ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie

Prezentace vad odlitků k podpoře výuky

Presentation of casting defects for support of education

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: TZSI
Studijní obor: Strojírenství

Vedoucí práce: ing. Petr Zikmund

Michal Komárek

Praha rok 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a uvedl v ní všechny prameny, literaturu a ostatní zdroje, které jsem použil.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 19. 6. 2015

Podpis .....

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště děkuji vedoucímu práce Ing. Petru Zikmundovi za pomoc, vedení, konzultování a za rady, které mi poskytoval po celou dobu vypracovávání této práce. Dále děkuji všem, co mi umožnili přístup k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě také děkuji svým rodičům a blízkým, kteří mě podporovali a vytvářeli mi vhodné podmínky k vytvoření této práce.

ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Michala KOMÁRKA

Program: Teoretický základ strojního inženýrství

Obor:

Název: Prezentace vad odlitků k podpoře výuky

Název anglicky: Presentation of casting defects for support of education

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Vady odlitků a jejich rozdělení
3. Identifikace vad
4. Sestavení databáze
5. Závěr

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Zikmund

Konzultant:

Datum zadání bakalářské práce: 30. 4. 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 19. 6. 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádné neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

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

Zadání bakalářské práce převzal dne: 6. 5. 2015

.....
Student

.....
Vedoucí ústavu
Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

.....
Děkan
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

V Praze dne 30. 4. 2015

Název Práce: **Prezentace vad odlitků k podpoře výuky**

Autor: Michal Komárek
Program: TZSI
Druh práce: Bakalářská práce
Vedoucí práce: Ing. Petr Zikmund
Ústav strojírenské technologie
Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Abstrakt:

Celá bakalářská práce je koncipována do 2 částí - teoretická a praktická - odráží v sobě problematiku zefektivnění výuky pomocí prezentace vad odlitků.

Teoretická část se zabývá obecně vadami odlitku, jejich rozdělením a způsoby a postupy zjišťování těchto vad do jednotlivých tříd.

Praktická část je pak věnována samostatné výukové hodině, jejímu průběhu a výkladu prezentace.

Závěr se zabývá dosažením stanoveného cíle a zhodnocením využitelnosti zjištěných výsledků.

Klíčová slova:

vady odlitků, zjišťování vad odlitků, třídy vad, prezentace vad odlitků

Title: **Presentation of casting defects for support of education**

Author: Michal Komárek

Branch: TZSI

Document type: Bachelor´s thesis

Thesis advisor: Ing. Petr Zikmund

Department of manufacturing technology

Faculty of mechanical engineering, CTU in Prague

Abstract:

The bachelor´s thesis is devided into two parts – teorectical and practical – it reflects in itself the problem of efficiency of education through presentation of casting defects.

The theoretical part deals with general casting defects, their classification and the methods and procedures for detecting these defects into diffenent classes.

The practical part is about leading lesson and interpretation of presentation.

The conclusion is about reaching the goal and about the evaluation of results.

Key words:

casting defects, detecting of casting defects, class defects, presentation of casting defects,

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

VK	vizuální kontrola
MDP	měření drsnosti povrchu
KCHA	klasická chemická analýza
RZ	rentgenové záření
SH	stanovení hmotnosti

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK 1
1 ÚVOD 3
1.1 Cíle bakalářské práce 4
2 Vady odlitků 5
2.1 Rozdělení vad odlitků 5
3 Způsoby a postup zjišťování vad odlitků 6
3.1 Vizuální kontrola 7
3.2 Měření, vážení 7
3.3 Defektoskopie 7
3.4 Chemické rozbory 12
3.5 Strukturní rozbory 14
3.6 Rozbor vlastností materiálu 15
4 Třídy vad 16
4.1 Třída vad 100 16
4.2 Třída vad 200 16
4.3 Třída vad 300 17
4.4 Třída vad 400 17
4.5 Třída vad 500 18
4.6 Třída vad 600 18
4.7 Třída vad 700 19
5 Návrh průběhu hodiny 20
5.1 Náhled pracovního listu 20
5.2 Výklad prezentace 21
5.2.1 Značení tabulek 21
5.2.2 Tabulkové rozdělení vad 22
5.2.3 Rozmístění obrázků 22
5.2.4 Videa 23
5.2.5 Rozdělení způsobů a postupů vad odlitků 24
6 Závěr 25
7 Seznam použité literatury 26
8 Seznam obrázků 28
9 Seznam tabulek 29
10 Seznam příloh 30
10.1 Příloha A 31

1 ÚVOD

Toto téma jsem si zvolil jednak proto, že ve městě Chrudim, v kterém žiji již delší dobu, funguje slévárna a v této slévárně jsme byli se školou na exkurzi. Dalším důvodem zvoleného tématu je i to, že moje mamka pracuje v metalurgické firmě, a tak jsem měl dost podkladů a informací ke zvolenému tématu.

Slévárenství je velice náročné výrobní odvětví, které se zabývá výrobou kovových i nekovových odlitků pomocí odlévání, tj. technologie, při které se roztavený materiál lije do formy, jejíž dutina má tvar odvozený od tvaru budoucího odlitku. Výroba odlitků je dost náročná a jedním z důležitých úkolů je zvolení nejvhodnějšího výrobního procesu, který by byl ekonomicky optimální pro dané výrobní podmínky a hlavně, aby výsledné odlitky byly bez vad.

Příčin vzniku vad odlitků je několik a z toho důvodu jsem si zvolil prezentační výuku vad odlitků, kdy v dnešní době je výuka pomocí prezentace na PC nejen pro studenty velice blízká, ale především i názorná a zajímavá. Cílem práce je zefektivnit a obohatit výuku technologie. Způsobem dosažení stanoveného cíle a součástí práce je teoretická analýza problematiky a rozdělení vad odlitků. Tyto vady jsou přehledně uspořádány do tabulek. V tabulkách jsou i přehledně popsány způsoby a postup zjišťování vad odlitku. Při výběru téma bakalářské práce se objevila myšlenka, kterou považuji za ústřední hypotézu své bakalářské práce a která se dotýká všech studentů, kteří při studiu na střední či vysoké škole mají předmět Technologie: Jak zefektivnit výuku technologie pomocí prezentace

V závěru mé bakalářské práce je průběh vyučovací hodiny spolu s 35 snímkovou prezentací, která je doplněna o video ukázky.

1.1 Cíle bakalářské práce

Hlavním cílem této práce je zefektivnit a obohatit výuku Technologie I. Pomocí výukové prezentace se pokusím přiblížit studentům problematiku vad odlitků, a to způsobem, který jim je blízký. Cílem je vytvořit pro studenty zajímavou prezentaci, která udrží jejich pozornost a pomůže jim snáze proniknout do dané látky. V práci nebudu popisovat všechny vady, ale zaměřím se na ty nejdůležitější z nich. Tato prezentace bude tvořit základ, na který vyučující může navázat svůj výklad.

2 Vady odlitků

Vady odlitků představují značný problém, který je ve slévárenské technologii velmi nežádoucí a komplikuje tak plynulost výroby. Problematika vzniku slévárenských vad je složitá a příčin jejich vzniku je mnoho. Jsou důsledkem nevhodně zvolené slévárenské technologie, nedodržením příslušných technologických postupů nebo nízkou úrovní řízení ve slévárně.

2.1 Rozdělení vad odlitků

Vady odlitků můžeme rozdělit do několika skupin a podskupin. Za vadu odlitku považujeme jakoukoli odchylku vzhledu, tvaru, hmotnosti, rozměru, atd. Tato klasifikace respektuje značení Mezinárodního atlasu vad odlitků i jeho roztřídění vad. V maximální míře také byla zachována terminologie vad i základní číslování vad z ČSN 42 1240 [1]. Jejich klasifikace je popsána v tabulce 2 (Příloha A).

3 Způsoby a postup zjišťování vad odlitků

Celkem můžeme zaznamenat 21 způsobů, pomocí nichž můžeme vady zjišťovat. Nejčastější metodou je vizuální kontrola odlitku, pak následuje stanovení mikrostruktury a prozařování odlitků. Často však musíme použít postupně několik způsobů identifikace vady.

Tabulka 1 Způsoby zjišťování vad odlitků

Poř. čís.	Skupina	Poř. čís.	Název	Četnost
1.	Vizuální prohlídka odlitku	1	Vizuální kontrola odlitku	70
		2	Prohlídka odlitků pomocí lupy nebo průmyslového endoskopu	11
2.	Měření, vážení	3	Rozměrová kontrola	4
		4	Měření drsnosti povrchu odlitku	2
		5	Stanovení hmotnosti	1
3.	Defektoskopie	6	Zvuková zkouška	1
		7	Ultrazvuková defektoskopie	7
		8	Radiologické zkoušky	10
		9	Kapilární penetrační zkoušky	4
		10	Elektromagnetické zkoušky	2
		11	Zkoušky propustnosti (tlakování)	4
4.	Chemické rozbory	12	Stanovení chemického složení materiálu	5
		13	Stanovení obsahu plynů	4
		14	Rentgenová spektrální mikroanalýza	8
		15	Metody určování fázového složení	5
5.	Strukturní rozbory	16	Fraktografie	6
		17	Stanovení makrostruktury	4
		18	Stanovení mikrostruktury světelnou mikroskopií	14
		19	Elektronová mikroskopie	4
6.	Rozbor vlastností materiálu	20	Stanovení mechanických vlastností	1
		21	Stanovení fyzikálních vlastností	1

3.1 Vizuální kontrola

VK lze stanovit téměř 80 % vad. Je to nejjednodušší defektoskopická kontrola. Abychom mohli VK použít, je zapotřebí dobré osvětlení a zrak pozorujícího a v některých případech vhodná povrchová úprava. VK lze dělit na:

- Přímou kontrolu – kontrola okem nebo lupou.
- Nepřímou kontrolou – kontrola endoskopy, periskopy a televizními kamerami, které slouží zejména pro pozorování dutin.

3.2 Měření, vážení

Rozměrová kontrola patří k běžným způsobům přejímky odlitků. Provádí se proměřením všech rozměrů a srovnání naměřených výsledků s výkresem. Mnohé slévárny provádí měření ručním orýsováním odlitku pomocí měřítek, mikrometrů, kalibrů a šablon. Stále se uplatňují modernější a složitější přístroje na bázi světelné nebo laserové optiky. Tyto souřadnicové měřicí přístroje, známe pod zkratkou CMM ve spojení s digitalizací a následným zpracováním naměřených hodnot a jejich porovnáním s 3D modelem (výkresem) jsou schopny vygenerovat protokol se zjištěnými odchylkami.

Měření drsnosti povrchu odlitku se ve slévárenství moc nevyskytuje. Měřidly pro tuto kontrolu jsou drsnoměry (laboratorní, přenosné a dílenské)

Stanovení hmotnosti odlitku se ve slévárenství používá pro stanovení výsledné ceny odlitku. SH souvisí s vadou číslo 140 „Nedodržení hmotnosti odlitku“. K měření se používají standardní váhy.

3.3 Defektoskopie

Každá defektoskopická metoda má přesně vymezenou oblast možností indikace určitého typu vady danou její fyzikální podstatou. Neexistuje univerzální metoda, která by umožňovala zjištění všech typů vad. Použití jednotlivých metod je v řadě případů rovněž limitováno daným druhem materiálu odlitku. Má-li být ve zkušební praxi zaručena dokonalá

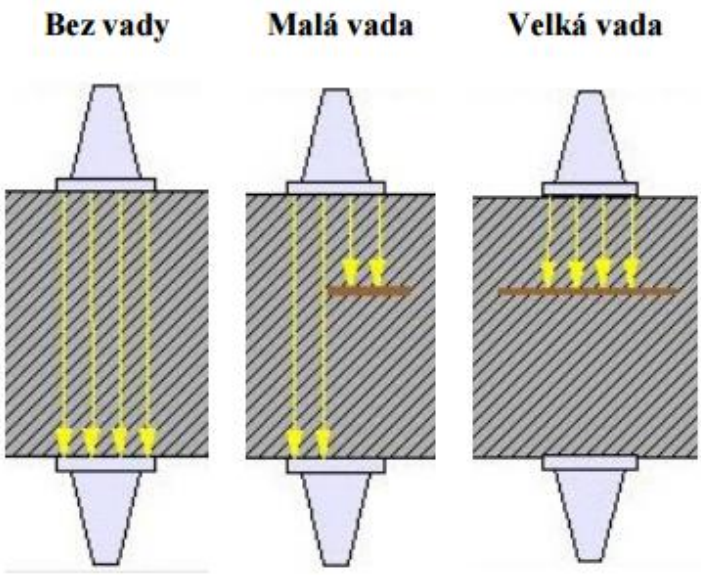
zjistitelnost předpokládaných vad, je nutno volit vhodnou metodu nebo kombinaci dvou i více metod, které se vzájemně doplňují.

Zvuková zkouška spočívá v poklepání na odlitek a odhadnutí „zdravého“ odlitku s odlitkem s poruchou souvislosti. Tato metoda není nejpřesnější a používá se spíše u jednodušších odlitků.

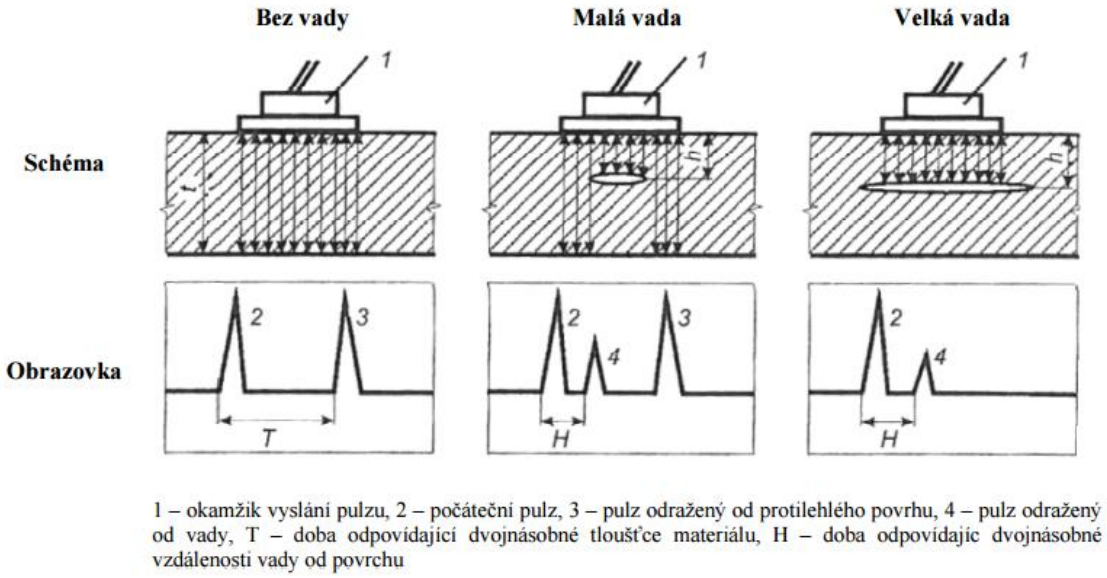
Ultrazvuková defektoskopie se dělí na čtyři základní defektoskopické ultrazvukové metody:

- Průchodová metoda
- Odrazová metoda
- Rezonanční metoda
- Metoda umožňující zviditelnění vnitřní vady

Nejpoužívanější jsou první dvě metody. **Průchodová metoda** měří hodnoty energie z ultrazvuku, která projde zkoumaným předmětem. Funguje na principu dvou ultrazvukových sond, z nichž jedna pracuje jako přijímač a druhá jako vysílač a jsou umístěny souose na protilehlých stěnách zkoumaného materiálu. Jestliže se v materiálu nachází vada, tak se za vadou vytvoří stín a do přijímače přichází menší hodnota energie. Porovnáním hodnot z průchodu energie neporušeným materiálem a vadným materiálem se zjišťuje vada. Tato metoda se používá zejména pro zkoušená materiálů menších tlouštěk. **Odrazová metoda** je nejpoužívanější. Ultrazvukové impulsy jsou vysílány do odlitku, které se odrážejí od povrchu předmětu a jeho vnitřních vad. Po odrazu v materiálu se ultrazvukové vlny vrátí na přijímač. Časový průběh se nám poté zobrazí na obrazovce přístroje.



Obrázek 1 Průchodová metoda



Obrázek 2 Odrazová metoda

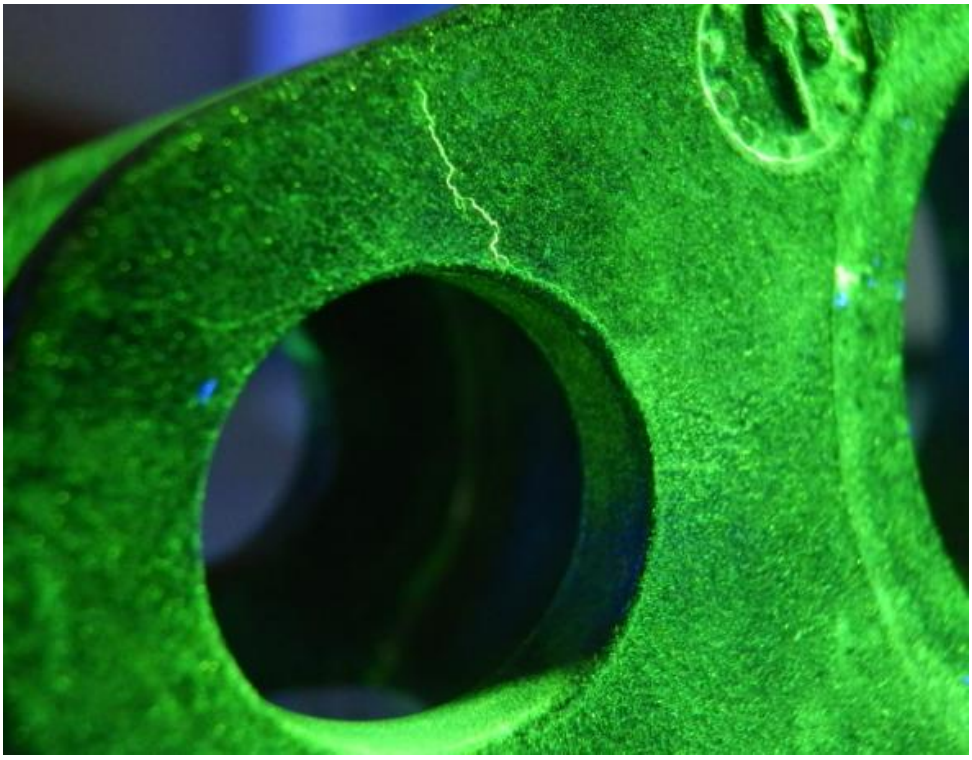
Radiologické zkoušky patří mezi zkoušky prozařování odlitků pronikavým zářením. Používá se rentgenové záření, gama záření a neutronové záření. Přístroje těchto záření jsou rentgeny, betatrony a radioizotopy. Po prozáření materiálu, přístroj rozpozná, zda je odlitek vadný, či nikoli. Tento jev je podložen základním zeslabovacím zákonem:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu\rho}$$

kde I_0 je intenzita dopadajícího záření, I je intenzita prošlého záření, μ je lineární zeslabovací součinitel a ρ je hustota zkoumaného materiálu.

Kapilární penetrační zkoušky se používají k zjišťování vad, které souvisejí s necelistvostí povrchů materiálů. Pokud je na povrchu odlitku vada, kapilárně aktivní kapalina pronikne do trhliny a zviditelní ji. Jako detekční kapaliny se používají takové kapaliny, které mají malé povrchové napětí, a tudíž dobře smáčejí povrch (např. petrolej nebo terpentýn). Rozlišujeme několik modifikací kapilárních zkoušek:

- Zkoušky s použitím detekční kapaliny chemicky pasivní
  a) Zkoušky barevnou kapalinou.
  b) Zkoušky fluorescenční kapalinou.
  c) Ostatní (např. olejová, petrolejová zkouška)
- Zkoušky s použitím kapaliny chemicky aktivní
  a) Zkouška leptací.



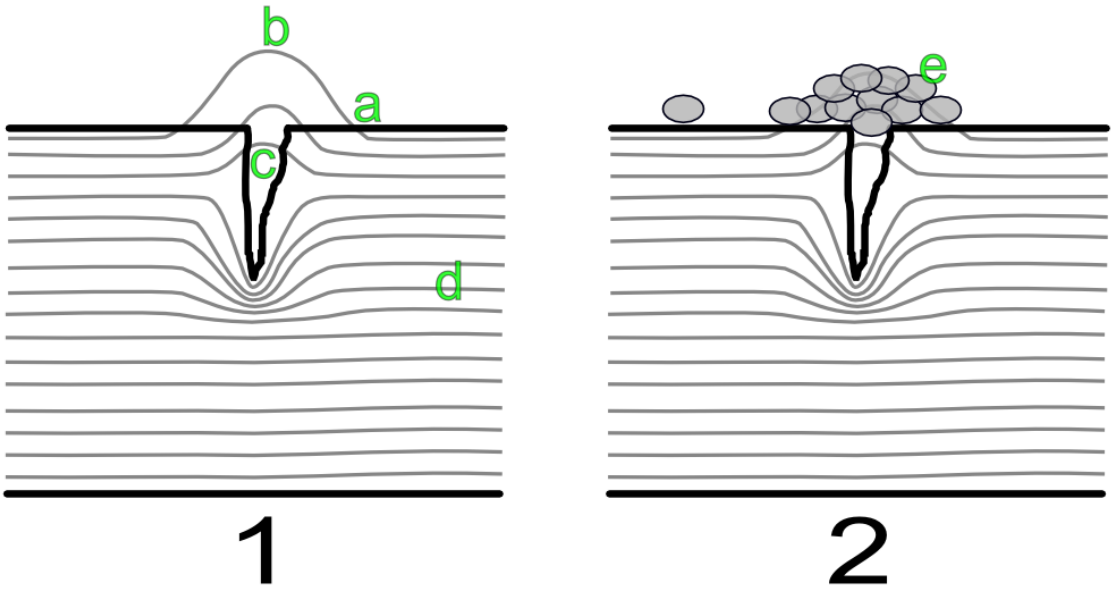
Obrázek 3 Kapilární zkouška

Elektromagnetické zkoušky jsou založené na magnetické a elektrické indukci, díky nimž zjišťujeme povrchové vady a vady těsně pod povrchem. Zkoušky dělíme na:

- Metody rozptylových toků (pouze pro feromagnetické materiály)
- Metody vířivých proudů

Tyto zkoušky se uplatňují zejména ve vstupní a výstupní kontrole odlitků. Jisté variace lze zcela automatizovat.

Magnetická prášková metoda je využívána pro magnetické materiály a je jednou z nejvíce rozšířených technik kontroly povrchů různých tvarů. Metoda je založena na rozložení siločar intenzity magnetického pole v okolí vady a následné identifikace pomocí detekčních zrn prostředku.



Obrázek 4 Magnetická prášková metoda

1 – Rozložení siločar

2 – Indikace tvořená zrnky detekčního prostředku

a – Magnetický pól – místo, kde siločáry vystupují z materiálu

b – Rozptylový magnetický tok – siločáry, které unikají ze základního materiálu

c – Vada

d – Siločáry magnetického pole

e – Indikace tvořená detekčním prostředkem

Zkoušky propustnosti (tlakování) odlitků se využívají k zjištění, zda odlitek těsní a nepropouští tlakové médium (plynné nebo kapalné). Pokud je odlitek propustný, znamená to, že jsou v něm vady (řediny, mikropórovitost). Princip spočívá v ponoření odlitku do nádoby s vodou nebo jinou kapalinou a vehnání vzduchu přes upínací přípravek do odlitku. Poté už jen pozorujeme, zda nepoklesl tlak a jestli vycházejí bublinky z místa vady.

3.4 Chemické rozbory

[1] Stanovení chemického složení materiálu umožňuje především kontrolu:

- Průběhu tavebního pochodu
- Dodržení předepsaného rozmezí jednotlivých prvků podle požadavků příslušných materiálových listů. Ke stanovení chemického složení se nejčastěji používají dvě základní analytické metody:
    - KCHA „mokrá“.
    - Spektrální analýza.

KCHA umožňuje stanovení obsahu všech základních a doprovodných prvků, které se ve slitinách vyskytují. Analytické hodnoty rozboru lze považovat za směrodatné jen tehdy, jestliže byl vzorek odebrán a připraven v souladu s normami. Vzorkování sestává z odběru vzorku, čímž vzniká hrubý vzorek, který se dále zpracovává na vzorek jemný, analytický.

Hlavní nevýhodou KCHA je značná pracnost a poměrně velká časová náročnost. Tyto nevýhody odstraňuje spektrální analýza využívající fyzikálních metod založených na elektrickém vyhodnocení intenzity vybrané spektrální čáry analyzovaného prvku. Přístroje, které se používají ve slévárenství, se nazývají automatické spektrometry (někdy kvantometry). Dělí se na:

- Optické emisní
- Rentgenové

Optické emisní spektrometry analyzují světelné spektrum, kterým se rozumí soubor elektromagnetického záření emitovaného parami daného vzorku. Při vlastní analýze vzniká výboj mezi vzorkem a stříbrnou nebo wolframovou elektrodou a malý podíl analyzovaného vzorku se vypaří. Část odpařených atomů je uvedena do excitovaného stavu a emituje světlo. Světelný paprsek prochází spektrometrem a je rozložen podle vlnových délek. Vhodné spektrální čáry každého prvku (podle intenzity a polohy ve spektru) jsou izolovány výstupní štěrbinou. Světelný paprsek dopadá na fotonásobič, kde se světelná energie mění na elektrickou, kterou se nabíjí kondenzátor. Napětí kondenzátoru je mírou koncentrace analyzovaného prvku.

Rentgenová spektrální analýza využívá poznatku, že rentgenové záření, které vzniká působením vnější energie při přeskocích elektronů mezi různými energetickými hladinami v atomech má pro každý prvek charakteristickou vlnovou délku. Jeho intenzita je současně úměrná kvantitativnímu složení analyzovaného vzorku. Z analyzovaného vzorku vystupuje polychromatické záření, jehož intenzitu nelze přímo měřit. Jednotlivé speciální čáry se oddělí od ostatních pomocí upravených monokrystalů různých látek [2].

Stanovení obsahu plynů v kovu, kterými jsou vodík, dusík a kyslík probíhá vesměs podobně. Pomocí extrakce v proudu nosného plynu (argon u vodíku, helium u dusíku a kyslíku) stanovíme daný obsah plynů v kovu. Kyslík lze analyzovat v pevných vzorcích, dusík lze rozpoznat i z třísek. Obsah vodíku se rozpoznává nejsložitěji. Vzorek je zapotřebí nejprve odmastit, očistit a zahřát na okolní teplotu, poté se může dále zpracovávat. Vodík se nejčastěji analyzuje v pevných vzorcích kruhového průřezu o průměru 6 až 12 mm. [1] Při volbě rozměru vzorku je třeba mít na paměti, že rychlost uvolňování vodíku u vzorků vzrůstá s teplotou, se zmenšením průměru vzorku a nárůstem obsahu vodíku.

Princip **rentgenové spektrální mikroanalýzy** spočívá v analýze charakteristického rentgenového záření, které je vybuzeno dopadem elektronového svazku u těch prvků v povrchové vrstvě vzorku, jejichž excitační potenciál je nižší než použité urychlovací napětí svazku [1]. RZ se zpracovává dvěma způsoby:

a) Selekcí podle vlnových délek RZ – volně disperzní analýza.
b) Selekcí podle energie rentgenových kvant – energiově disperzní analýza.

Přístroje, elektronové mikroanalyzátory („mikrosondy“) využívající buď prvního, nebo druhého způsobu zpracování signálu rentgenového záření se odlišují jak konstrukcí, tak i metodikou analýzy. Mikroanalyzátory vlnově disperzního typu mají konstrukčně složité rentgenové spektrometry, způsob měření je z mechanického hlediska složitější, měření pomalejší, avšak dosahuje se přesnějších a reprodukovatelnějších výsledků. Ve srovnání s tím jsou mikroanalyzátory energiově disperzního typu rozměrově menší, způsob měření je rychlý a ve značné míře automatizován, avšak výsledky nejsou tak přesné a reprodukovatelné jako u přístrojů disperzního typu. Pokud jde o základní druhy a možnosti analýz, jsou oba typy mikroanalyzátorů navzájem srovnatelné [1].

Metody určování fázového složení využívají Braggovu rovnici, která popisuje odraz monochromatického záření do soustavy rovnoběžných atomových rovin. [1] Metody rentgenové difrakce umožňují stanovovat také veličiny, které souvisejí s pružnými a plastickými deformacemi krystalové struktury a s jejími poruchami. Kromě mřížkových parametrů měřeného polykomponentního systému je to velikost zbytkových pnutí, hustota dislokací, četnost vrstevných poruch, hodnoty koncentrací intersticiálů v tuhém roztoku zakalených ocelí (martenzitu) a další parametry. Metoda nachází uplatnění i při měření fázového složení formovacích hmot a jeho změn během lití a chladnutí odlitků.

3.5 Strukturní rozbory

Fraktografie vychází ze snímku lomové plochy a analyzuje morfologii lomových ploch materiálu. Při malém zvětšení se jedná o makrografii, při velkém o mikrofraktografii. Fraktografie slouží k identifikaci příčiny vad a porušování materiálů a také vyhodnocuje složité případy diagnostiky vad a poruch.

Další z metod světelné mikroskopie zkoumané při malém zvětšení je **stanovení makrostruktury**. Pomocí této metody se zkoumají vady, které jsou viditelné na hranici lidského oka. Vady, které se pojí s touto metodou, jsou např.: 443 (Řediny) a skupiny vad 610 (Mikroskopické dutiny) na binokulárním mikroskopu při zvětšení 10-20x.

Metody a techniky **stanovení mikrostruktury světelnou mikroskopií** náleží k nejčastěji používaným experimentálním doplňujícím metodám, hledáme-li příčiny vad [3]. Touto metodou můžeme pozorovat např.: vměstky, mikroředíny, mikrostaženiny a jiné. Princip spočívá v přebroušení povrchu brusnými papíry za mokra, následným mechanickým leštěním s použitím diamantových past a poté zkoumáme vzniklé výbrusy na odlitku. K pozorování struktury je třeba vyvolat strukturní reliéf vhodnými činidly. Výbrusy se pozorují v odraženém světle a to buď ve světlém, nebo tmavém poli [1].

Elektronová mikroskopie funguje jako světelný mikroskop, jen s vyšší hloubkou ostrosti a díky tomu získáváme řádově větší rozlišovací schopnost a tím i lepší vykreslení detailů. Přístroje jsou transmisní, řádkovací nebo rastrovací mikroskopy.

3.6 Rozbor vlastností materiálu

Stanovení mechanických vlastností je nezbytnou součástí výrobního procesu, ale i kontroly kvality vyrobených slitin a odlitků. Zkoušky mechanických vlastností se všeobecně dělí:

a) Podle stavu napjatosti (při jednoosém a vícerém stavu napjatosti).
b) Podle způsobu zatěžování (zkoušky tahem, tlakem, ohybem, krutem, střihem).
c) Podle časového průběhu zatěžovací síly (zkoušky statické a dynamické).
d) Podle účinku zatěžování na zkušební těleso.

Základními zkouškami mechanických vlastností jsou zkoušky tahem, zkoušky tvrdosti, zkoušky vrubové houževnatosti a lomové houževnatosti.

Stanovení fyzikálních vlastností se používá u odlitků se specifickými vlastnostmi. Patří sem zvýšená odolnost proti korozi, magnetické vlastnosti, stálost za zvýšené teploty, požadavky na tepelnou a elektrickou vodivost, zvýšená odolnost vůči otěru apod. Fyzikální vlastnosti se zkoumají v případě požadavků zákazníka [1].

4 Třídy vad

4.1 Třída vad 100

Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti

Vady zařazené do třídy 100 jsou snadno určitelné vizuálně pozorováním odlitku, jeho porovnáním s etalony, měřením a vážením. Jsou rozděleny do čtyř skupin a obsahují celkem 15 vad. Ve skupině 110 – chybějící části odlitku bez lomu se vyskytuje 7 vad, což je značný rozsah proti jiným klasifikacím. Jedná se však o v praxi velmi často se vyskytující případy, které bývají označovány jako „mechanické poškození odlitku“. Použitím názvů vad z této skupiny můžeme jednoznačně určit původce vzniku vady.

Téměř jedna třetina celkové zmetkovitosti ve slévárnách slitin železa je zapříčiněna právě těmito vadami, nicméně tato skutečnost je mnohdy podceňována a slévárny řeší přednostně vady z jiných tříd, zejména dutiny, trhliny, zadrobeniny aj.

4.2 Třída vad 200

Vady povrchu

[4] Vady povrchu jsou podle podílu na celkové zmetkovitosti až na čtvrtém místě v pořadí. Kdybychom však měli k dispozici přehled o nákladech na opravu odlitků, byla by tato třída na předním místě. Vady třídy 200 jsou totiž ve většině případů vady odstranitelné. Odstraňování vad této třídy je však velmi pracné a nákladné.

Z těchto důvodů bylo do této třídy zařazeno nejvíce vad. Je zde 8 skupin s 23 vadami. V převážné většině to jsou vady vzhledu odlitku, které neovlivňují životnost součástí a záleží na odběrateli, zda je ochoten je tolerovat a v jakém rozsahu.

4.3 Třída vad 300

Porušení souvislosti

Třída 300 je třída s druhým nejmenším počtem vad. Jedná se převážně o nepřípustné a neopravitelné vady. Trhliny a praskliny vznikají v důsledku pochodů probíhajících v odlitku během jeho ochlazování a jsou výsledkem nerovnoměrného smršťování odlitků a vzniku napětí [1].

Hlavními skupinami vad jsou Trhliny a praskliny. Trhlina je okem viditelné natržení nebo roztržení odlitku, které je charakteristické svým křivolakým průběhem a zoxidovaným povrchem. Trhlina probíhá po hranici primárně krystalizovaných zrn při vysokých teplotách v blízkosti solidu, kdy je rozhraní zrn méně pevné nežli vlastní zrno. Nižší pevnost rozhraní při vysokých teplotách je způsobena segregací složek s nižším bodem tání. Proto je průběh trhliny (na rozdíl od praskliny) křivolaký. Kinetika vzniku trhliny je mimořádně složitá především proto, že probíhá v průběhu tuhnutí a krátce po ztuhnutí odlitku, kdy je tažnost a pevnost materiálu ještě velice nízká a kdy relativně malá síly mohou vyvolat tržení odlitku.

Prasklina je rovné nebo mírně zakřivené roztržení (prasknutí) stěny odlitku, vzniklé při nízkých teplotách, při nichž má slitina pružné deformace. Praskliny vznikají pod účinkem napětí v odlitku, která jsou při chladnutí důsledkem velkých rozdílů teplot jednotlivých částí odlitku, nebo časově posunutých strukturních (fázových) přeměn v různých částech odlitku. Praskliny mohou vzniknout, chladne-li odlitek v příliš tuhé, nepoddajné formě, jež mu brání ve smršťování, během vytloukání nebo po předčasnému vyjmutí odlitků z formy.

4.4 Třída vad 400

Dutiny

Dutiny mají vliv na celkovou zmetkovitost sléváren oceli i litiny s lupínkovým grafitem z jedné pětiny. Tato třída je v pořadí třetí dle četnosti výskytu vad, hned za vměstky a vadami tvaru, rozměrů a hmotnosti. Tyto tři třídy tvoří téměř 80 % všech vad odlitků ve slévárnách slitin železa.

Dutiny jsou vady poměrně snadno zjistitelné prohlídkou odlitku nebo nedestruktivní kontrolou [1]. Odlitky s těmito vadami jsou většinou neopravitelné.

Vady třídy 400 jsou způsobeny přítomností plynů v kovech a ve formě a objemovými změnami při tuhnutí kovu [4]. Jen s dokonalou znalostí slévárenských pochodů, metalurgie tavení a úpravy tekutého kovu a také technologie formovacích materiálů je možné pochopit mechanismus vzniku vad třídy 400.

4.5 Třída vad 500

Makroskopické vměstky a vady makrostruktury

Do této třídy řadíme nejobtížněji identifikovatelné vady. Největší část z toho činí zadrobeniny, které jsou nejčastější vadou vůbec. Mezi zadrobeniny se však dříve řadila i sekundární struskovitost, rozplavený písek, odpadnutý nátěr, eroze, odření, shrnutí [1]. Nyní jsou tyto vady uváděny samostatně. Některé jsou zařazeny do této třídy, jiné do třídy 200.

Tato třída se jmenuje Makroskopické vměstky proto, aby bylo jasné, že sem nepatří mikroskopické vměstky (ty řadíme do třídy 600). Byla vytvořena samostatná skupina vad, která zahrnuje segregace a vycezeniny [1]. Zařazení vycezenin známých z odlévání ingotů mezi vady odlitků je novinkou vzhledem k dosud známým klasifikacím [1].

4.6 Třída vad 600

Vady mikrostruktury

Vady mikrostruktury se dělí na osm skupin, z nichž jen jediná (610) zahrnuje tři vady. Množství výskytu vad této třídy je ve slévárnách u litin s lupínkovým grafitem značně vyšší než ve slévárnách oceli. Převážně se jedná o odchylkami od norem a sjednaných technických podmínek (neshody) a nikoliv o vady v pravém slova smyslu [4]. Průvodním znakem litého stavu jsou mikroskopické dutiny, vměstky, oduhličení povrchu a jiné vady. K určení vad třídy 600 jsou nutné metalografické strukturní rozbory.

4.7 Třída vad 700

Vady chemického složení a vlastností odlitků

Tato vada obsahuje pouze 4 skupiny. Ty se dále nedělí a představují jen čtyři jednotlivé vady. Jsou to výhradně odchylky (neshody) od norem a sjednaných technických podmínek [4].

5 Návrh průběhu hodiny

Studenti dorazí do učebny, s vytištěnými pracovními listy, které jsou volně ke stažení na stránkách Ústavu strojírenské technologie (12133). Na začátku hodiny sdělí přednášející studentům téma a stanoví cíl vyučovací hodiny. Následně popíše princip a činnosti ve slévárně a seznámí studenty s postupy při kontrole vad odlitků. Vady může názorně ukázat na odlitcích dostupných v učebně. Na tuto část hodiny by mělo připadnout zhruba 10 minut.

Následně vyučující spustí prezentaci, která se blíže zaměřuje na problematiku vad odlitků. Studenti během výkladu budou vyplňovat pracovní listy, dle informacích z prezentace. Zde studenti určí třídu, skupinu a druh vad jejich konkrétního odlitku, který jim byl přidělen na začátku hodiny. K tomu mohou použít také katalog vad. Dále rozhodnou, co vady způsobilo a nakreslí jejich schéma. Na základě výkladu vyučujícího doplní postup zjištění vady a způsob odstranění vady.

V závěru hodiny vyučující zkontroluje studentům pracovní listy. Ti je pak budou moci využít při přípravě ke zkouškám.

5.1 Náhled pracovního listu

Pracovní list

vady odlitků

	Vada č. 1	Vada č. 2	Vada č. 3
Jedná se o vadu (třída):			
Jedná se o vadu (skupina):			
Jedná se o vadu (druh):			
Co způsobuje vadu:			

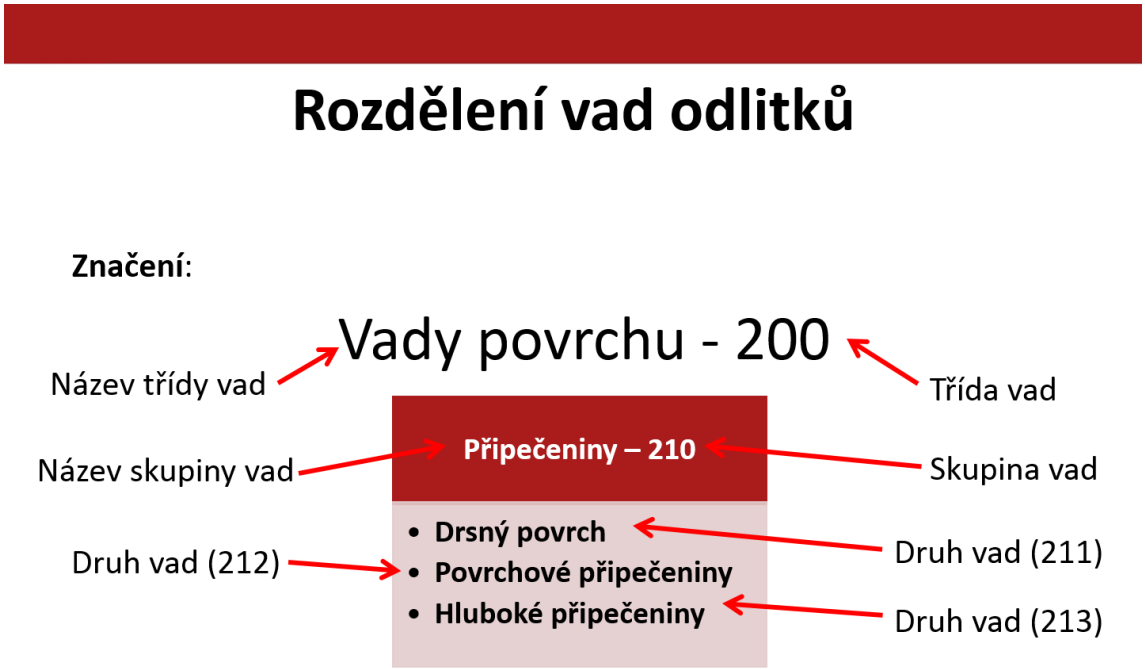
Obrázek 5 Náhled pracovního listu

5.2 Výklad prezentace

Vyučujícímu prezentace poslouží, jako osnova, o kterou opře svůj vlastní výklad. Má k dispozici 35 snímků s přehledně uspořádanou látkou, doplněnou obrázky a video ukázkami. Do výkladu by měl zahrnout identifikaci, rozdělení, způsoby a postup zjišťovaní vad odlitků. Dále by mohl zmínit prevenci a způsoby odstranění vad. Celková předpokládaná doba prezentace je 60 minut.

5.2.1 Značení tabulek

U každé tabulky je uvedeno, o jakou vadu se jedná (její třída, skupina a druh). Jednotlivé druhy jsou uspořádány dle jejich číselného pořadí sestupně.



Obrázek 6 Značení tabulek

5.2.2 Tabulkové rozdělení vad

Na snímku prezentace je vždy přehledně popsána jedna určitá třída, která je dále rozdělena na další skupiny a druhy.

Obrázek 7 Tabulkové rozložení vad

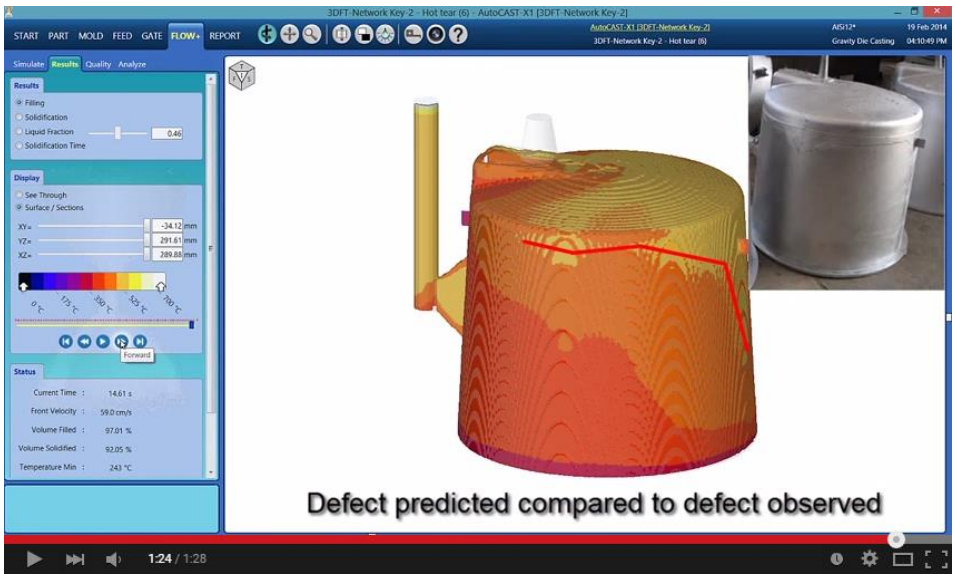
5.2.3 Rozmístění obrázků

Obrázky jsou označeny šipkou, která přesně ukazuje a pojmenovává vadu. Obrázky jsou doplněny textem, který popisuje možnou příčinu vady.

Obrázek 8 Rozmístění obrázků

5.2.4 Videa

Prezentace je doplněna video ukázkami, které názorně ukazují vznik vad odlitků.



Obrázek 9 Náhled videa

5.2.5 Rozdělení způsobů a postupů vad odlitků

V prezentaci je také uvedeno přehledné rozdělení způsobů a postupů zjišťování vad odlitků.

Obrázek 10 Rozdělení způsobů a postupů vad odlitků

6 Závěr

Prezentace vad odlitků je značným přínosem pro studenty, neboť si mohou vytvořit lepší představu o problematice vad odlitků. Díky pracovním listům si studenti mohou vyzkoušet určování vady odlitku na konkrétním odlitku, což někteří z nich mohou v budoucnu uplatnit v praxi.

Cílem bakalářské práce bylo zefektivnit a obohatit výuku pomocí vhodné prezentace. Celkový rozsah řešené problematiky značně přesahuje možnosti kompletního zpracování v jedné bakalářské práci. Zaměřil jsem se proto na základy daného tématu. Prezentace slouží jako osnova, která k dosažení efektivního výsledku vyžaduje doplňující výklad vyučujícího. Fakta jsou v prezentaci uvedena přehledně a systematicky. Využití grafických efektů napomáhá k udržení pozornosti studentů a obohacuje hodinu o interaktivní prvky.

Tvoření prezentace vad odlitků k podpoře výuky zefektivní výuku a usnadní předávání znalostí studentům. Psaní bakalářské práce mi pomohlo uvědomit si, že jsem dosud značně podceňoval tvoření prezentací, tak aby byly přehledné a ucelené nejen pro mě, ale i pro ostatní posluchače. Díky této zkušenosti jsem se zdokonalil v tvorbě prezentací a prohloubil jsem si znalosti ze slévárenství, které je velice obsáhlým vědním oborem a výrobě odlitků vysoké kvality a spolehlivost, které je neméně náročné a složité. I v této době občas stojíme nad vadným odlitkem bez jednoznačného návodu na řešení. Je tomu tak především proto, že vznik většiny slévárenským vad je ovlivněn mnoha proměnnými faktory. Ve slévárnám tak dosud převládá zkušenost a praxe nad jednoznačným řešením.

Pokud bych pokračoval ve své bakalářské práci, zaměřil bych se na informace přímo ze sléváren, kde mají s odlitky zkušeností získané přímo z praxe.

7 Seznam použité literatury

[1] ELBEL, Tomáš. *Diagnostika a řízení kvality odlitků: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014, 179 s. ISBN 978-80-248-3584-6.

[2] MOUČKA, J. et al.: *Kvantometrická analýza*. SNTL Praha, 1979.

[3] PTÁČEK, J. et al.: *Nauka o materiálu I*, Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2001.

[4] ELBEL, T. et al.: *Vady odlitků ze slitin železa*, Matecs, Brno. 1992.

Zdroje použité k vytvoření prezentace:

Literární zdroje:

[1] ELBEL, Tomáš. *Vady odlitků ze slitin železa: (klasifikace, příčiny a prevence)*. 1. vyd. Brno: MATECS, 1992, 332 s.

[2] PŘIBYL, Josef. *Vady ocelových odlitků: určeno stř. a vyš. technickým kádrům ve slévárnách oceli*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956, 326, [1] s.

Internetové zdroje:

[1] Oficiální stránky The American Foundry Society [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 – 16]. Dostupné z WWW: http://www.afsinc.org/content.cfm?ItemNumber=6944

[2] Oficiální stránky automobilových dílů [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 – 16]. Dostupné z WWW: http://www.mdcomponents.cz/CZ/hloupinek_podpora_index.html

[3] Oficiální stránky tuningu automobilů Škoda [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 – 06]. Dostupné z WWW: http://www.cimbu.cz/index.php?page=whole&lng=cze&item=17

[4] Oficiální stránky The American Foundry Society [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 – 16]. Dostupné z WWW: http://www.afsinc.org/content.cfm?ItemNumber=6944

[5] Encyklopedie o odlitcích [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 -16]. Dostupné z WWW: http://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/?tx_contagged%5Bsource%5D=default&tx_contagged%5Buid%5D=3866&cHash=b09b13f5bfdde589f1b009dfd372eeb5

[6] Oficiální stránky vybavení a software pro firmy [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 – 16]. Dostupné z WWW: http://www.hotflo.com/defect-diagnosis/shrinkage-porosity.html

[7] Oficiální stránka vydavatelství technické literatury [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 – 16]. Dostupné z WWW: http://www.intechopen.com/books/science-and-technology-of-casting-processes/segregation-of-p-in-sub-rapid-solidified-steels

[8] Lakshminarayanan, A., Google drive na PDF, [online] 2015 [cit. 2015 – 04 – 16]. Dostupné z WWW:https://dca13d00a675f255e4d75145ccca85da6f5067de.googledrive.com/host/0B3G21MbFQqR7RUxWTWs5a0JJelk/mech/3/ME2201%20Manufacturing%20Technology%20I/Lecture_9.pdf

[9] Oficiální stránky Manufacturing Profitability Through Materials Testing [online]. 2015 [cit. 2015 – 04 – 16]. Dostupné z WWW: http://metassoc.com/site/services/scanning-electron-microscopy/sem-eds-application-examples/

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 Průchodová metoda 9
Obrázek 2 Odrazová metoda 9
Obrázek 3 Kapilární zkouška 10
Obrázek 4 Magnetická prášková metoda 11
Obrázek 5 Náhled pracovního listu 20
Obrázek 6 Značení tabulek 21
Obrázek 7 Tabulkové rozložení vad 22
Obrázek 8 Rozmístění obrázků 23
Obrázek 9 Náhled videa 23
Obrázek 10 Rozdělení způsobů a postupů vad odlitků 24

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Způsoby zjišťování vad odlitků 6
Tabulka 2 Rozdělení vad odlitků 31

10 Seznam příloh

Příloha A	Tabulka 2 Rozdělení vad odlitků
Příloha B	Příloha na CD - Pracovní list
Příloha C	Příloha na CD – Prezentace vad odlitků k podpoře výuky
Příloha D	Příloha na CD - Video 1 – Hot Tear Defect Zdroj: Youtube – E-Foundry IITBombay Oficiální stránky YouTube [online]. 2015 [cit. 2015 – 05 – 18]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=25nsvOSm794
Příloha E	Příloha na CD - Video 2 – Shrinkage Porosity Zdroj: Youtube – E-Foundry IITBombay Oficiální stránky YouTube [online]. 2015 [cit. 2015 – 05 – 18]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=zetn0J7I1Xo

10.1 Příloha A

Tabulka 2 Rozdělení vad odlitků

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

300	Porušení souvislosti	310	Trhliny	311 312 313	Povrchové trhliny Podpovrchové trhliny Vnitřní trhliny
		320	Praskliny		
		330	Porušení souvislosti z důvodu mechanického poškození odlitku	331 332	Lom za tepla Lom za studena
		340	Porušení souvislosti z důvodu nespojení kovu	341 342	Zavaleniny Nedokonalý svar
400	Dutiny	410	Bubliny	411 412 413 414 415	Bubliny způsobené kyslíkem Bubliny způsobené vodíkem Bubliny způsobené dusíkem Zahlcený plyn Sítkové bubliny
		420	Bodliny		
		430	Odvařeniny	431 432 433	Odvařeniny od formy, jádra Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů Odvařeniny od vměstků
		440	Staženiny	441 442 443 444 445 446	Otevřené staženiny Vnitřní, uzavřené staženiny Řediny Staženiny od jader nebo ostrých hran formy Povrchové propadliny Plynové staženiny
500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	510	Struskovitost	511 512	Struskovitost exogenní Sekundární struskovitost
		520	Nekovové vměstky	521 522 523 524 525 526	Zadrobeniny Rozplavený písek Odpadnutý nátěr Oxidické pleny Grafitové pleny Černé skvrny
		530	Makrosegregace a vycezeniny	531 532 533 534	Gravitační odmíšení Makroodmíšení Stvolové vycezeniny Mezerové vycezeniny
		540	Broky		
		550	Kovové vměstky		
		560	Nevyhovující lom		

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