch
		Povrchové přípečeniny
		Zapečeniny (hluboké přípečeniny)
	Zálupy	Zálupy na horní ploše
		Zálupy na dně formy
		Zálupové síťoví
		Nátěrové zálupy
	Nárosty	Vybouleniny
		Odření, shrnutí
		Utržení, sesutí
		Eroze
	Výronky	
	Výpotky	
	Zatekliny	Zatekliny způsobené netěsnosti
		Prasklé jádro
		Prasklá forma
	Nepravidelnosti povrchu odlitku	Pomerančová kůra
		Zvrásněný povrch
		Neštovice
		Okuje, opálení
		Krupička

		Dolíčková a kanálková koroze
		Chemická koroze
	Vady povrchové ochrany odlitku	
Porušení souvislosti	Trhliny	Povrchové (otevřené) trhliny
		Podpovrchové trhliny
		Vnitřní trhliny
	Praskliny	Porušení souvislosti z důvodu mechanického poškození odlitku
		Lom za tepla
		Lom za studena
	Porušení souvislosti z důvodu nespojení kovu	Zavaleniny
		Nedokonalý svar
Dutiny	Bubliny	Bubliny způsobené kyslíkem
		Bubliny způsobené vodíkem
		Bubliny způsobené dusíkem
		Bubliny způsobené vodíkem a dusíkem
		Zahlcený plyn
		Síťkovité bubliny
	Bodliny	
	Odvařeniny	Odvařeniny od formy
		Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů
		Odvařeniny od vměstků
	Staženiny	Otevřené staženiny
		Vnitřní uzavřené staženiny
		Řediny
		Staženiny od jader nebo ostrých hran formy
		Povrchová propadlina
		Plynové staženiny
Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	Struskovitost	Struskovitost exogenní
		Struskovitost sekundární
	Nekovové vměstky	Zadrogeniny
		Rozplavený písek
		Odpadnutý nátěr
		Oxidické pleny
		Grafitové pleny
		Černé skvrny
	Makrosegregace a vycezeniny	Gravitační odmíšení
		Makroodmíšení

		Stvolové vycezeniny
		Mezerové vycezeniny
	Broky	
	Kovové vměstky	
	Nevyhovující lom	Kamenitý (lasturový) lom
		Břidličnatý lom
		Fasetový, dendritický lom
Vady mikrostruktury	Mikroskopické dutiny	Mikrostaženiny
		Mikroubliny
		Mikrotrhliny
	Vměstky	
	Nesprávná velikost zrna	
	Nesprávný obsah struktur- ních složek	
	Zatvrdlina, zákalka	
	obrácená zákalka	
	oduhličení povrchu	
	Jiné vady mikrostruktury	Řetízkový grafit
Vady chemického slo- žení	Nesprávné chemické slo- žení	
	Odchyly hodnot mecha- nických vlastností	
	Odchyly hodnot fyzikál- ních vlastností	
	Nevyhovující homogenita odlitku	