

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

ÚSTAV MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**VLIV KVALITY ODLÉVÁNÍ A TEPELNÉHO
ZPRACOVÁNÍ NA VLASTNOSTI ODLITKŮ**

**Lucie
Konopíková**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Konopíková** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **492678**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav materiálového inženýrství**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv kvality odlévání a tepelného zpracování na vlastnosti odlitků

Název bakalářské práce anglicky:

Influence of casting quality and heat treatment on the properties of castings

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je posoudit vliv vad po odlévání na tepelné zpracování odlitků.

1. Literární rešerše problematiky odlévání a tepelného zpracování odlitků.
2. Návrh metodiky experimentů.
3. Provedení experimentů.
4. Diskuse a závěry.

Seznam doporučené literatury:

- [1] NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. Teorie slévání. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1.
[2] ORTEGA-CUBILLOS, Patricia, Pedro Amedeo NANNETTI-BERNARDINI, Marcio CELSO-FREDEL a Rogério ANTONIO CAMPOS. Wear resistance of high chromium white cast iron for coal grinding rolls. Revista Facultad de Ingeniería. 2015, (76), 134-142. ISSN 0120-6230.
[3] ČSN 42 0961. Slévárenství – Otěruvzdorné litiny Praha: Český normalizační institut, 2011.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Elena Čížmárová, Ph.D. ústav materiálového inženýrství FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **31.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Elena Čížmárová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis

Anotace

Bakalářská práce se v teoretické části zabývá stručným popisem běžných druhů litin a jejich tepelným zpracováním. V praktické části je vyhodnocována mikrostruktura a vady 3F1 litiny po odlití, po žíhání, kalení a popouštění.

Klíčová slova

litiny, tepelné zpracování litin, vady odlitků, mikrostruktura litin

Annotation

The bachelor thesis deals in the theoretical part in brief description of common types of cast iron and their heat treatment. In the practical part, the microstructure the microstructure and defects of 3F1 cast iron are evaluated after casting, annealing, quenching and tempering.

Keywords

cast iron, heat treatment of cast iron, casting defects, microstructure of cast iron

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce Ing. Eleně Čižmárové, Ph.D. za konzultace a podnětné připomínky k tvorbě mé bakalářské práce

Obsah

Úvod.....	8
1 Teoretická část.....	9
1.1 Litiny	9
1.1.1 Cementitické litiny	10
1.1.2 Grafitické litiny.....	11
1.1.3 Tvrzená litina.....	13
1.1.4 Legované litiny	13
1.2 Výroba bílých legovaných litin.....	16
1.3 Tepelné zpracování bílých litin s vysokým obsahem chrómu	19
1.4 Vyhodnocování litin na odlitky	21
1.4.1 Nedestruktivní zkoušky	21
1.4.2 Destruktivní zkoušky	21
1.5 Vady odlitků	25
2 Experimentální část	29
2.1 Materiál použitý v experimentální části.....	30
2.2 Měření tvrdostí	32
2.3 Příprava vzorků	32
2.4 Vyhodnocení mikrostruktury.....	33
2.4.1 Vyhodnocení mikrostruktury neleptaných vzorků	34
2.4.2 Vyhodnocení mikrostruktury leptaných vzorků	36
Závěr	43
Citovaná literatura.....	44
Přílohy.....	45

Úvod

Počátky oboru slévárenství sahají až do let před naším letopočtem. Nicméně obor slévárenství významně ovlivnil vývoj lidstva především v 20. století. V druhé polovině 20. století bylo Československo na jednom z předních míst ve slévárenství. [1]

Slévárenství je odvětvím, kde se vyrábí součásti z roztaveného tekutého kovu, který může být ze slitin železa i slitin neželezných kovů. Odlévá se do forem různých druhů s možností vyrábět komplikované odlitky rozdílných tvarů a velikostí. Hmotnost odlitků se pohybuje od gramů až po desítky tun. [1] [2]

Výhodou slévárenské technologie je konkurenční schopnost k ostatním výrobním technologiím a materiálům. Odlitky mohou být v mnoha případech náhradou především tvářených dílů, což se týče specifických požadavků na pevnostní podmínky výrobku.

Nevýhodou slévání je četný vznik vad v odlitcích, který mohou vznikat během odlévání, tuhnutí, případně během následných úprav odlitků (např. odstraňování vtokové soustavy) nebo v průběhu tepelného zpracování, pokud je požadováno.

Experimentální část bakalářské práce se zabývá hodnocením kvality odlitků. Cílem práce bylo vyhodnocení mikrostruktury a zjištění přítomnosti vad na vzorcích. V práci je ve stručnosti popsán postup přípravy metalografických vzorků. Dále byly měřeny jejich tvrdosti dle Brinella.

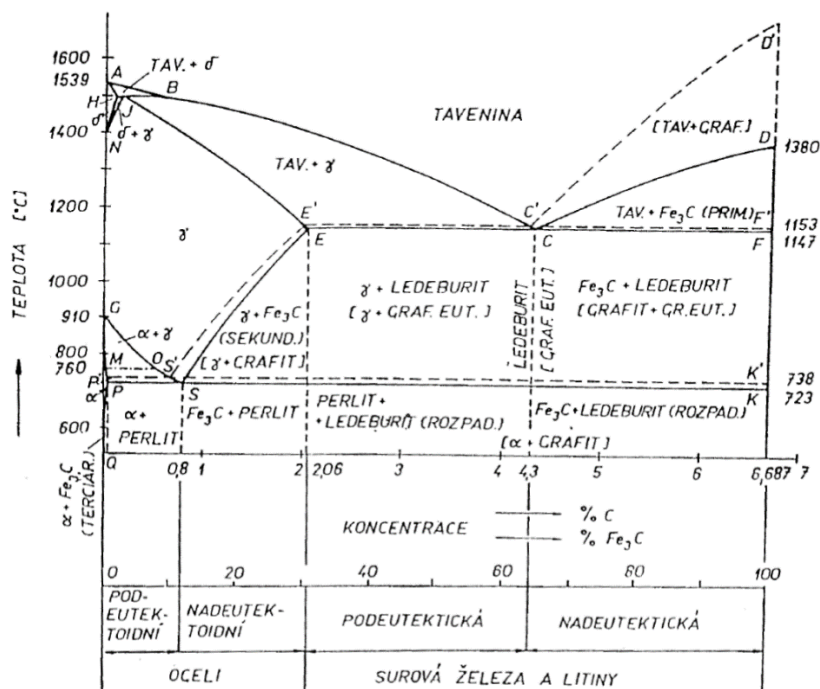
1 Teoretická část

1.1 Litiny

Litiny jsou slitiny železa, uhlíku a dalších prvků (Si, Mn, P, S atd.). Na rozdíl od ocelí je v litinách obsah uhlíku vyšší než jeho maximální rozpustnost v austenitu, ve struktuře vzniká eutektikum, obsah uhlíku je vyšší než 2,11 %. [3] [4] [5]

Ve slévárnách se litiny taví nejčastěji v kuplovnách, poté v elektrických indukčních pecích nebo v elektrických obloukových pecích. Litiny (tzv. vsázku) tvoří surové železo, ocelový odpad a vratný materiál slévárny. Součástí vsázky jsou přísady, které se přidávají v průběhu tavby. [3] [4] [5]

Základní dělení litin vychází ze způsobu vyloučení uhlíku v dané litině. V litinách krystalizujících podle stabilního diagramu Fe-C je uhlík převážně vyloučen ve formě grafitu a tyto litiny nazýváme grafitické. Pokud v litinách krystalizujících podle metastabilního diagramu Fe-Fe₃C je uhlík převážně vyloučen ve formě cementitu a tyto litiny nazýváme cementitické. [3] [4] [5]



Obr. 1 Diagramy Fe-C ----- Fe-Fe₃C - [3]

1.1.1 Cementitické litiny

Bílá litina

Bílé litiny tuhnou dle metastabilního diagramu, její struktura odpovídá metastabilní rovnováze soustavy Fe-Fe₃C. Struktura je tvořena ledeburitem, který je směsí eutektického a sekundárního cementitu a perlitu. Pódeutektické bílé litiny obsahují ve struktuře ledeburit a perlit, ten vzniká eutektoidním rozpadem austenitu. Vznik ledeburitu ovlivňují karbidotvorné prvky (Cr, Mn), příznivě ho ovlivňují při zvýšené množství, anebo při vyšší rychlosti tuhnutí. Křehkost a vysokou tvrdost způsobuje cementit ve struktuře, s vyšším obsahem cementitu ve struktuře roste tvrdost a křehkost. [4] [6]

Bílá litina se používá na tvarově jednoduché odlitky, její použití je ovlivněno špatnou obrobitelností a vysokou křehkostí. Na druhou stranu je bílá litina poměrně tvrdá s vysokou odolností proti opotřebení. Z tohoto důvodu se bílá litina využívá na mlecí koule, lopatky pískometů apod. [4] [6]

Z pódeutektické nelegované bílé litiny se vyrábí vhodným tepelným zpracováním temperovaná litina. [4] [6]

Litina k temperování

Temperovaná litina je vhodná pro středně namáhané odlitky menší hmotnosti (do několika kg), je pevná a houževnatá a dobře obrobitelná. [4] [6]

Temperovanou litinu lze získat z bílé litiny tepelným zpracováním, dlouhodobým vysokoteplotním žíháním. Během temperování dochází k rozpadu cementitu na grafit a ferit. Rozlišujeme dva druhy temperované litiny podle prostředí během temperování, a to litinu s černým anebo bílým lomem. [4] [6]

Struktura temperované litiny s černým lomem je feritická s temperovaným grafitem. Používá se na méně namáhané strojní součásti,

pokud se jedná o litiny s nižší pevností. Pokud litina má vyšší tažnost je vhodná pro odlitky, které najdou využití v automobilech nebo v zemědělských a textilních strojích. [4] [6]

Struktura tenkostěnných odlitků temperované litiny s bílým lomem je feritická nebo feritiko-perlitická. Pokud odlitek má větší tloušťku, struktura je tvořena feritem u povrchu odlitku a dále od povrchu je struktura feritiko-perlitická s temperovaným grafitem. Odlitky nacházející uplatnění např. v automobilovém a textilním průmyslu. [4] [6]

1.1.2 Grafitické litiny

Grafitické litiny tuhnou dle stabilního diagramu. Pokud u grafitických litin obsah Si je větší než 2%, uplatňuje se stabilní rovnováha soustavy Fe-C-Si. [4] [6]

Struktura je tvořena základní kovovou maticí, v níž je rozložen grafit (tzv. grafitický eutektikum). Vlastnosti záleží na tvaru, velikosti, množství a rozložení grafitu, a také záleží na druhu matrice, která může být perlitická, feritická nebo perliticko-feritická (jejich směs), také může být tvořena cementitem. Podle tvaru grafitu rozlišujeme několik různých litin (viz. Rozdělení grafitických litin dle tvaru grafitu). [4] [6]

Litina s perlitickou strukturou matrice, s rostoucím obsahem perlitu v matici se zvyšuje pevnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení a klesá platicita a houževnatost. [4] [6]

Litina s feritickou strukturou matrice, s rostoucím obsahem feritu s matici se projevuje snížením pevnosti a u litin se zrnitým a vločkovým grafitem zvýšením plasticity a houževnatosti. [4] [6]

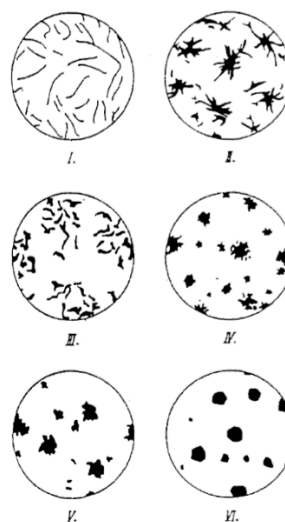
Cementit je v grafitických litinách nežádoucí fází, neboť zvyšuje jejich tvrdost, křehkost a zhoršuje obrobiteľnosť. [4] [6]

Rozdělení grafitických litin dle tvaru grafitu

Dle normy ČSN EN ISO 945 se dělí tvar grafitu do 6 tříd dle vyloučeného grafitu v základní kovové matici (viz. obrázek 2). Třída 1 a 6 je žádoucí naopak třídy 2 až 5 jsou nežádoucí. [2]

Třídy:

1. Lupínkový grafit
2. Pavoučkový grafit
3. Červíkovitý grafit
4. Vločkový grafit
5. Nedokonale zrnitý grafit
6. Pravidelně zrnitý grafit

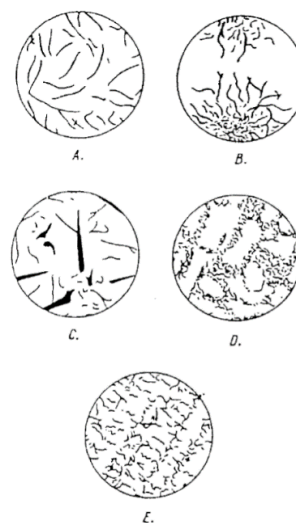


Obr. 2 Tvar grafitu [2]

Dle normy ČSN EN ISO 945 může být grafit ve struktuře rozložen rovnoměrně nebo nerovnoměrně a je hodnocen dle ethanolové řady. Dělí se do 5 tříd (viz. obrázek 3), přičemž rozložení A je neoptimálnější. Grafit v třídě A je rozložen rovnoměrně se stejnoměrnou velikostí. [2]

Třídy:

- A. Rovnoměrné rozložení
- B. Růžicovité
- C. Smíšené
- D. Mezidendritické neusměrněné
- E. Mezidendritické usměrněné



Obr. 3 Rozložení grafitu [2]

1.1.3 Tvrzená litina

Tvrzená litina je tzv. přechodovým typem litiny. Tvrzená litina obsahuje ve struktuře oba typy eutektika, grafitické i cementitické eutektikum. [4] [6]

Při výrobě tvrzené litiny se využívá vliv rychlosti ochlazování na velikost přechlazení. Cílem je dosáhnout dostatečné rychlosti ochlazování do určité hloubky od povrchu, aby došlo k potlačení tvorby grafitického eutektika, a naopak se podpořila tvorba cementitického eutektika. [4] [6]

Tvrzená litina má tvrdý povrch, odolný proti opotřebení a jádro je houževnaté. Litina se využívá na mlecí válce, železniční kola, součásti drtičů apod. [4] [6]

1.1.4 Legované litiny

Legované litiny mohou být na lomu bílé anebo šedé litiny. Liší se podle druhu a obsahu přísad a jejich vlivu na stabilitu cementitu ve struktuře. Dělí se podle jejich specifických vlastností na různé skupiny. [4] [6]

Grafitické litiny mají při nevhodném zvolení množství a legujících prvků sklon ke vzniku ledeburitického cementitu ve struktuře. Proto se volí legující přísady a jejich množství takové, aby nedošlo k ovlivnění tvorby grafitu. Legováním je snaha o získání optimální pevnost a houževnatost litin bez použití tepelného zpracování. Legování se ovlivňují i další vlastnosti než mechanické, jako jsou například fyzikální a chemické vlastnosti. [4] [6]

Rozdělení podle zlepšení mechanických vlastností:

- a) Mechanicko-technologické vlastnosti
- b) Vlastnosti za zvýšených teplot
- c) Koroziivzdornost

Legované bílé litiny mají uhlík ve struktuře vázán v cementitu nebo ve speciálních karbidech. Nejhlavnějšími legujícími prvky jsou u bílých litin Cr,

Mn, V, Mo a Ni. Těmito legujícími prvky je ovlivněna zejména odolnost proti opotřebení, korozivzdornost a požadované speciální vlastnosti jako je např. nemagnetické chování. [4] [6]

Rozdělení podle převažující přísady:

- a) Litiny legované hliníkem
- b) Litiny legované křemíkem
- c) Litiny legované chromem
- d) Litiny legované niklem

Litiny legované chromem

Litiny, které mají obsah uhlíku ve struktuře vyšší jak 2 až 3 %, tuhnou bílé. Dochází k vylučování uhlíku ve formě karbidů. Obsah chromu se v litinách pohybuje od 8% do 35%. [4] [6]

Litiny obsahují karbidické autektikum a jejich matrice může být perlitická, feritická, austenitická, martenzitická nebo bainitická. Druh vzniku matrice závisí na složení, rychlosti chladnutí a případně tepelném zpracování. [4] [6]

Ve struktuře dochází k nahrazení cementitu komplexními karbidy chromu. U litin s obsahem 15 % chromu ve struktuře je cementit plně nahrazen karbidy. [1]

Základní matrice s nízkým obsahem uhlíku a obsahem chromu od cca 20 % je zcela feritická. Pokud obsah uhlíku je vyšší je zapotřebí mít obsah chromu v litině až 30 %. Přidáním křemíku se podpoří tvorba feritu. [4] [6]

Nízkolegované chrómové litiny

Nízkolegované chromové litiny mají základní kovovou hmotu perlitickou. Litiny lze martenziticky kalit po přidání dalších přísad jako je nikl a molybden. [4]

Vysokolegované chromové litiny

U vysokolegované litiny obsahující 2,3 až 3,6 % uhlíku se obsah chromu pohybuje v rozmezí od 15 % do 20 %. Obsah uhlíku v litině ovlivňuje odolnost proti opotřebení a houževnatost. Vyšší obsah uhlíku zvyšuje odolnost proti opotřebení, naopak houževnatost litiny klesá. [4] [7]

Eutektické karbidy v litině uložené v martenzitické základní kovové hmotě, kterou získáváme tepelným zpracováním, jsou důvodem vysoké odolnosti proti opotřebení. Během kalení může dojít ke vzniku trhlin, aby se tomu předešlo, provádí se kalení na klidném místě nebo proudícím vzduchu. Po kalení obvykle následuje nízkoteplotní popouštění. [4] [7]

Vysokolegované chromové litiny mají vynikající odolnost proti otěru a účinně se používají při mletí uhlí, válcovnách, tryskacích zařízeních a součástech pro lomy, těžbu tvrdých hornin a mletí. V některých aplikacích musí být schopny odolat i silnému rázovému zatížení. [7] [8]

Tyto legované bílé litiny jsou uznávány jako nejlepší kombinací houževnatosti a odolnosti proti otěru, jaké lze mezi bílými litinami dosáhnout. U vysoce chromovaných litin, stejně jako u většiny otěruvzdorných materiálů, existuje kompromis mezi odolností proti opotřebení a odolností proti otěru a houževnatostí. Variací složení a tepelného zpracování lze tyto vlastnosti upravit tak, aby vyhovovaly potřebám odlitku. [7] [8]

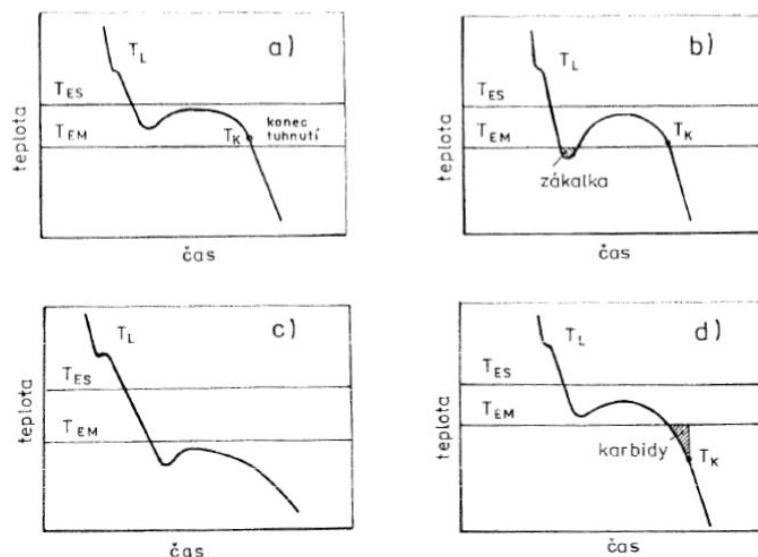
1.2 Výroba bílých legovaných litin

Tuhnutí

K tuhnutí eutektika dochází dvěma způsoby, buď podle stabilního nebo metastabilního systému. Teplota stabilního rovnovážného eutektika činí $1153\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{ES}) a metastabilního $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{EM}). Rozdíl eutektických teplot je 6°C . Rozdíl teplot je velmi malý, ale ovlivňuje spolu s podmínkami krystalizace, zdali litina bude tuhnout podle stabilního, metastabilního nebo zároveň podle obou systémů. [2] [3]

Bílá litina vzniká při teplotě ochlazování, kdy je přechlazení vůči stabilní teplotě T_{ES} pro růst grafitu nedostačující. Přechlazení je dostatečné vůči metastabilní teplotě T_{EM} a je tak dostačující pro růst karbidu ve struktuře. Tímto způsobem se dosáhne vzniku metastabilního eutektika (viz. obr 4 za c)). [2] [3]

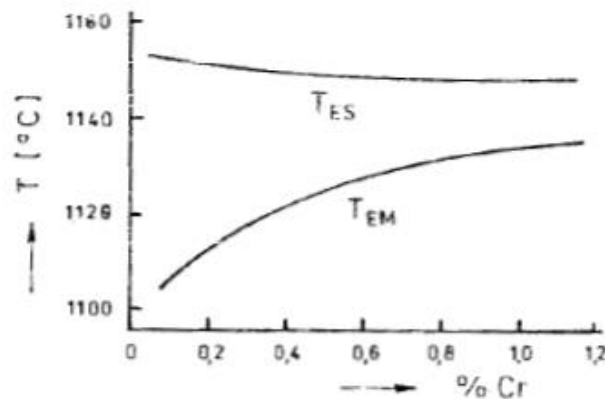
Křivky chladnutí, které mohou nastat:



Obr. 4 Interpretace způsobu tuhnutí pomocí křivek ochlazování: [2]

- Tuhnutí grafitické litiny
- Vznik přechlazené struktury
- Vznik karbidické litiny
- Vznik mezibuněčných karbidů

Rovnovážné eutektickou teplotu ovlivňují legující prvky a částečně i nečistoty. V obou systémech je jejich vliv jiná. Přičemž chrom tuto oblast zužuje a působí tak antigrafitizačně (viz obr. 5). [2] [3]



Obr. 5 Vliv chromu na hodnoty eutektické teploty [2]

Transformace austenitu přes kritickou teplotní oblast ovlivňuje výslednou strukturu základní kovové hmoty litiny. Základní kovová hmota v závislosti na druhu litiny může být feritická, směs perlitu a feritu nebo feritická. Struktury jako je martenzitická, austenitická nebo bainitická lze získat tepelným zpracováním. Vhodnou volbou legur a řízenou transformací austenitu lze získat požadovanou strukturu v litém stavu. [2] [3]

Feritickou výslednou strukturu lze získat při dostatečné délce ochlazování při průchodu transformační oblastí. Pokud rychlost ochlazování se bude zvyšovat, získáváme ve struktuře různé množství perlitu. Přísadovými prvky lze řídit množství feritu a perlitu. [2] [3]

Vysokých mechanických hodnot dosáhneme následným tepelným zpracováním doplněné případným legováním. Dochází k transformaci vedoucí k transformaci feritu a perlitu na další strukturální složky, jako je martenzit, bainit, austenit atd. [2] [3]

Vliv prvků

Vliv prvků přítomných v litině ovlivňuje během tuhnutí buď vylučování uhlíku ve formě karbidů nebo ve formě volného grafitu (viz obr. 6). [2] [3]

Mezi hlavní prvky v litině kromě železa patří uhlík, křemík, mangan, fosfor, síra a prvky, které se používají pro očkování litin. Prvky jako je nikl, chrom, molybden, cín a titan se přidávají do legovaných litin. Poté prvky, které jsou nežádoucí, jako je vanad, bor, antimon, olovo atd. Většinou tyto prvky jsou přítomny ve výchozí struktuře. [2] [3]

(+) ← Al, C, Si, Ti, Ni, Cu, P, Co, Zr, ←○→ Nb, W, Mn, Mo, S, Cr, V, Te, Mg, Ce, B → (-)

Obr. 6 Vliv jednotlivých prvků – prvky ležící uprostřed jsou neutrální, prvky ležící vlevo podporují grafitizaci, prvky ležící vpravo brání grafitizaci [3]

Prvky podporující tuhnutí dle metastabilního systému jsou Cr, V a B, ty na sebe vážou uhlík jako karbidy a prvky Mg a Ce naopak brání v krystalizaci uhlíku. Prvky, které neovlivňují vyloučení uhlíku během tuhnutí jsou Mn, Zn a W. Prvky, které podporují vylučování uhlíku ve formě volného grafitu jsou Ti, P, Ni, C, Si a B. [2] [3]

1.3 Tepelné zpracování bílých litin s vysokým obsahem chrómu

Optimálních vlastností se obvykle dosahuje u martenzitických struktur po tepelném zpracování. Aby se při tepelném zpracování dosáhlo mikrostruktury bez perlitu, odlitek musí být dostatečně legován. Je nezbytné, aby po tepelném zpracování byl odlitek ochlazován po kalení na vzduchu, aby nedocházelo k velkému vnitřnímu pnutí. Neměly by se používat rychlejší rychlosti ochlazování, protože může dojít ke vzniku trhlin v důsledku vysokých tepelných nebo transformačních napětí. Litina musí mít dostatečnou tvrdost, aby bylo možné po kalení ochlazování vzduchem. Nadměrné legování manganem, niklem a mědí podporuje zadržování austenitu, který snižuje odolnost proti otěru a opotřebení. Houževnatost a odolnost proti otěru se zvyšuje tepelným zpracováním na martenzitickou mikrostrukturu. [8]

Žíhání

Odlitky lze žíhat, aby byly lépe obrobitelné, a to buď žíháním bez překrytalizace nebo žíháním s překrytalizací. Žíhání bez překrytalizace se provádí perlitizací, zahřívají se v úzkém rozmezí teplot mezi 690 a 705 °C po dobu 4 až 12 h, čímž se dosáhne tvrdosti v rozmezí 400 až 450 HB. Nižší tvrdost lze často dosáhnout žíháním s překrytalizací, při kterém se odlitky zahřívají v rozmezí 955 až 1010 °C a následně se žíhají při teplotě pomalým ochlazením na 760 °C a udržováním při této teplotě po dobu 10 až 50 h v závislosti na složení. [8]

Žíhání nemá vliv na primární karbidy ani na možnost následného kalení. Výsledná struktura a vlastnosti závisí na výchozí struktuře a složení litiny. [8]

Kalení

Kalení odlitků z austenitizační teploty pod teplotu perlitu (tj. mezi 550 a 600 °C) se doporučuje. Následná rychlost ochlazování by měla být

podstatně snížena, aby se minimalizovalo vznik napětí v odlitku. Běžné je ochlazování na vzduchu nebo v peci na okolní teplotu. Složité a těžké profilové odlitky se často vkládají zpět do pece o teplotě 550 až 600 °C, kde se nechávají dostatečně dlouhou dobu pro dosažení rovnoměrné teploty uvnitř odlitku. Po vyrovnání teploty odlitky buď zůstávají v peci, nebo se ochlazují na vzduchu na teplotu okolí. [8]

Odlitky se mohou začít používat v kaleném stavu bez dalšího popouštění. [8]

Pokud byly odlitky tepelně zpracovány podkritickým žíháním, doporučuje se popouštění v rozsahu 200 až 230 °C po dobu 2 až 4 h pro obnovení houževnatosti martenzitické matrice a k dalšímu uvolnění zbytkových napětí. Mikrostruktura po kalení vždy obsahuje zbytkový austenit v rozsahu 10 až 30 %. Část zbytkového austenitu se přemění po popouštění při nízkých teplotách, ale pokud je problémem s odlupováním částí odlitku, lze použít popouštění při vyšších teplotách a dosáhnout dalšího snížení obsahu zbytkového austenitu. [8]

Popouštění

Popouštění se provádí zejména u velkých martenzitických odlitcích, aby se snížil obsah zbytkového austenitu a zvýšila odolnost proti odlupování částí odlitku. Popouštění je citlivé na čas a teplotu, aby došlo ke správnému odstranění zbytkového austenitu v matrici. Liší se v závislosti na složení odlitku a předchozím tepelném zpracování. Typické teploty popouštění se pohybují v rozmezí 480 až 540 °C a doba se pohybuje od 8 do 12 h. Nadměrná doba nebo teplota má za následek změknutí a drastické snížení odolnosti proti otěru. Nedostatečné popouštění vede k neúplnému odstranění austenitu. [8]

Množství zbytkového austenitu přítomného nelze stanovit metalograficky. [8]

1.4 Vyhodnocování litin na odlitky

Vlastnosti materiálu se vyhodnocují dle mechanických a technologických zkoušek. Zkouškami se ověřují vlastnosti a vhodnost daného materiálu. Vlastnosti se vyhodnocují na celém výrobku nebo na přídatku daného výrobku, nebo se vlastnosti mohou zkoušet na zkušebním vzorku, který byl odebrán z odlitku. U destruktivních zkoušek se nezkouší všechny výrobky, pouze vybraný. Tím nelze zajistit, že zjištěné vlastnosti budou na všech výrobcích stejné. Zatímco u nedestruktivních zkoušek lze zkoušet všechny výrobky, z důvodu, že nedochází k jejich porušení nebo znehodnocením zkoušením. [9]

1.4.1 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivním zkoušením lze nalézt nebo předpovědět možnosti vzniku vad, které se mohou vyskytnout při provozu. Při nedestruktivních zkouškách nedochází k porušení materiálu, jelikož se aplikují základní fyzikální principy, které neovlivňují mechanické vlastnosti materiálu a ani tepelně neovlivňují. [9]

Nedestruktivní zkoušky:

- 1) Zkoušky prozařovací
- 2) Zkoušky zvukem a ultrazvukem
- 3) Zkoušky magnetické a elektrické
- 4) Zkoušky kapilární

1.4.2 Destruktivní zkoušky

Metalografie

Struktura kovových materiálu významně ovlivňuje vlastnosti daného materiálu. Struktura je dána chemickým složením materiálu a zvoleným

technologickým postupem výroby. Metalografickými zkouškami lze kontrolovat technologické operace a hodnotit jakosti kovových materiálů. Sktruktura materiálu se nejčastěji pozoruje na upraveném řezu nebo na lomové ploše vzorku. [9]

Makroskopické zkoušky

Makroskopické pozorování struktury materiálu posuzuje strukturu v litém stavu a jejich lomových ploch. Lze posuzovat průběh vláken po tváření, kvality svarů nebo vady materiálu, nejčastěji to bývají trhliny a dutiny, také lze posuzovat chemickou nestejnorodost. Pro makroskopické pozorování se vzorky připravují podle důvodu jejich zkoumání. Někdy je dostačující opracovaná plocha, pokud to není dostačující pro dané pozorování, je potřeba broušení, leštění, leptání. [9]

U odlitků se hodnotí dendritická struktura v litém stavu a velikost zrna na leptaných leštěných výbrusech. Sleduje se celkový průběh krystalizace, vznik krystalizačních pásem, velikost a tvar dendritů a výskyt a rozložení vad. [9]

Mikroskopické zkoušky

Mikroskopické pozorování struktury materiálu posuzuje vhodnost materiálu pro dané použití a zkoumá vady, jejich příčinu a rozsah. Lze tak hodnotit kvalitu výroby a jednotlivé způsoby jeho zpracování. [9]

Pro mikroskopické pozorování je potřeba zvolit vhodný odběr vzorků. Důležité je, aby nedošlo k ovlivnění vzorku mechanicky ani tepelně, proto je důležité zvolit vhodné místo odběru a způsob, kterým vzorek je oddělen. Vhodná plocha vzorku se docílí broušením a leptáním, pro vyvolání mikrostruktury se zbroušená a leštěná plocha vzorku leptá. [9]

Pomocí světelného nebo elektronového mikroskopu, který má větší rozlišovací schopnosti, se provádí pozorování výbrusů. Na elektronovém mikroskopu se dají pozorovat vady krystalových mřížek. [9]

Zkouška tvrdosti

Zkoušky tvrdosti jsou jednoduše a rychle proveditelné jak na malých i velkých vzorcích. Zkoušky neovlivňují měřenou část, ovlivní nepatrně objem materiálu na povrchu okolo vtisku. Posuzuje se velikost stopy, která vznikla vtlačováním tělesa vhodného tvaru a z dostatečně tvrdého materiálu do zkoušeného vzorku určitou silou za definovaných podmínek. Může se měřit přímo na výrobku nebo na zkušebním vzorku. Zkoušky dělíme podle rychlosti působení zátěžné síly na statické a dynamické. Zkoušky tvrdosti můžeme dále dělit na vrypové, vnikací a odrazové. [9]

Zkouška tvrdosti dle Brinella spočívá ve vtlačování ocelové kuličky nebo kuličky z tvrdokovu o daném průměru a síle. Tvrdost se zjišťuje pomocí vtlačování kuličky o průměru $D = 10, 5, 2,5, 1$ mm rovnoměrně stupňovanou silou $F = 300.D^2, 100.D^2, 50.D^2, 25.D^2$ N, po dobu $t = 10, 30, 60, 120, 180$ s, do lesklé rovné plochy zkušebního vzorku nebo zkoušené součásti. Tvrdost se určuje podle průměru vtisku. Tvrdost se měří obvykle při okolní teplotě a je označovaná HB. [9]

Zkouška tvrdosti dle Vickerse spočívá ve vtlačování pravidelného diamantového jehlanu se čtvercovou základnou s vrcholovým úhlem 136° zkušebním zatížením F . Doba plného zkušebního zatížení je 10 až 15 sekund. Po odlehčení se změří úhlopříčky vtisku a tvrdost se vyjádří jako střední délka obou uhlopříček. Označení zkoušky podle Vickerse je HV. [9]

Zkouška tvrdosti dle Rockwella spočívá ve vtlačování kalené ocelové kuličky nebo diamantového kužele. Tvrdost se určí jako rozdíl hloubky vtisku mezi dvěma stupni zatížení (předběžného a celkového). [9]

Diamantový kužel nebo ocelovou kuličku, dotýkající se povrchu zkoušeného předmětu, se nejprve předběžně zatíží silou 98 N, což je výchozí poloha pro měření hloubky vtisku. Potom se zvolna zvětšuje zatěžovací síla tak, aby se dosáhlo zatížení předepsané normou. Následně se snižuje zatěžující síla opět na 98 N, v tomto stavu se zjistí přírůstek hloubky vtisku,

který nastal proti výchozí poloze při 98 N. Naměřenou tvrdost odečteme na číselníku ukazatele. Tato zkouška se značí HR. [9]

Vyhodnocování chemického složení

Analýza chemického složení se provádí za účelem kontroly chemického složení během tavby. Lze zjistit, zdali je dodrženo předepsané rozmezí jednotlivých prvků. [9]

Dle daných norem se provádí odběr a příprava vzorků pro analýzu. Vzorek je odebírán během tavby, kdy se nechává tuhnout zvlášť v kokilce. Po ztuhnutí se vzorek dělí na menší část a následně se brousí. Analýza chemického složení je prováděna minimálně třikrát během tavby a výsledky se musí shodovat podle předepsaných norem. Z výsledků se provádí průměr hodnot. [9]

Stanovení chemického složení lze provést pomocí klasické chemické analýzy (tzv. mokrá analýza) nebo pomocí spektrální analýzy. [9]

1.5 Vady odlitků

Vada odlitku se hodnotí na základě příslušných norem nebo sjednaných podmínek. Za vadu odlitku se považuje každá odchylka, která může být tvarová, hmotností a vzhledová. Dále to mohou být vady struktury, mechanických a fyzikálních vlastností odlitku. [10]

Vady dělíme na skupiny dle jejich přípustnosti a možnosti opravy:

- 1) Přípustné vady, které normy připouštějí bez nutnosti opravy
- 2) Opravitelné vady, jejichž opravy normy povolují ani nezakazují
- 3) Odstranitelné vady, jejichž oprava speciálními postupy musí být projednána s odběratelem
- 4) Nepřípustné vady, jejichž výskyt i opravu normy nepřipouštějí

Vady odlitků se určují dle normy ČSN 42 140. Norma dělí vady odlitků na sedm skupin, které se dále dělí na podskupiny a každá skupina nese trojčíferné označení typu vady. [10]

Rozdělení sedm skupin vad odlitků na:

- 1) Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti
- 2) Vady povrchu
- 3) Porušení souvislosti
- 4) Dutiny
- 5) Makroskopické vměstky a vady makrostruktury
- 6) Vady mikrostruktury
- 7) Vady chemického složení a vlastností odlitků

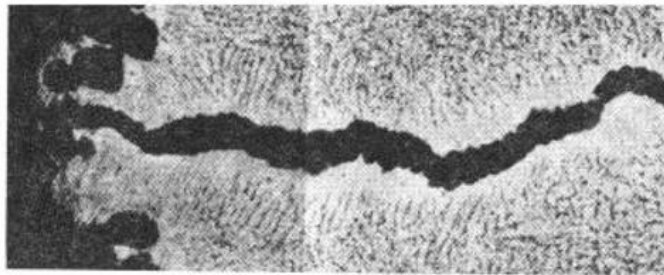
Vybrané vady odlitků dle normy ČSN 42 1240

310 – Trhliny

Trhliny se dělí na 311 povrchové (otevřené) trhliny, 312 podpovrchové trhliny a 313 vnitřní trhliny

312 – Podpovrchové trhliny

Podpovrchová trhlina není viditelná pouhým okem. Většinou trhlina vzniká pod vykrytalizovanou povrchovou kůrou odlitku, přičemž trhlina může mít povrchový výronek (viz. obr. 7). Trhlina vzniká v průběhu krystalizace odlitku, kdy pod kůrou je stále roztavený kov, který proniká na povrch a zaceluje povrchovou trhlinu. Podpovrchové vady se zjišťují pomocí magnetických a kapilárních zkoušek. [11]



Obr. 7 Průběh podpovrchové trhliny s výronkem [11]

313 – Vnitřní trhliny

Vnitřní trhliny vznikají uvnitř masivních odlitků, kdy dochází k porušení souvislosti materiálu. Trhliny vznikají v důsledku vnitřního pnutí. Velikost trhliny závisí na rozměrech odlitku a během které fáze výroby vznikla. Trhlina, která vznikla během chladnutí odlitku, sleduje hranice zrn, přičemž rozsah vady nebývá velký a lom trhliny bývá hrubozrnný. Trhlina, která vznikla za nižších teplot (např. během tepelného zpracování), bývá poměrně rovná nebo lehce zakřivená a rozsah vady bývá velký, může postupovat od vnitřní oblasti celým průřezem až na povrch. Pokud trhlina vzniká rychlým náhřevem na začátku tepelného zpracování, je její lom

hrubozrnný. Pokud trhлина vzniká při chladnutí během tepelného zpracování, je její lom lesklý a houževnatý. [11]

320 – Praskliny

Praskliny jsou rovné nebo mírně zakřivené roztržení stěn odlitků vznikajících pod účinkem napětí v odlitku. Vznikají při chladnutí odlitků díky velkým rozdílům teplot, i po úplném vychladnutí odlitku ve formě nebo v důsledku následujícího tepelného zpracování. Povrch praskliny bývá čistý a zrnitý, může docházet ke zbarvení či k zoxidování. Záleží na tom, kdy prasklina vznikla, zdali při chladnutí odlitku ve formě nebo při tepelném zpracování. Dutiny jsou vady poměrně snadno zjistitelné prohlídkou odlitku nebo nedestruktivní kontrolou. [11]

400 – Dutiny

Dutiny jsou neopravitelnou vadou, které vznikají přítomností plynů v kovech a ve formě, také vznikají objemovými změnami při tuhnutí kovu. [11]

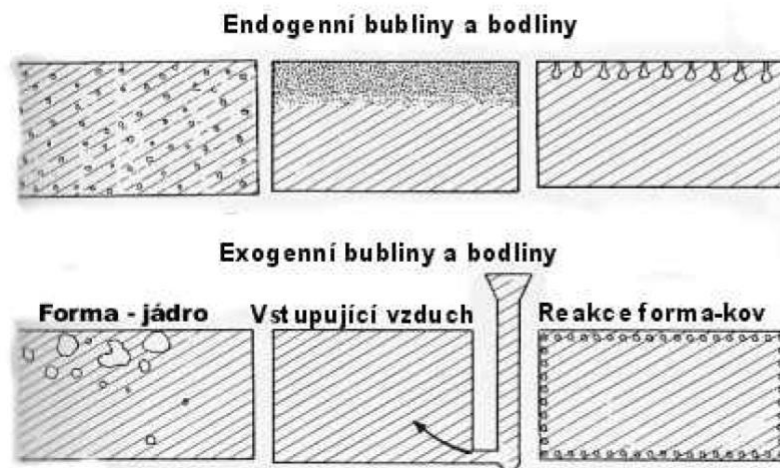
410 – Bubliny

Bubliny jsou dutiny v odlitku, které mohou být otevřené, tedy vyskytující se na povrchu nebo uzavřené, jako vnitřní dutiny ve stěnách odlitku. Vyskytují se jako jednotlivé bubliny, nebo sdružené ve shlucích, a mohou být rozloženy po celém odlitku. [11]

Bubliny mohou vznikat s hladkým povrchem, které se vyskytují pouze uvnitř odlitku, nebo bubliny mohou vznikat s povrchem zoxidovaným, které jsou typické pro bubliny na povrchu, kde k oxidaci dochází stykem s atmosférou. Tvary a velikosti bublin mohou být různých tvarů, nejčastěji jsou bubliny kulového až elipsoidického tvaru. Bubliny mohou být i nepravidelného protáhlého tvaru. Velikost může být od několika desetin milimetrů až po desítky milimetrů. Podle původu rozdělujeme bubliny na endogenní a exogenní. [11]

Endogenní bubliny (viz. obr. 8) jsou uzavřené bubliny, které mají kovově lesklý neoxidovaný povrch. Tyto bubliny vznikají z plynů rozpuštěných v tavenině, pokud je tlak natolik velký, aby překonal odpory proti působícím rozpuštěným plynům v odlitku. Endogenní bubliny vznikají buď jako uzavřené nebo otevřené, potom je jejich povrch zoxidován. [11]

Exogenní bubliny (viz. obr. 8) vznikají při odlévání. Pokud tlak plynů v okolí překoná odpor, který mu klade povrchová vrstva tuhnoucího kovu, vznikají exogenní bubliny. Tento druh bublin může být charakterizován jako zahlcený plyn (vada 414). [11]



Obr. 8 Schéma vzniku endogenních a exogenních bublin [14]

Podle příčiny vzniku vad se bubliny dělí na:

- 1) 411 Bubliny způsobené kyslíkem
- 2) 412 Bubliny způsobené vodíkem

600 – Vady mikrostruktury

Vady mikrostruktury nejsou vady v pravém slova smyslu, nikoli se jedná o odchylky parametrů vlastností odlitků od sjednaných norem a technických podmínek. Vady této třídy se posuzují pouze pomocí metalografických strukturních rozborů. Vady mikrostruktury jsou mikroskopické dutiny a vměšky, oduhličení povrchu atd. [11]

2 Experimentální část

Experimentální část se zabývá vyhodnocováním materiálových charakteristik odlitku používaného pro obvodový pancéř do mlecích mlýnů.

Vyhodnocování bylo provedeno na odlitku (viz. obr. 9 a obr. 10), kde se v označených oblastech odebíraly vzorky pro zkoumání mikrostruktury a případných vad. Následně byla na vzorcích provedena zkouška tvrdosti dle Brinella.

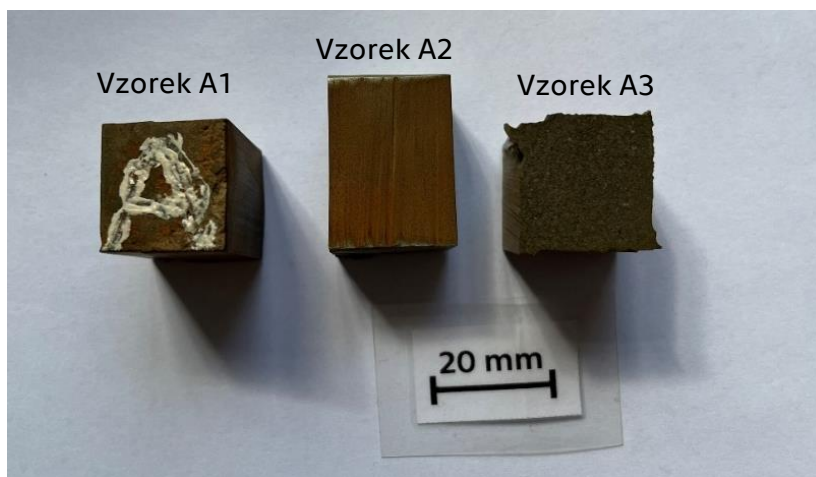
Celkem byly zkoumány 3 sady vzorků. Každá sada vzorků je označena písmenem A nebo B nebo C. Sada A byla odebrána po odlití, sada B jbyla odebrána po žíhání a sada C byla odebrána po kalení a popouštění. Každá sada byla ještě rozřezána na 3 části (př. A1, A2 a A3) (viz. obr 11) na povrch, jádro a druhý povrch.



Obr. 9 odlitek po odlití



Obr. 10 odlitek po žíhání



Obr. 11 Rozdělení vzorků na 3 části

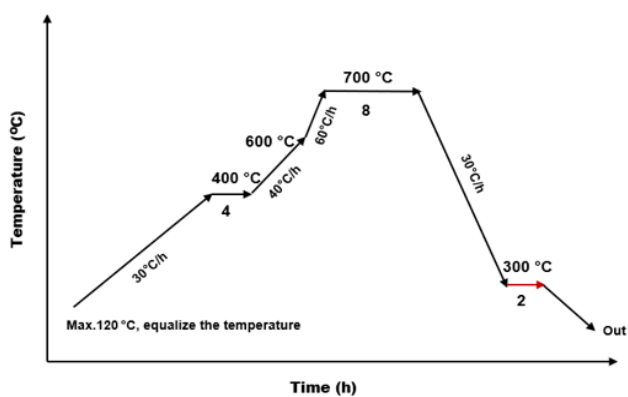
2.1 Materiál použitý v experimentální části

Odlitek je otěruvzdorná litina s vysokým obsahem chromu s označením dle Evropské normy EN-GJN-HV600. [12] V tab. 1 je chemické složení daného materiálu.

Tab. 1 Chemické složení materiálu

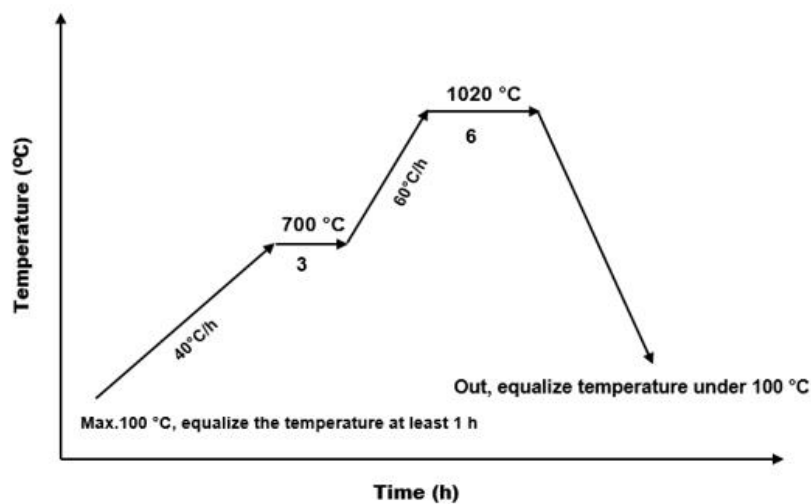
Materiál	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	N
3F1	2,58	0,93	0,51	0,019	0,019	0,92	0,24	19,3	0,76	0,01	0,007	0,046	0,05

Tepelné zpracování



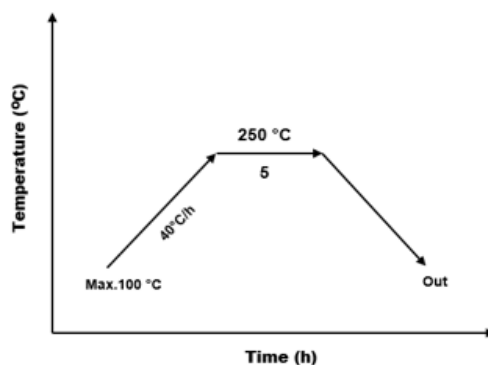
Obr. 12 Průběh žhání

Na obr. 12 je znázorněna křivka žíhání na měkko. Odlitek byl postupně ohříván na teplotu 400 °C, na této teplotě byla výdrž čtyři hodiny. Následně byl odlitek ohřát až na teplotu 700 °C, kde došlo k osmi hodinové výdrži. Z této teploty byl odlitek ochlazován na 300 °C s výdrží na této teplotě dvě hodiny. Poté byl odlitek ochlazován na teplotu okolí.



Obr. 13 Průběh kalení

Na obr. 13 je znázorněna křivka kalení. Průběh kalení spočíval v ohřátí odlitku na 700 °C, kde došlo k tří hodinové výdrži. Odlitek je potom ohřátý na 1020 °C s výdrží na této teplotě šest hodin. Následně dochází k ochlazení odlitku. Odlitek je chlazen v olejové lázni. Pro vysoce legovanou chromovou litinu je vhodnější ochlazování na vzduchu, aby nedošlo ke vzniku trhlin, prasklin. [8]



Obr. 14 Průběh popouštění

Na obr. 14 je znázorněna křivka popouštění. Odlitek je nízkoteplotně popouštěn. Je ohřátý na 250 °C s výdrží na této teplotě a poté následuje ochlazení na teplotu okolí.

2.2 Měření tvrdostí

Tvrдост byla měřena na povrchu a na broušeném místě zkušebních vzorků. Měření proběhlo dle Brinella HBW 5/750. Velikost kuličky je 5 mm, při zatížení 750 kilopondů po dobu 10 sekund.

Tab. 2 Naměřené hodnoty tvrdosti

Vzorek / počet opakování	1	2	3	4	5	Požadavek na tvrdost
A	515	515	505	511	514	
B	384	380	376	391	383	max. 330
C	652	657	668	668	648	min. 600

Naměřené a požadované tvrdosti viz. tab 2. Tvrдост nevyhovuje požadavku pro vzorek B po žihání. Tvrдост byla naměřena vyšší. Vzorek C po kalení a popouštění vyhovuje požadavku na tvrdost.

2.3 Příprava vzorků

Za účelem zkoumání mikrostruktury materiálu daných vzorků, byly vytvořeny metalografické vzorky.

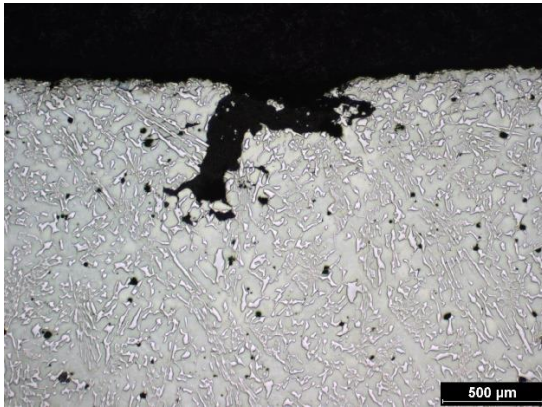
Postup přípravy vzorků:

1. Vzorky byly nařezány na vhodnou velikost, tak aby bylo možné zkoumat mikrostrukturu a jejich případné vady jak povrchu odlitku, tak i jádra odlitku.
2. Nařezané části ze vzorků odlitku byly zalisované do bakelitového prášku.
3. Vzorky byly ručně broušeny na leštičce/bruse LECO GPX300. Bylo broušeno pomocí brusných papíru od nejhrubšího po nejjemnější pro dosažení nejjemnějšího povrchu určenému k následnému leštění.
4. Leštění proběhlo na LECO GPX300. Vzorky byly leštěny pomocí 3 mikronové leštící diamantové emulze a následně proběhlo leštění emulzí koloidním oxidem křemičitým.
5. Po leštění byly vzorky zkoumány pod mikroskopem pro hodnocení mikročistoty.
6. Leptání vzorků pro vyvolání struktury bylo provedeno roztokem Nitalu, což je 5% roztok kyseliny dusičné v alkoholu.

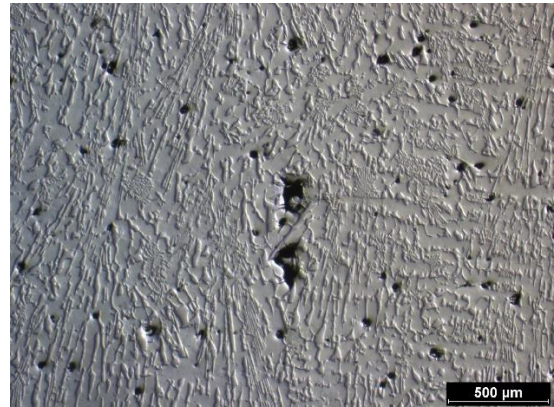
2.4 Vyhodnocení mikrostruktury

Veškeré zkoumání a vyhodnocování mikrostruktury vzorků bylo provedeno pomocí pořízených snímků. Snímky byly foceny na metalografickém mikroskopu Neophot 32, který je vybaven CCD kamerou.

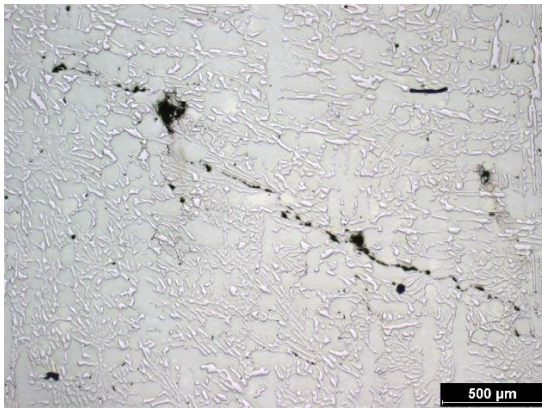
2.4.1 Vyhodnocení mikrostruktury neleptaných vzorků



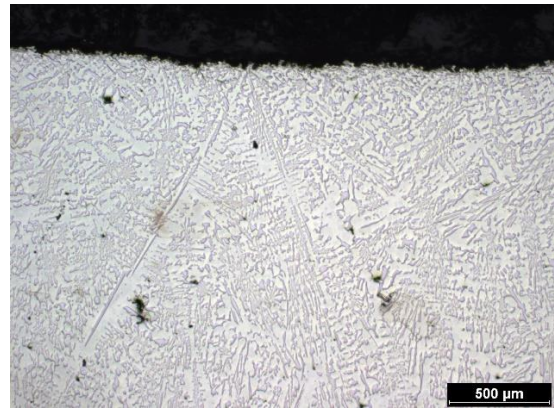
a) Povrch A1



b) Povrch A1

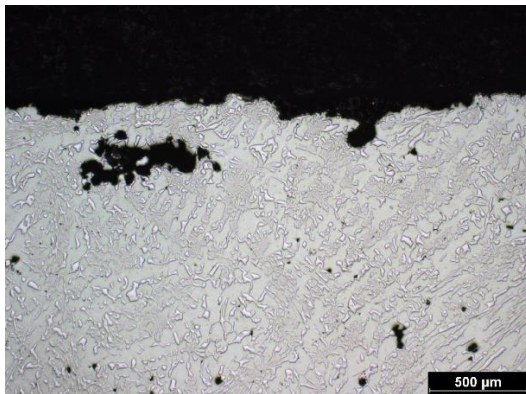


c) Jádro A2

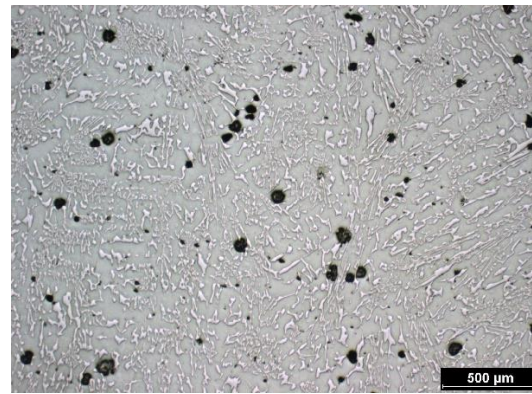


d) Povrch A3

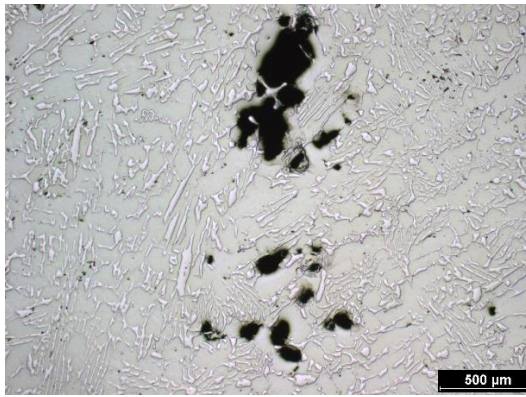
Obr. 15 Neleptaný stav A



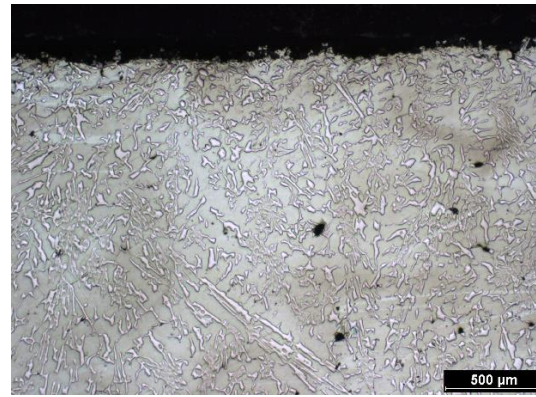
a) Povrch B1



b) Povrch B1

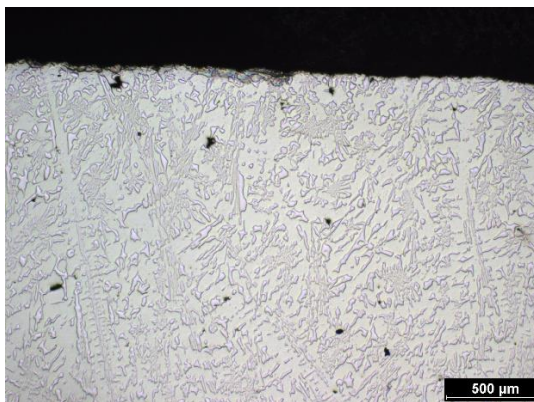


c) Jádro B2

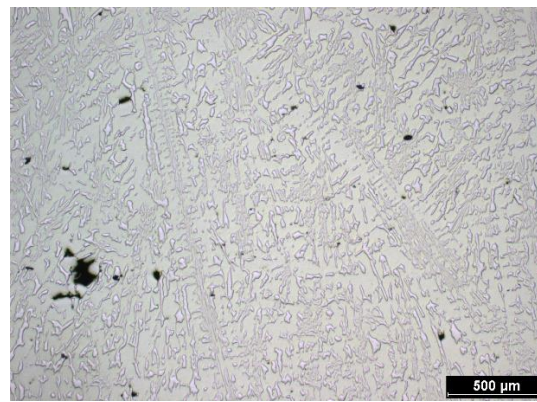


d) Povrch B3

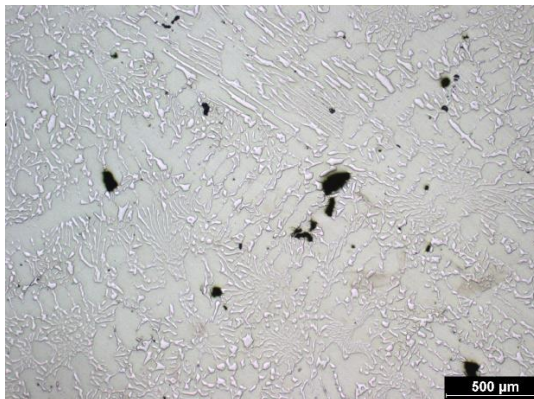
Obr. 16 Neleptaný stav B



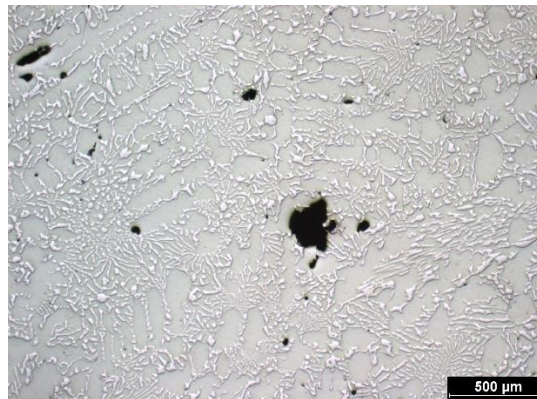
a) Povrch C1



b) Povrch C1



c) Jádro C2



d) Jádro C2

Obr. 17 Neleptaný stav B

Vady mikrostruktury

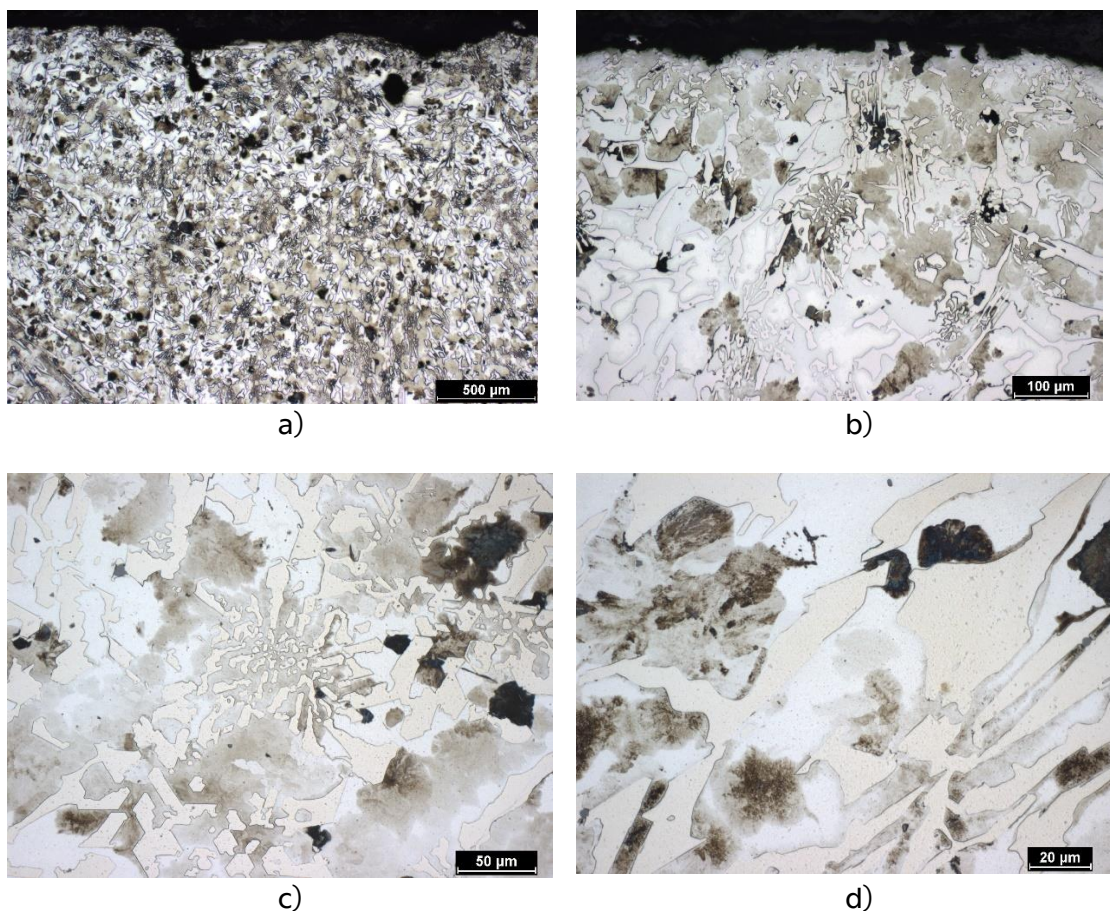
Ve vzorcích A, B a C byly nalezeny vady po zkoumání neleptaných vzorků pod mikroskopem.

Dle normy ČSN 42 1240 [11] je jednou z hlavních nalezených vad vysoké množství bublin (vada 410). Další nalezenou vadou jsou trhliny (vada 310). Ve struktuře se dále nacházejí vměstky.

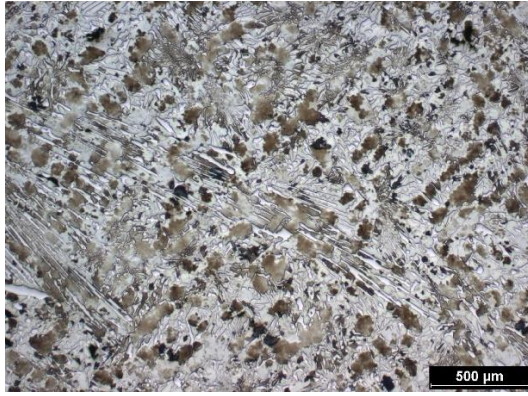
Bubliny se nacházejí na obr. 15 a) a b), na obr. 16 a na obr. 17. Na Obr. 15 b) má bublina na šířku 104 μm a na výšku 225 μm (viz. přílohy obr. 26 a)). Na obr. 16 a) je bublina těsně pod povrchem, která má na šířku 288 μm (viz. přílohy obr. 26 c)). Na obr. 17 d) se vyskytuje bublina o rozměrech na šířku 847 μm a na výšku 951 μm (viz. přílohy obr. 26 e)).

Trhlina na obr. 15 c) nabývá délky 2641 μm (viz. přílohy obr. 26 b)). Další trhlinu je možné vidět pod povrchem v přílohách na obr. 26 d).

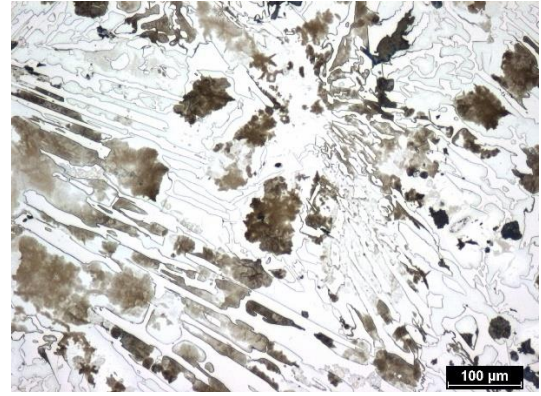
2.4.2 Vyhodnocení mikrostruktury leptaných vzorků



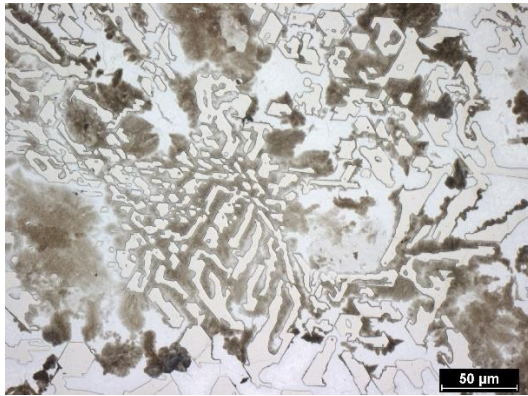
Obr. 18 Leptaný stav (mikrostruktura) povrch A1



a)



b)

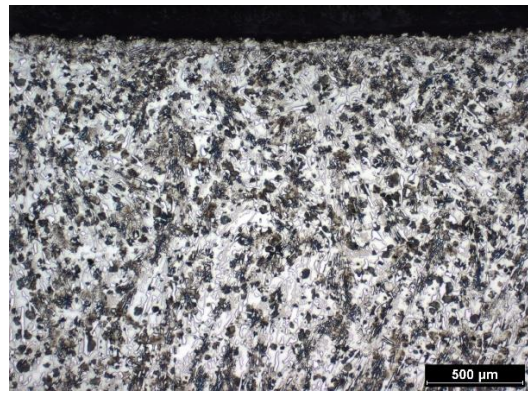


c)

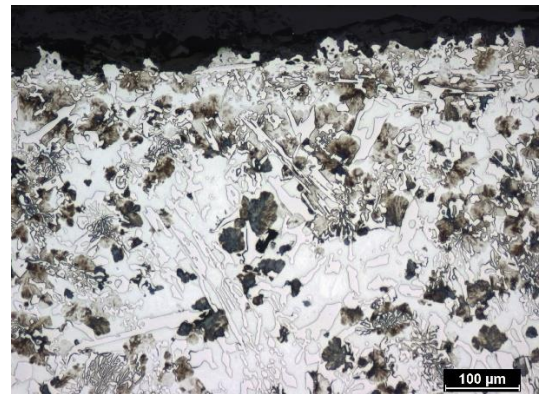


d)

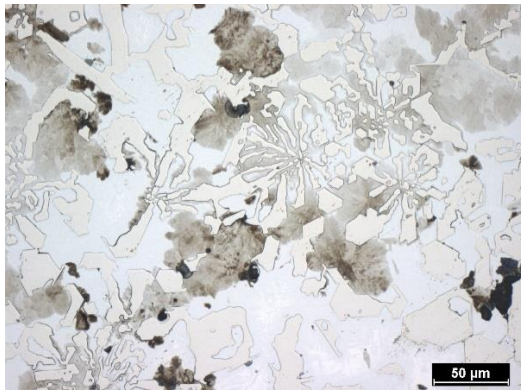
Obr. 19 Leptaný stav (mikrostruktura) jádro A2



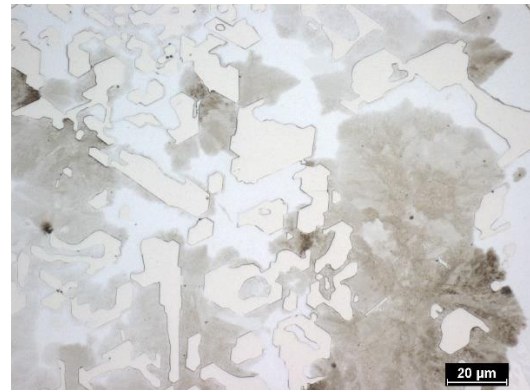
a)



b)



c)



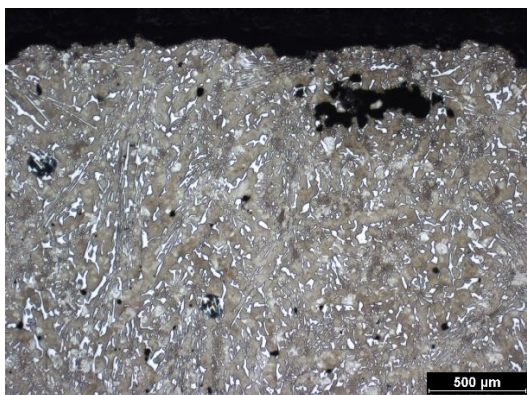
d)

Obr. 20 Leptaný stav (mikrostruktura) povrch A3

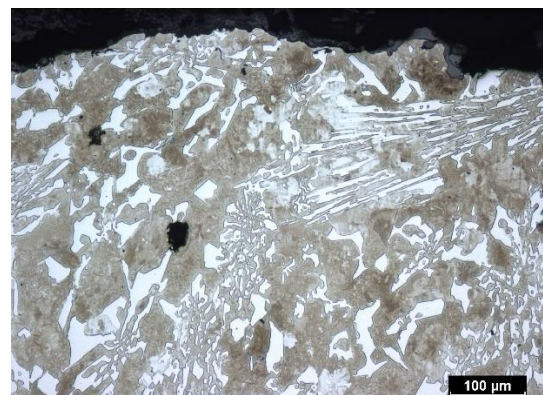
Pro určení typu matrice byly vzorky leptány 5 % roztokem Nitalu. Po naleptání byl vzorek pozorován na metalografickém mikroskopu.

Vzorek A byl odebírán ze součásti po odlití. Na snímcích se nacházejí licí dendrity ve struktuře. Ve struktuře se nachází eutektické karbidy chromu, které úplně nahradily cementit [1]. Ve struktuře dále vidíme perlit a ferit, matrice vzorků byla shledána jako feriticko-perlitická.

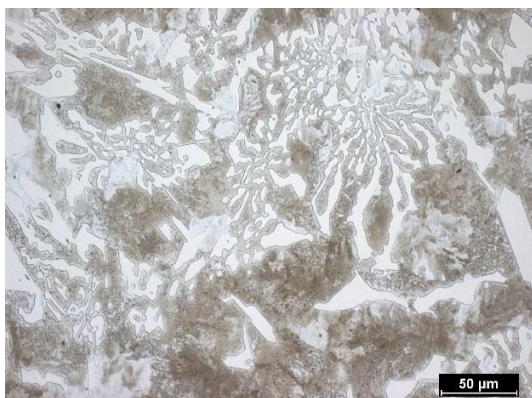
Mikrostruktura je stejná na povrchu i v jádru. Struktura je zobrazena na snímcích (viz obr.18, obr.19, obr.20 a viz. přílohy obr.27). Např. na obr. 19 b) jsou vidět licí dendrity, které jsou lépe zobrazeny na snímcích v neleptaném stavu viz. obr. 15 d) nebo obr. 17 a) a b). Struktura je ve větším zvětšení zobrazena na obr. 27 a) a b).



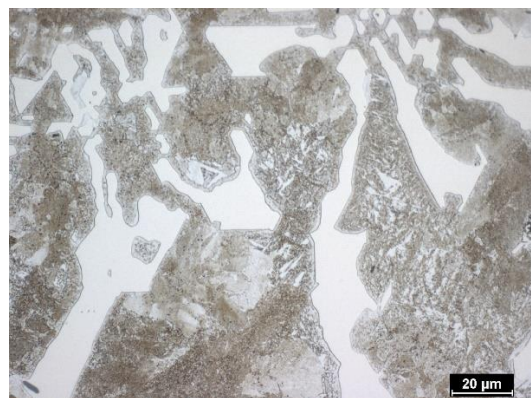
a)



b)

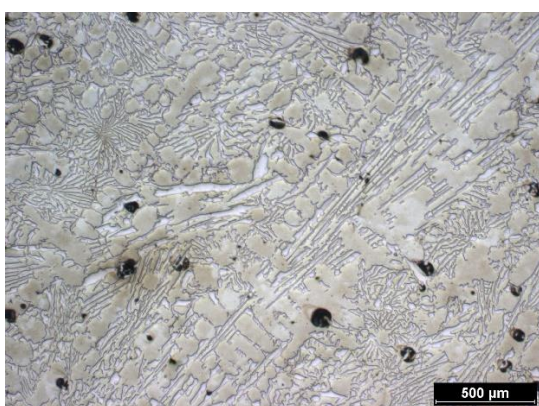


c)

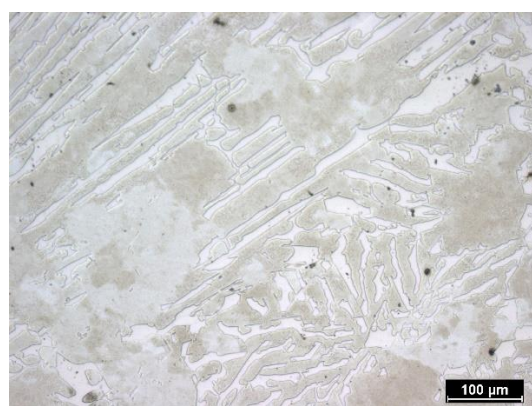


d)

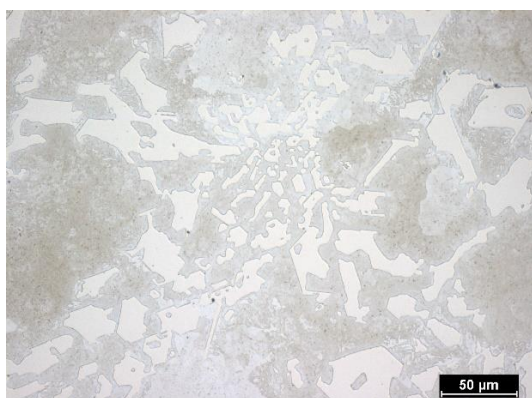
Obr. 21 Leptaný stav (mikrostruktura) povrch B1



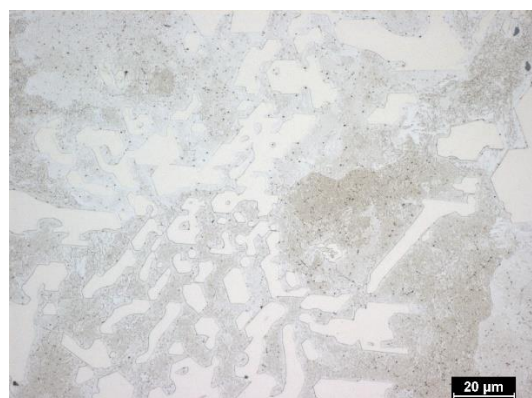
a)



b)

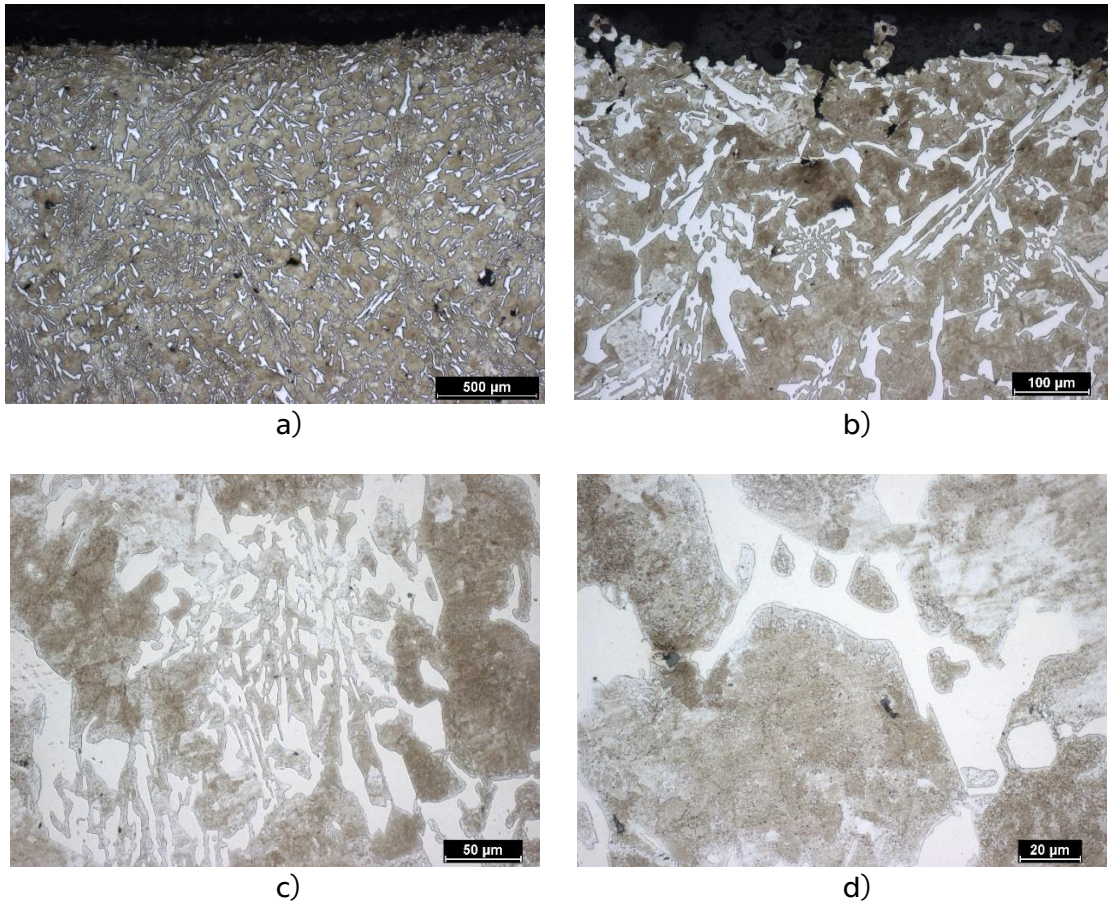


c)



d)

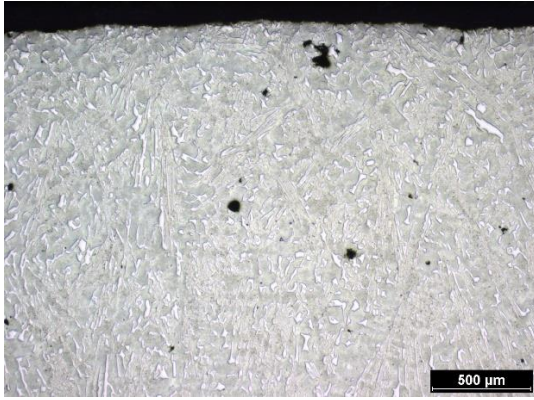
Obr. 22 Leptaný stav (mikrostruktura) jádro B2



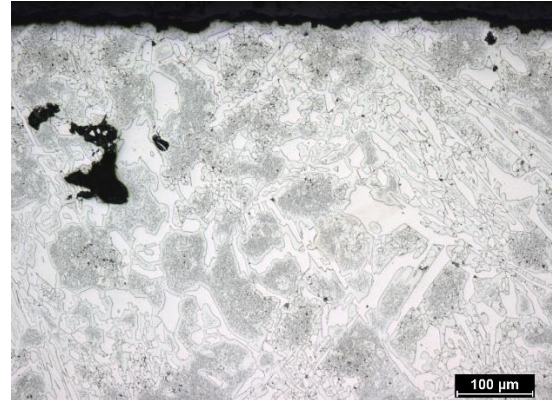
Obr. 23 Leptaný stav (mikrostruktura) povrch B3

Po naleptání byl na metalografickém mikroskopu pozorován vzorek B, který se odebíral po žíhání. Ve struktuře nacházíme eutektické karbidy chromu. K jejich přeměně nedošlo během žíhání z důvodu, že karbidy chromu mají vyšší teplotu tání než byla nejvyšší teplota při žíhání 700 °C. Struktura obsahuje ferit a perlit. Převažující je perlit, který je ovšem částečně nesferoidizovaný. Perlit není úplně globulární a částmi je lamelární.

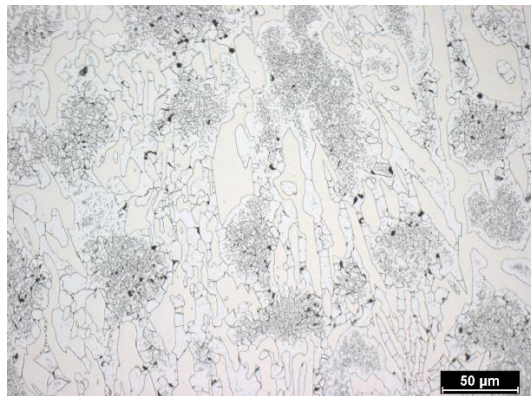
Mikrostruktura je stejná na povrchu i v jádru. Struktura je zobrazena na snímcích (viz obr.21, obr.22, obr.23 a viz. přílohy obr.28)



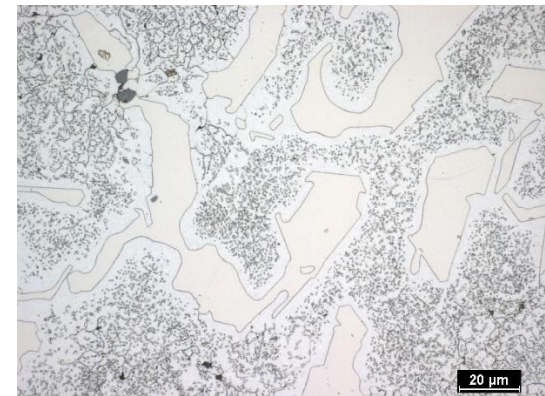
a)



b)

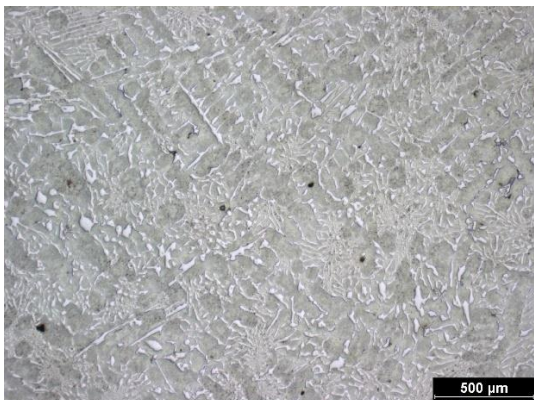


c)

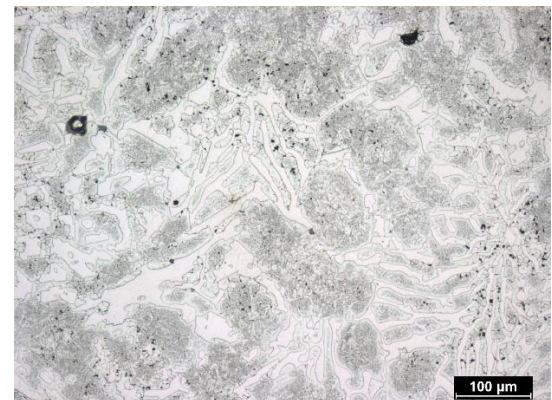


d)

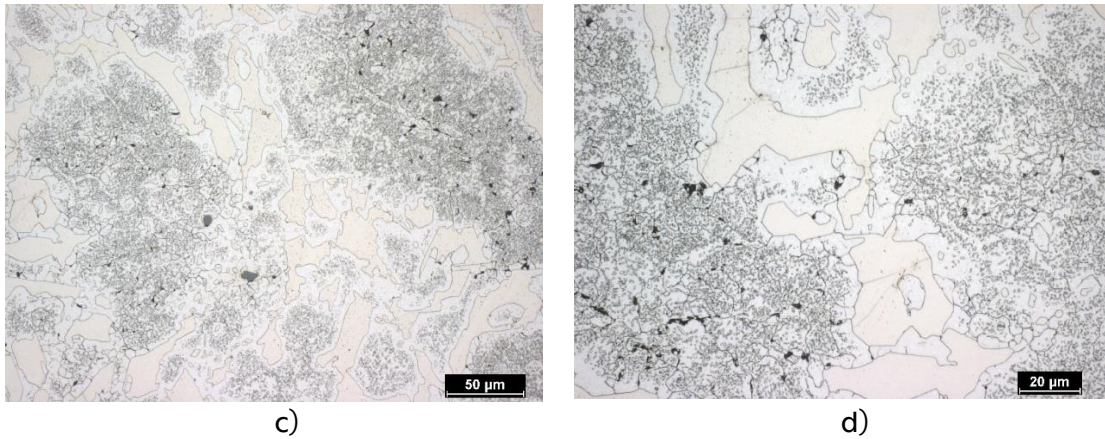
Obr. 24 Leptaný stav (mikrostruktura) povrch C1



a)



b)



Obr. 25 Leptaný stav (mikrostruktura) jádro C2

Po naleptání byl na metalografickém mikroskopu zkoumán vzorek C, který byl odebrán po kalení a popouštění. Na snímcích se vyskytují eutektické karbidy, které se nacházejí v matrici tvořené popouštěným martenzitem. Dále se v matrici nacházejí globulární sekundární karbidy chromu. [13]

Mikrostruktura je stejná na povrchu i v jádru. Struktura je zobrazena na snímcích (viz obr.24, obr.25 a viz. přílohy obr.29).

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnotit mikrostrukturu na metalografických výbrusech analýzou struktury a klasifikací případného výskytu vad. Dále pak byly hodnoceny tvrdosti vzorků.

Z metalografického hodnocení odlitků lze konstatovat, že matrice byla shledána po odlití a po žíhání jako feriticko-perlitická a matrice po kalení a popouštění jako martenzitická a s globulárními sekundárními karbidy chromu. Byly nalezeny vady dle normy ČSN 42 1240. Vadami jsou trhliny a velké množství bublin. Bubliny se spíše nachází u povrchu a během tepelného zpracování se jejich množství zmenšuje. Avšak po kalení a popouštění se v odlitku stále nachází velké bubliny, ale už se nenachází menší bubliny v tak velkém množství jako po odlití nebo žíhání.

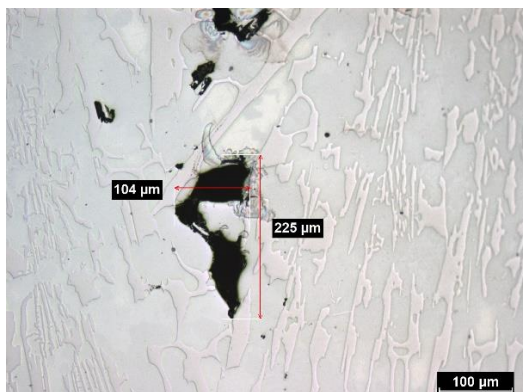
Podle experimentálních zjištění tvrdostí lze konstatovat, že dle provedeného měření tvrdosti dle Brinella podle normy ČSN EN ISO 6506-1 nebyla dosažena požadovaná tvrdost pro vzorek B po odlití. Tvrdost vzorku B byla naměřena vyšší než dovolené hodnoty pro tvrdost. Naopak pro vzorek C po kalení a popouštění byla dosažena požadovaná tvrdost.

Tepelné zpracování u vzorku C po kalení a popouštění se odlitek kalí do oleje. Pro litinu s vysokým obsahem chromu se doporučuje ochlazovat na vzduchu nebo v peci, aby se předešlo k velkému pnutí a vzniku trhlin. Ovšem na další tepelné zpracování to nemá vliv.

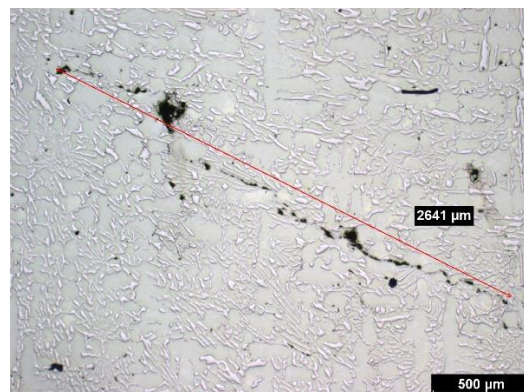
Citovaná literatura

- [1] NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1.
- [2] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
- [3] HAMPL, Jiří. *Metalurgie slévárenských litin*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3357-6.
- [4] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999. ISBN 80-720-4130-4.
- [5] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Nauka o materiálu*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1507-6.
- [6] SKÁLOVÁ, Jana, Jaroslav KOUTSKÝ a Vladislav MOTYČKA. *Nauka o materiálech*. 4. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-244-0
- [7] ORTEGA-CUBILLOS, Patricia, Pedro Amedeo NANNETTI-BERNARDINI, Marcio CELSO-FREDEL a Rogério ANTONIO CAMPOS. Wear resistance of high chromium white cast iron for coal grinding rolls. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 2015, (76). ISSN 01206230. Dostupné z: doi:10.17533/udea.redin.n76a16
- [8] *ASM Handbook: Volume 4 Heat Treating*. Printed in the United States of America: ASM International, 1991. ISBN 0-87170-379-3.
- [9] SKÁLOVÁ, Jana, Rudolf KOVAŘÍK a Vladimír BENEDIKT. *Základní zkoušky kovových materiálů*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2623-1.
- [10] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
- [11] ELBEL, Tomáš. *Vady odlitků ze slitin železa: (klasifikace, příčiny a prevence)*. Brno: MATECS, 1992.
- [12] ČSN 42 0961. Slévárenství – Otěruvzdorné litiny Praha: Český normalizační institut, 2011
- [13] *ASM Handbook: Volume 9 Metallography and Microstructures*. Third printing. Printed in the United States of America: ASM International, 2008. ISBN 87170-706-3.
- [14] OTÁHAL, V. *Vady odlitků. Atlas vad. Železné a neželezné slitiny*. 1.vyd. Brno: Metal Casting and Foundry Consult, Otáhal Vlastislav, Brno, Horská 27.

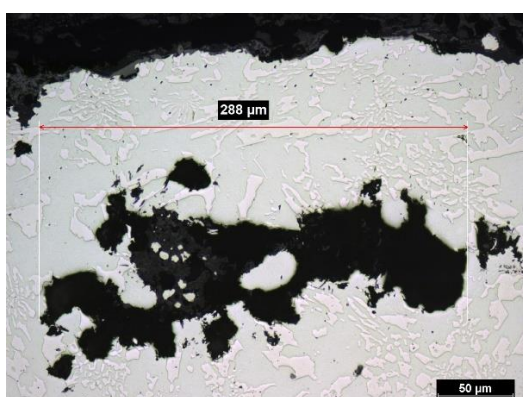
Přílohy



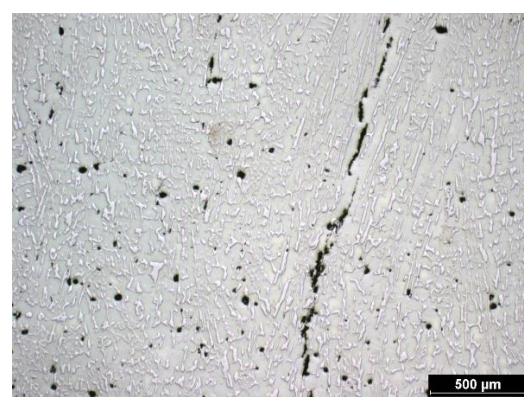
a) Povrch A1



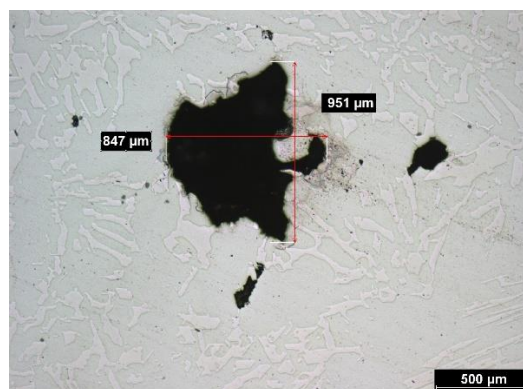
b) Jádro A2



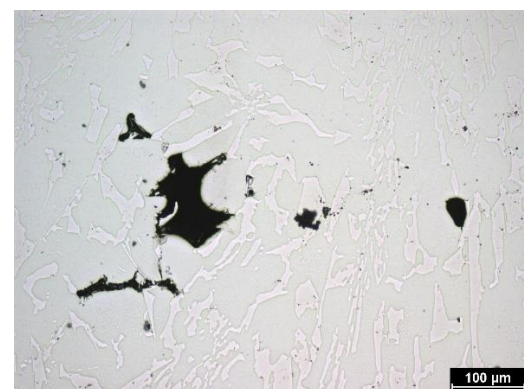
c) Povrch B1



d) Povrch A3

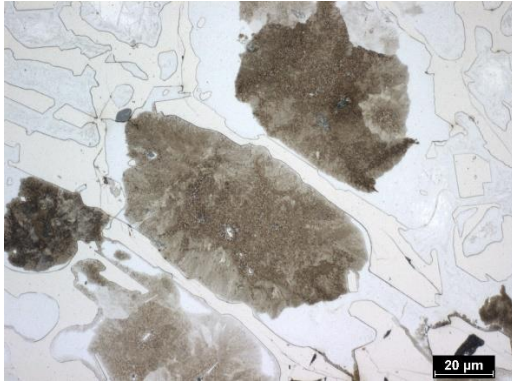


e) Jádro C2



f) Povrch C1

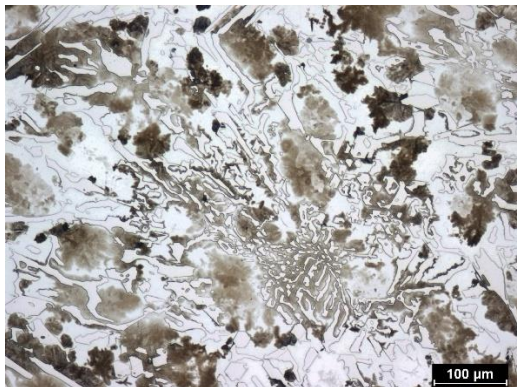
Obr. 26 Neleptaný stav



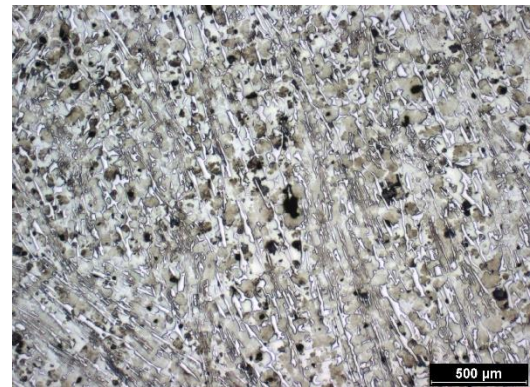
a)



b)

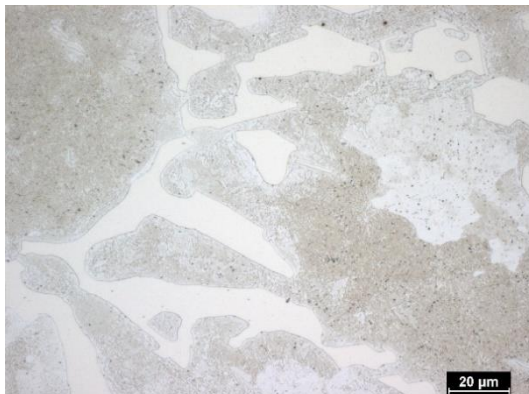


c)

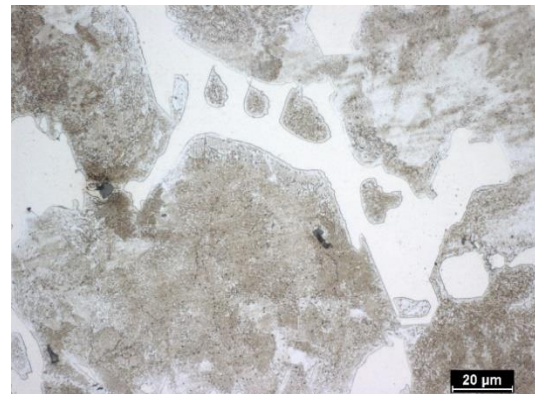


d)

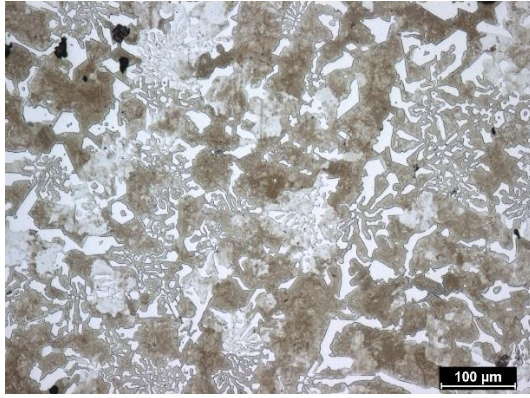
Obr. 27 Leptaný stav (mikrostruktura) vzorek A



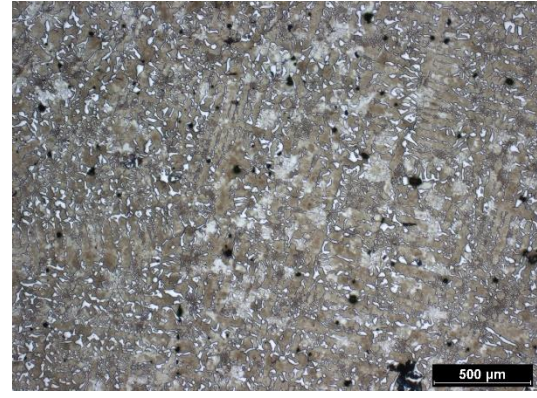
a)



b)

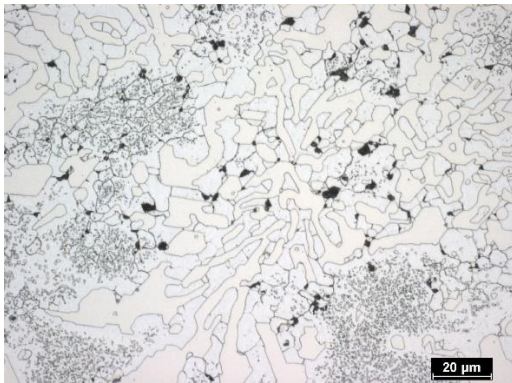


c)

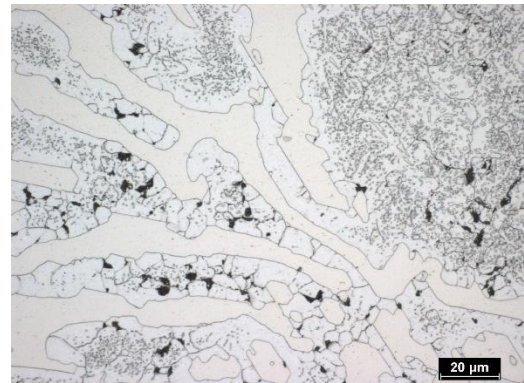


d)

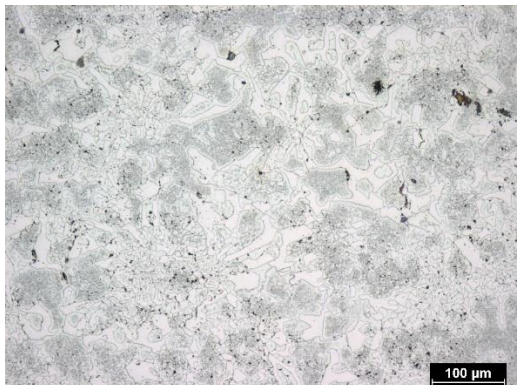
Obr. 28 Leptaný stav (mikrostruktura) vzorek B



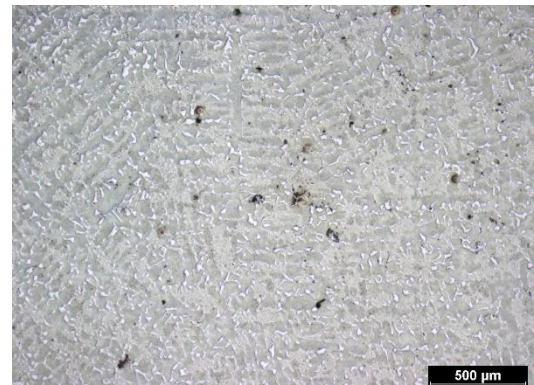
a)



b)



c)



d)

Obr. 29 Leptaný stav (mikrostruktura) vzorek C