

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

JAN KOBR

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Barevná metalografie železných kovů
Jan Kobr

Bakalářská práce
2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Kobr**
Osobní číslo: **D09272**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Barevná metalografie železných kovů**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Struktura železných kovů
Optická mikroskopie kovů
Metalografie kovů, zvýraznění struktury
Praktická aplikace na železné kovy

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Ptáček L.: Nauka o materiálu I., II., CERM Brno, 2001

Gale, W.F.; Totemeier, T.C:Smithells Metals Reference Book (8th Edition)

Elsevier, 2004, ISBN:978-0-7506-7509-3

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Švanda, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2012**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

Ve Vamberku dne 5. 5. 2012

Jan Kobr

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Pavlu Švandovi, PhD., vedoucímu bakalářské práce, za jeho ochotnou pomoc a přínosné rady při zpracování zadaného tématu.

Anotace:

První část této bakalářské práce podává základní informace o struktuře železných kovů. Přitom se nezabývá jen vlastním upořádáním příslušných stavebních jednotek v prostoru, ale dotýká se také problematiky vzniku struktury či záměrné změny struktury v průběhu výrobního procesu.

Další segment bakalářské práce pojednává o optické mikroskopii kovů, v praxi nejpoužívanější experimentální technice zkoumání kovů.

Následující partie se věnuje *metalografii* kovů. Popisuje postup při studiu struktury kovů, zvláště rozebírá jednotlivé metody úpravy vzorků, jež využívá tzv. *barevná metalografie* ke zvýraznění struktury vzorků zkoumaných kovových materiálů.

Předposlední část se potom zaměřuje na praktické použití dříve rozebraných teoretických poznatků na vybrané železné kovy. Presentuje provedený laboratorní výzkum, jenž se soustředil na aplikaci jedné z metod *barevné metalografie* - barevného leptání. Přibližuje proces úpravy vzorků vybraných železných kovů s využitím mj. několika různých leptadel a následně předkládá pořízené snímky mikrostruktury zkoumaných kovových materiálů a tyto vyhodnocuje.

Bakalářskou práci uzavírá stručné shrnutí podstatných bodů vyložené problematiky.

Klíčová slova:

Metalografie, struktura, vzorek, kov, mikroskopie

Title:

Colour metallography of ferrous metals

Annotation:

The first part of this work provides basic information about the structure of ferrous metals. It just does not deal with his own arrangement of the building units in the area, but also discusses the issue of structure creation or deliberate changes to the structure during the manufacturing process.

Another segment of the thesis deals about the optical microscopy of metals, the most widely used experimental the technique of examining metals in practice.

The following parts are dedicated to *metallography* of metals. Describes how to study the structure of metals, especially discusses the different methods of sample preparation that the *colour metallography* uses to highlight the samples structure of studied metals.

The penultimate section are focused on the practical application of the previously dismantled theoretical knowledge on the selected ferrous metals. Presents laboratory research which were focused on the application of one of the methods of *colour methalography* – colour etching. It shows the process of the selected ferrous metals samples preparation with using several different etchants and then presents captured images of studied metallic materials microstructure and evaluated these.

Bachelor thesis ends with a key points summary of described problems.

Keywords:

Metallography, structure, sample, metal, microscopy

Obsah

1	Úvod	10
2	Struktura železných kovů [2, 3, 4, 5, 6, 8].....	11
2.1	Vznik struktury kovu	16
2.2	Mikrostruktura kovových materiálů.....	17
2.3	Metastabilní soustava železo – cementit.....	19
2.4	Přehled nejpoužívanějších legovacích prvků	21
2.5	Tepelné zpracování.....	23
3	Optická mikroskopie kovů [1, 3, 7]	26
4	Metalografie kovů, zvýraznění struktury [1, 3, 4, 5, 7, 9].....	29
4.1	Osvětlení vzorku polarizovaným světlem.....	30
4.2	Osvětlení vzorku diferenciálním interferenčním kontrastem	31
4.3	Úprava povrchu vzorku napařením interferenční vrstvy.....	32
4.4	Úprava povrchu vzorku barevným leptáním.....	32
5	Praktická aplikace metalografie na železné kovy: [1]	35
5.1	Disiřičitanová leptadla.....	36
5.1.1	Leptání podle Klemma.....	36
5.1.2	Leptání podle Beraha	38
5.1.3	Leptání podle Lichtneggera a Bloecha.....	41
5.1.4	Leptání podle Bloecha a Wedla	42
5.2	Vyhodnocování struktur leptaného vzorku	44
5.3	Tabulka složení jednotlivých leptadel.....	45
6	Závěr	49
	Použité zdroje:.....	50
	Seznam obrázků:	51
	Seznam tabulek:.....	51

1 Úvod

Vlastnosti kovových materiálů jsou dány nejen jejich chemickým složením, ale rovněž jejich teplotou a zvoleným tepelným nebo mechanickým zpracováním. Při vhodném výběru materiálu a technologie výroby lze dosáhnout kvalitního výrobku s požadovanými vlastnostmi i s relativně nízkými náklady, což je pro většinu výrobních procesů zcela klíčové.

Zkoumáním a pozorováním vnitřní stavby (neboli struktury) kovů a slitin a jejich vlastností se zabývá samostatná nauka - *metalografie*. Metalografický výzkum by měl vést především ke zjištění, jak se bude určitý materiál při plnění své funkce chovat a zda vyhoví stanoveným kritériím. Při analýze jednotlivých kovových materiálů *metalografie* pracuje se speciálně upravenými vzorky se zviditelněnou strukturou materiálu. Tyto studuje za pomoci optického či elektronového mikroskopu.

K úpravě vzorků kovů a slitin za účelem zvýraznění struktury materiálu *metalografii* slouží celá řada postupů. Pod označením *barevná metalografie* se skrývá metalografická metoda, při níž se uplatní barva tzv. fázi jako faktor, jenž rozšiřuje informace o struktuře.

Pro získání barevného kontrastu mezi jednotlivými složkami struktur materiálu *barevná metalografie* používá jednak vhodné osvětlení (pomocí polarizovaného světla či diferenciálního interferenčního kontrastu) a jednak úpravu povrchu vzorku (napařením interferenční vrstvy nebo barevným leptáním). Za nejvýznamnější je přitom možno považovat techniku uvedenou na posledním místě.

Podstatou úpravy vzorku kovu, popř. slitiny barevným leptáním je vytvoření barevného kontrastu tzv. fázi v důsledku aplikace vhodného leptadla na jeho povrch, díky čemuž lze pak tyto od sebe relativně snadno vizuálně odlišit.

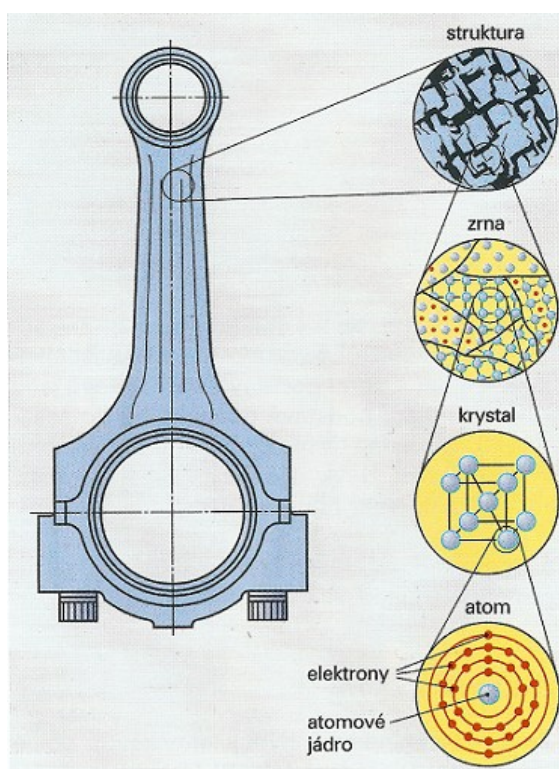
Tato bakalářská práce - v návaznosti na shrnutí relevantních teoretických poznatků - ve své praktické části přibližuje postup při přípravě jednotlivých vzorků vybraných železných kovů pro účely metalografického výzkumu. Přitom se zaměřuje především na ten jeho úsek, při němž nachází využití právě *barevná metalografie*, a to zvláště v podobě úpravy povrchu vzorku barevným leptáním. Mj. popisuje proces zvýraznění struktury zkoumaných kovových materiálů za pomoci několika různých leptadel a dále prezentuje a vyhodnocuje s využitím optického mikroskopu získané snímky jejich mikrostruktury.

2 Struktura železných kovů [2, 3, 4, 5, 6, 8]

Jak již bylo zmíněno v úvodu této bakalářské práce, studiem vnitřní stavby (neboli struktury) kovů a slitin a jejich vlastností se zabývá *metalografie*. Tato nauka napomáhá určit, jak sloh kovových materiálů souvisí s jejich chemickým složením, teplotou a tepelným nebo mechanickým zpracováním.

Pojmem *struktura* se obecně rozumí uspořádání určitých stavebních jednotek v prostoru. O struktuře je možno uvažovat v různých dimenzích. V rovině elektronů hovoříme o tzv. elektronové struktuře. Další úroveň se pojí s atomy, jež nejčastěji tvoří pravidelné uspořádání nazývané krystalová mřížka. Složením atomů pak vznikají tzv. fáze. Ty se vzájemně liší svou krystalovou strukturou a často i chemickou skladbou a fyzikálními vlastnostmi.

Sledováním fázového složení (velikosti, tvaru, rozložení fází), jakož i poruch struktur (např. pórů, trhlin a vměstků) za pomoci elektronových nebo optických mikroskopů pozorujeme mikrostrukturu materiálu. Se znalostí mikrostruktury materiálu a jeho vlastností lze vyrobit materiál určité kvality, popřípadě při jeho selhání je možno provést nápravná opatření.



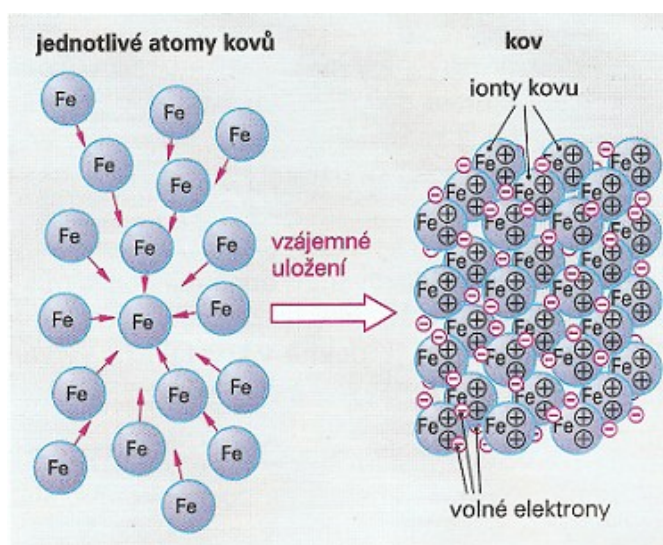
Obrázek 1: Stavba kovových materiálů [4]

Rozlišujeme následující druhy vazeb mezi atomy:

Iontová vazba (heteropolární) vzniká sloučením atomů s malou elektronegativitou s atomy se silnou elektronegativitou. Atom prvku s menší elektronegativitou předá sousednímu atomu s vyšší elektronegativitou valenční elektrony (tj. elektrony z vnějších vrstev) a stane se z něho kladný iont. Naproti tomu, z atomu, který získal valenční elektrony, se stane záporný iont. Předání elektronů se děje podle Kosselovy teorie s cílem doplnění valenčního orbitu na úroveň příslušného inertního plynu.

Kovalentní vazba (homeopolární) pojí atomy se stejnou elektronegativitou. Vytváří se překrytím valenčních orbitalů atomů za vzniku elektronového páru.

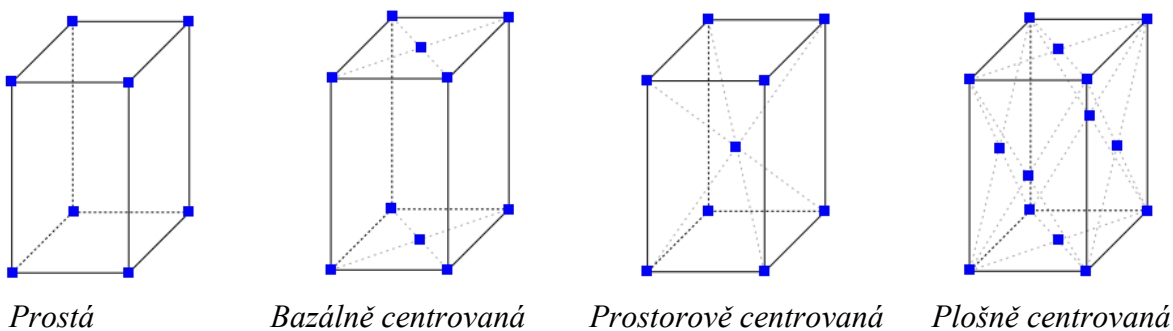
Kovová vazba představuje pro kovy typickou modifikaci vazby kovalentní. Jsou pro ni charakteristické volně pohyblivé elektrony. Kovové prvky mají malou elektronegativitu, což způsobuje ochotu poskytovat valenční elektrony do vazeb a tvořit kationty. Elektrony se volně pohybují a vytvoří v mřížce mezi kationty velice pohyblivou mlhu elektronů (mrak). Elektrické přitažlivé síly mezi záporně nabitým elektronovým plynem a kladně nabitými ionty kovů způsobují pevnou soudržnost a současně také pevnost kovových materiálů. Při vložení do elektrického pole dojde k usměrnění velkého počtu elektronů a tím i k vedení elektrické energie. Proto jsou kovy většinou dobré vodiče. Kovová vazba je, na rozdíl od vazby kovalentní, nesměrová. Výsledkem nesměrového charakteru kovové vazby je vznik těsně uspořádaných krystalových struktur, jež jsou u kovů velice časté. Kovová vazba umožňuje velkou tepelnou a elektrickou vodivost, houževnatost a plasticitu.



Obrázek 2: Vznik kovové vazby [4]

Krystalová mřížka kovů je množina určitých význačných bodů, od nichž se odvozuje poloha konkrétních částic v krystalu. Nutno zdůraznit, že se jedná o pojem abstraktní, neboť ve skutečnosti v krystalu žádnou takovou mřížku nenalezneme. Všechny kovy a jejich slitiny (mimo rtuti) jsou za normálních teplot látkami krystalickými, neboť se vyznačují opakovaním určité části uspořádání atomu. Látky se zcela náhodným uspořádáním atomu se označují jako amorfní (např. sklo a pryž). V této souvislosti je třeba zmínit, že i některé slitiny lze za extrémních podmínek (velmi rychlým ochlazením) připravit v amorfním stavu (tzv. *kovová skla*).

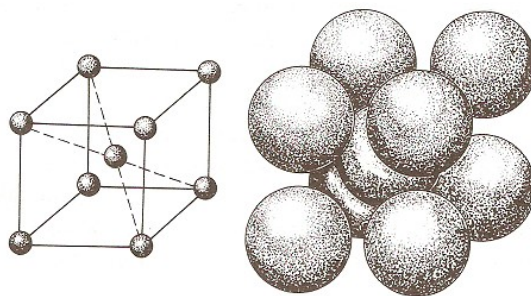
V krystalové mřížce definujeme tzv. *elementární buňku*. Elementární buňka se volí více způsoby, ale hlavními požadavky jsou minimální objem, maximální počet pravých úhlů a minimální počet mřížkových bodů. Elementární buňky rozlišujeme podle počtu mřížkových bodů na: prosté, bazálně centrované, prostorově centrované a plošně centrované.



Obrázek 3: Druhy elementárních buněk [8] (upravené)

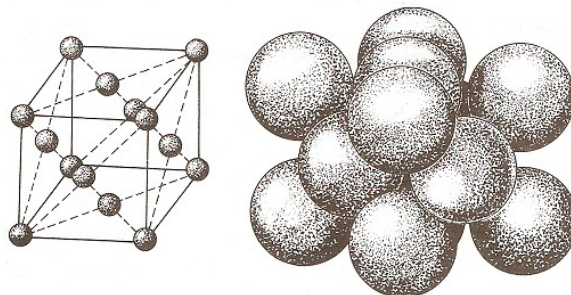
Kovy krystalizují především ve třech druzích krystalových mřížek:

- a) *Krychlová prostorově středěná krystalová mřížka (bcc)* má elementární buňku tvořenou krychlí s atomy umístěnými ve vrcholech a v průsečíku tělesových úhlopříček. Kovy s touto krystalovou mřížkou jsou za studena málo plastické. V této soustavě krystalizuje železo α a δ , chrom, lithium, draslík, molybden, sodík, tantal, wolfram, vanad, rubidium, cesium, baryum, niob.



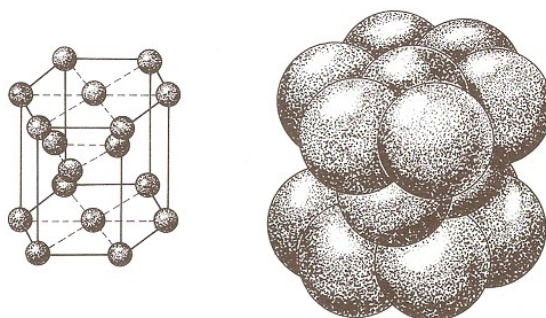
Obrázek 4: Krychlová prostorově středěná krystalová mřížka [3]

b) *Krychlová plošně středěná krystalová mřížka (fcc)* má elementární buňku tvořenou krychlí s atomy umístěnými v rozích a uprostřed. Jedná se o mnohem těsnější uspořádání než předchozí. Kovy s touto krystalovou mřížkou jsou velmi tvárné. V této soustavě krystalizuje vápník, stroncium, hliník, železo γ , rhodium, iridium, nikl, palladium, platina, měď, stříbro, zlato, olovo.



Obrázek 5: *Krychlová plošně středěná krystalová mřížka [3]*

c) *Hexagonální krystalová mřížka (hcp)* je specifická tím, že jejím základním tvarem je šestiboký hranol s atomy v rozích a ve středech obou základů, přičemž tři atomy leží uvnitř elementární buňky. V této soustavě krystalizuje zinek, kadmium, hořčík, beryllium, titan, zirkon, kobalt, ruthenium a další.



Obrázek 6: *Hexagonální krystalová mřížka [3]*

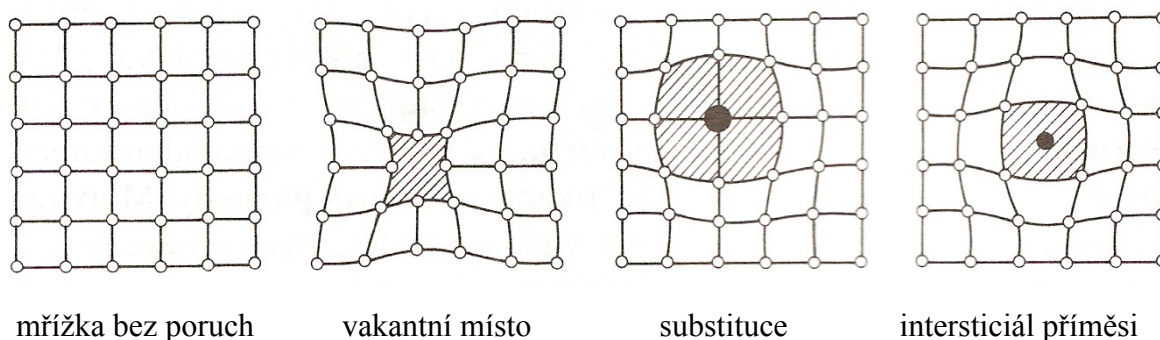
Pojem *polymorfie* označuje jev spočívající ve změně mřížek rekystalizací nebo alotropickou přeměnou za různých teplot. Jednotlivé krystalické stavy se nazývají *modifikace* a označují se řeckými písmeny. Příkladem polymorfní látky je uhlík a fosfor.

Kovové látky jsou obvykle polykrystalické struktury, tedy tvoří je shluky většího počtu krystalů (monokrystal je tvořen jedním krystalem). Při krystalizaci polykrystalické látky nevznikají krystaly zcela pravidelné, ale tzv. *zrna*.

Nepřítelnosti, tj. *mřížkové poruchy*, způsobují nižší pevnost, stárnutí, křehnutí, přemísťování atomů (difuzi) a změny elektrických a magnetických vlastností kovů.

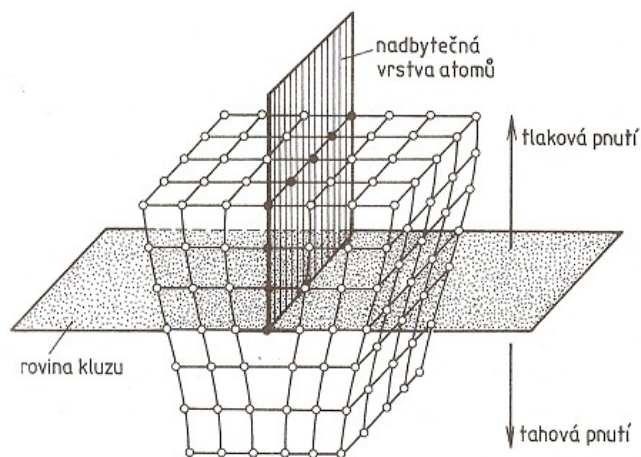
Mřížkové poruchy se dělí z hlediska prostorového na poruchy bodové, čárové, plošné a prostorové.

- a) *Bodové poruchy* vznikají neobsazením některých míst v uzlových bodech krystalové mřížky (tato prázdná místa jsou označována jako vakantní) anebo jejich obsazením atomy cizích prvků (tj. substitucí a intersticiálem příměsi). V okolí poruch má mřížka velké napětí.



Obrázek 7: Bodové poruchy krystalové mřížky [3] (upravené)

- b) *Čárové poruchy* se rozkládají v krystalu podél myšlené čáry. Nejpodstatnějšími čárovými poruchami jsou dislokace, tj. nadbytečné vrstvy atomů. Dislokace, jež dělíme na hranové a šroubové, vznikají během tuhnutí kovů a způsobují tahová a tlaková napětí. *Metalografii* zajímá zvláště hustota a pohyb dislokací.



Obrázek 8: Schéma čárových poruch krystalové mřížky – dislokace [3]

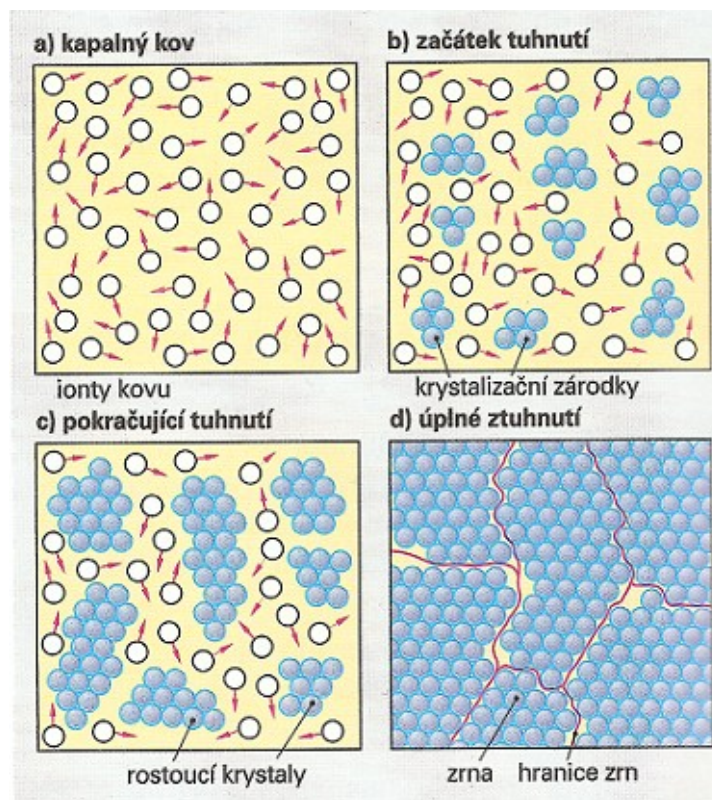
- c) *Plošné poruchy* jsou kategorií poruch krystalové mřížky, do níž jsou řazeny poruchy *hranice zrn*, poruchy *mezifázové hranice* a poruchy *povrchu krystalu*. *Hranice zrn* vznikají polykrystalickou povahou kovových materiálů. Při tuhnutí kovu se objevují zárodky krystalické fáze na více místech, krystaly rostou, až do doby kdy se spojí. Struktura výsledného ztuhlého kovu je tvořena zrny

s různou orientací krystalové mřížky. Pro hranice zrn je charakteristická zvýšená rychlost difúze a snížená chemická odolnost. Tohoto poznatku o zvýraznění hranic zrn se využívá při leptání a pozorování mikrostruktury kovů. *Mezifázové hranice* se vyskytují u polyfázových materiálů (viz následující text). Hranice sousedních fází se dělí na koherentní, semikoherentní a nekoherentní. Koherentní mezifázové rozhraní se vyznačuje velmi podobnými parametry sousedních fází, kdy obě krystalové dvojice vzájemně navazují a v okolí hranice dochází k jejich elastické deformaci. Semikoherentní mezifázové rozhraní se vyznačuje větším rozdílem parametrů krystalových struktur sousedních fází. Návaznost struktur je pouze částečná a rozdíly mezi fázemi musí být kompenzovány přítomností hranových dislokací na rozhraní. U nekoherentního mezifázového rozhraní jsou velké rozdíly parametrů sousedních krystalových struktur. Elastická deformace v okolí hranice nevzniká a struktury na sebe nenavazují. *Povrch krystalu* je tvořen atomy, které jsou slaběji vázány ve struktuře krystalu než uvnitř. Na povrchu probíhá difúze rychleji. Povrch krystalu může být deformován nebo znečištěn. Vlastnosti povrchu jsou určující např. pro opotřebení, únavu materiálu či korozní odolnost.

- d) *Prostorové (objemové) poruchy* tvoří nejčastěji dutiny a mikrotrhliny vzniklé při výrobě. Dutiny vznikají rozdílem mezi měrným objemem roztavené a ztuhlé slitiny (při tuhnutí se objem zmenšuje) nebo je způsobují plyny v tavenině, které se projevují jako bubliny. Trhliny jsou následkem vnitřního pnutí materiálu, nejčastěji při ochlazování. Do těchto poruch řadíme rovněž vniknutí cizorodé částice - vměstku. Prostorové poruchy se projevují při lomovém porušení materiálu.

2.1 Vznik struktury kovu

V kapalném kovu - tavenině se ionty s volnými elektrony pohybují zcela neuspořádaně. Při ochlazování taveniny postupuje tuhnutí, při němž se začíná tvořit určité uspořádání stavebních jednotek v prostoru - struktura. Nejprve první ionty kovů vytvářejí krystalizační zárodky a následně krystalové mřížky. Nepravidelné krystaly (zrna) narůstají tak dlouho, dokud nenarazí na sousední krystaly. Zrna spolu sousedí hranicemi zrn. Vznik struktury kovu znázorňuje následující obrázek.



Obrázek 9: Vznik struktury kovu [4]

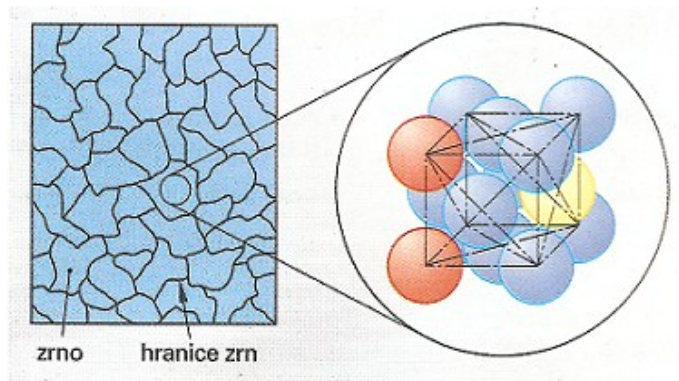
2.2 Mikrostruktura kovových materiálů

Sledováním fázového složení a poruch struktur za pomoci elektronových nebo optických mikroskopů pozorujeme mikrostrukturu materiálu. Na tomto místě je zapotřebí zdůraznit, že materiál o stejném chemickém složení může mít různou mikrostrukturu (v závislosti na výrobním postupu a zpracování), a tedy i odlišné mechanické vlastnosti.

Struktura *čistých kovů* je tvořena jednou fází, v níž lze spatřit jednotlivá zrna (krystaly). Tvar a velikost zrn ovlivňují vlastnosti kovů.

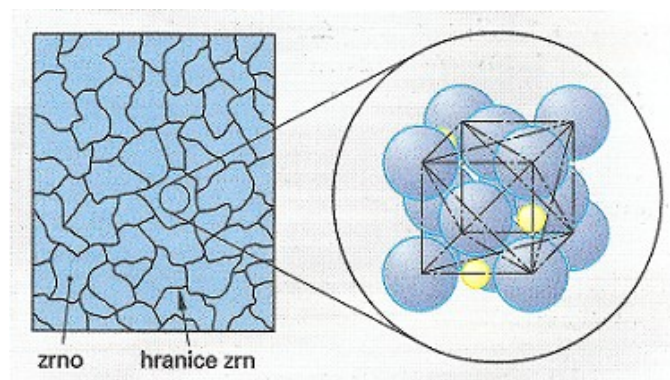
Tuhé roztoky, tj. slitiny dvou a více kovů nebo kovu a nekovu, vytvářející zdánlivě homogenní (stejnorodou) strukturu. Vyskytují se pouze v určitém tepelném rozmezí a koncentraci přídavného (legovacího) prvku. Jsou označovány řeckými písmeny. Obsahují krystalovou mřížku základní složky, kterou je čistý kov nebo chemická sloučenina. Atomy příměsového prvku jsou uloženy v krystalové mřížce základního kovu. Podle typu umístění rozlišujeme dva typy tuhých roztoků.

- Tuhý roztok substituční*, jsou-li vlastnosti atomů legovacího prvku a základního kovu podobné. Atomy přídavného prvku a základního kovu se zastupují. Do této kategorie patří např. nikl, mangan, chrom, křemík se železem nebo zlato se stříbrem a měď s niklem.



Obrázek 10: Struktura se směsnými krystaly substitučními [4]

- b) *Tuhý roztok intersticiální*, jenž se vyznačuje menšími atomy přídavného prvku umístěnými v prostoru krystalové mřížky mezi atomy základního kovu. Do této skupiny náleží např. uhlík, dusík, vodík a bor se železem.



Obrázek 11: Struktura se směsnými krystaly intersticiálními [4]

V *polyfázových materiálech* přísady přesáhnou mez rozpustnosti v základním kovu v tuhém stavu a nadbytečné množství po ztuhnutí slitiny vytvoří v její mikrostruktuře novou fázi. Jejich mikrostruktura je tvořena tuhým roztokem α legujícího prvku v základním kovu a další fází nebo více fázemi. Vznikají tzv. *intermediální fáze*, tj. sloučeniny prvku základního a legujícího.

Základní informace o fázovém složení a morfologii jednotlivých fází daného systému nám poskytne rovnovážný stavový diagram tohoto systému.

Složka slitinových systémů označuje čistý kov nebo nekovový prvek.

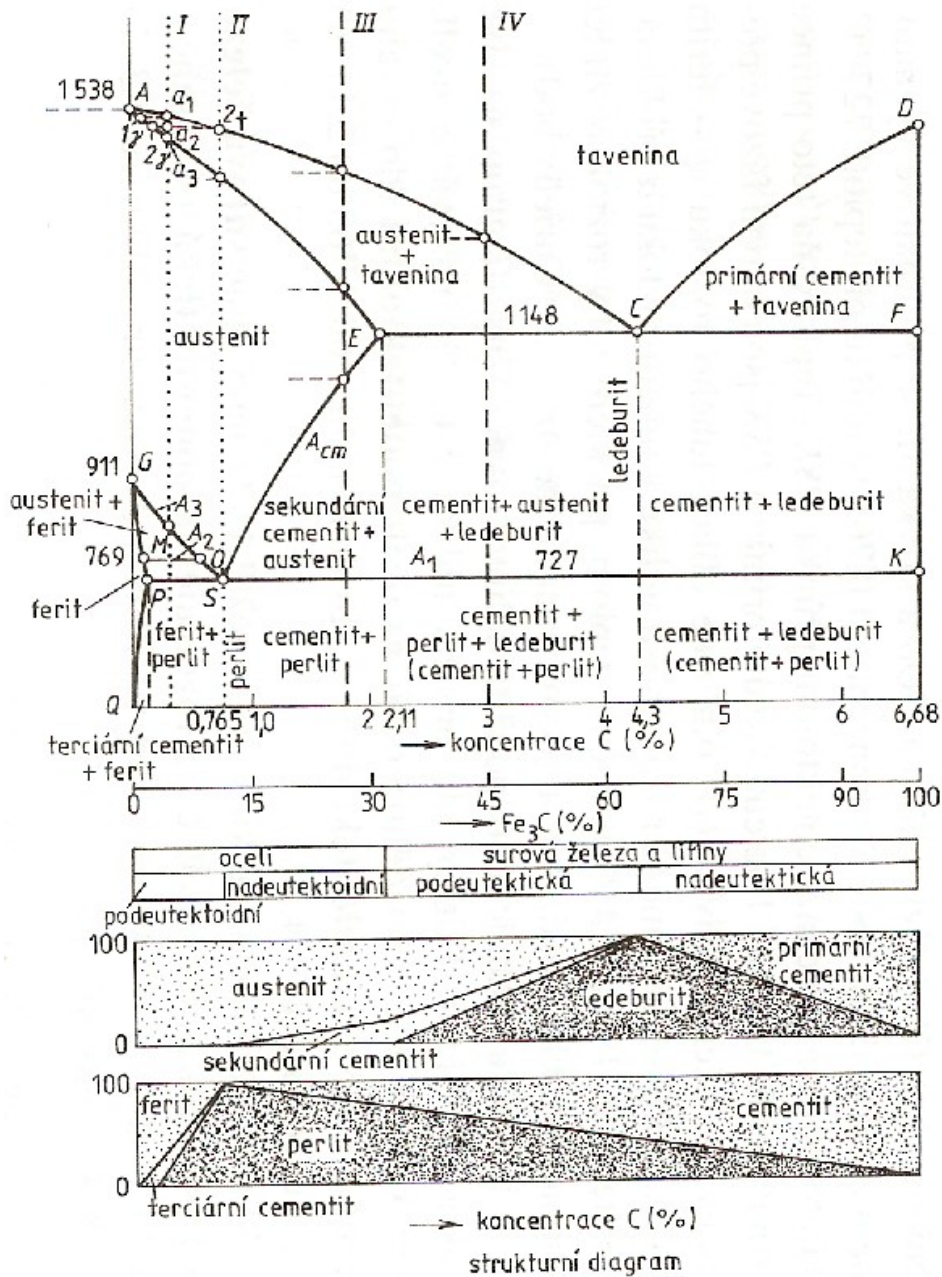
Fáze je homogenní část slitiny, která je od ostatních částí oddělena rozhraním. Liší se skupenstvím, chemickým složením, fyzikálními vlastnostmi a pevné fáze krystalovou strukturou.

Fázová přeměna znamená změnu jedné fáze v druhou vlivem vnějších podmínek nejčastěji teplem.

Rovnovážné stavové (fázové) diagramy popisují fáze (druh, složení, množství) přítomné ve slitině v závislosti na jejím celkovém složení a vnějších podmínkách (nejčastěji na teplotě). Jedná se o rovnovážné diagramy metastabilní a stabilní soustavy.

Podle metastabilní soustavy železo - cementit krystalizují oceli, podle stabilní soustavy železo - grafit krystalizují litiny (těmi se ale tato bakalářská práce nezabývá).

2.3 Metastabilní soustava železo - cementit



Obrázek 12: Metastabilní soustava železo – cementit [3]

Tento diagram tvoří body a čáry, které oddělují jednotlivé fáze a jejich směsi. Na digramu je zobrazena tekutá fáze likvidus L a tuhé fáze ferit α , ferit δ , austenit γ a cementit Fe_3C .

S koncentrací do 2,11% uhlíku vznikají oceli, jež se dále dělí na podeutektoidní a nadeutektoidní. S obsahem uhlíku vyšším potom vznikají surová železa a litiny, které se člení na podeutektické a nadeutektické.

Ferit je tuhý roztok uhlíku v železe α . Železo α rozpouští maximálně 0,018 % uhlíku, a to při teplotě 727°C (při běžné teplotě rozpouští jen 0,008 % uhlíku). Má krychlovou prostorově středěnou krystalovou mřížku. Tvoří světlé krystalky nelegovaných podeutektoidních houževnatých ocelí. Je měkký a tvárný s tvrdostí přibližně 75 HBW a pevností kolem 260 MPa. Do teploty 760°C je feromagnetický (ferit α) a při vyšších teplotách je paramagnetický (ferit β). Nad peritektickou teplotou 1390°C se austenit přemění na ferit δ , který má stejnou strukturu jako ferit α .

Austenit je tuhý roztok uhlíku v železe γ . Železo γ rozpouští maximálně 2,11 % uhlíku, a to při teplotě 1148°C. Krystalová mřížka austenitu má plošně středěný charakter. Austenit je nemagnetický, měkký, houževnatý světle šedé barvy a je tvárnější než ferit.

Cementit neboli karbid triželeza Fe_3C obsahuje 6,68 % uhlíku. Je feromagnetický do teploty 217°C a krystalizuje v rombické soustavě. Jeho krystaly mají světlou barvu. Jedná se materiál velice tvrdý (650 HV) a křehký. V rovnovážném diagramu se nachází v těchto podobách:

- a) *Primární cementit* Fe_3C_I - tvoří jehlicovité útvary v bílé litině. Odlitky z této litiny jsou obtížně obrobitelné.
- b) *Sekundární cementit* Fe_3C_{II} - je vylučován austenitu pod čarou ES.
- c) *Terciární cementit* $\text{Fe}_3\text{C}_{III}$ - se vylučuje z feritu segregací, tj. rozpadnutím přesyceného tuhého roztoku.

V souvislosti s problematikou metastabilních soustav je vhodné zmínit několik slov také o eutktoidní přeměně, eutektické přeměně a peritektické přeměně.

Eutektoidní přeměna probíhá při teplotě 727°C na eutektoidní čáře PSK, nazývané též eutektoidála. Na křivce chladnutí se projevuje prodlevou. Vyjadřuje třífázovou rovnováhu: $\gamma \leftrightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (austenit překrystalizuje na směs feritu a cementitu a naopak).

Eutektická přeměna probíhá při teplotě 1148°C na eutektikále ECF. U ocelí se s ní nesetkáme. Představuje třífázovou rovnováhu: $L \leftrightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ (tavenina rekrystalizuje na směs austenitu a cementitu a naopak).

Peritektická přeměna probíhá při teplotě 1390°C na peritektické čáře HJB. Rovnice je: $L + Fe_{\delta} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ (tavenina reaguje s δ -feritem za vzniku austenitu).

Eutektikum je ledeburit fázová směs složená z austenitu a cementitu. Odpovídá mu bod C ve fázovém diagramu a obsah uhlíku 4,3%. Ledeburit se vyskytuje v oblasti nad 2,11 % uhlíku. Je křehký a má bílé lesklé velmi tvrdé krystaly.

Perlit vzniká eutektoidní fázovou přeměnou a je to směs složená z feritu a cementitu. Odpovídá mu bod S a obsah uhlíku 0,765 %. Při rychlém ochlazování se jedná o lamelární perlit. Perlit má lesklé krystaly s tvrdostí 190 – 350 HBW a pevností $R_m = 700 - 1200$ MPa. Při pomalém ochlazování tvoří perlit zrníčka a je označován jako globulární (je měkčí a lépe tvárný).

Podutektoidní oceli mají obsah uhlíku v rozmezí 0,02 až asi 0,8 %. Obsahují dvě fáze - austenit a perlit při teplotách nad A_1 , pod touto teplotou perlit a ferit. Jsou houževnaté a feromagnetické. U ocelí s obsahem uhlíku do 0,02 % se nevyskytuje austenit a struktura je perlitická s feritem na hranicích zrn.

Nadeutektoidní oceli mají obsah uhlíku v rozmezí 0,8 až 2,11 %. Struktura se skládá ze dvou fází perlitu a cementitu. Cementit krystaluje v takzvaném síťoví na hranicích zrn. Tyto oceli mají vyšší tvrdost.

Přeměnam v rovnovážném diagramu z důvodu odlišné rozpustnosti uhlíku v tuhých roztocích se říká *nonvariantní reakce*.

Teplota eutektoidní přeměny, $727^{\circ}\text{C} = A_1$ (křivka PSK).

Teplota rekrystalizace austenitu na ferit, $727^{\circ}\text{C} - 911^{\circ}\text{C} = A_3$ (křivka GS).

Hranice rozpustnosti uhlíku v austenitu, $727^{\circ}\text{C} - 1147^{\circ}\text{C} = A_{cm}$ (křivka SE).

2.4 Přehled nejpoužívanějších legovacích prvků

Pro zlepšování vlastností (tvrdost, pevnost, prokalitelnost, popř. odolnost proti korozi) u ocelí a litin se do taveniny přidávají tzv. *legovací prvky*. Ty mohou i v nepatrném množství zcela změnit parametry materiálu.

Používané *legovací prvky* jsou: chrom, nikl, mangan, křemík, molybden, wolfram, vanad, kobalt, titan, hliník, měď, niob, zirkon, bor. Legovací prvky se dělí na austenitotvorné (nikl, mangan, měď) snižující teplotu A_3 a zvyšující teplotu A_4 (rozšiřují oblast austenitu) a feritotvorné (chrom, křemík, molybden, wolfram a vanad) zvyšující teplotu A_3 a snižující teplotu A_4 (zuzují oblast austenitu). Některé legovací prvky se slučují s uhlíkem a tvoří karbidy (chrom, molybden, wolfram, vanad, titan). [3]

Legovací prvek	Značka	Vlastnosti
Nikl	Ni	Neomezeně rozpustný v γ a částečně v α , rozšiřuje oblast γ , zvětšuje prokalitelnost a houževnatost, u nezušlechtěných ocelí zvyšuje pevnost, legura korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí, u litin zjemňuje a zrovnoměrňuje strukturu.
Mangan	Mn	Neomezeně rozpustný v γ a v malé míře v α , rozšiřuje oblast γ , zvětšuje prokalitelnost, tvrdost, pevnost, legura korozivzdorných, žárovevných a odolných proti opotřebení ocelí, u litin zvyšuje tekutost, tvrdost a křehkost.
Chrom	Cr	Neomezeně rozpustný v α a částečně v γ , zužuje oblast γ , karbidotvorný, zvětšuje odolnost proti korozi, žáruvzdornost prokalitelnost, pevnostní odolnost, snižuje opotřebení, u litin zvyšuje tvrdost.
Křemík	Si	Částečně rozpustný v α i v γ , zužuje oblast γ , působí grafitizačně, zvyšuje odolnost proti oxidaci i za zvýšených teplot, pevnostní vlastnosti prokalitelnost snižuje hysterezní ztráty mezi ohřevem a chladnutím, u litin zvyšuje tekutost, snižuje obsah uhlíku a zvětšuje vznik bublin a pórů.
Molybden	Mo	Částečně rozpustný v α a menší míře v γ , zužuje oblast γ , je silně karbidotvorný, zvyšuje prokalitelnost, mez tečení odolnost proti korozi a opotřebení, vyvolává vytvrzení, u litin zvyšuje pevnost a zrovnoměrňuje strukturu.
Wolfram	W	Částečně rozpustný v α i v γ , zužuje oblast γ , silně karbidotvorný, zlepšuje prokalitelnost, odolnost proti ztrátě pevnosti při popouštění, zvyšuje odolnost proti opotřebení a žárupevnost a vyvolává vytvrzení.
Vanad	V	Neomezeně rozpustný v α a částečně v γ , zužuje oblast γ , silně karbidotvorný, zvětšuje prokalitelnost, odolnost proti ztrátě pevnosti při popouštění, zvyšuje tvrdost a žárupevnost a vyvolává vytvrzení.

Tabulka 1: Přehled nejpoužívanějších legovacích prvků [3]

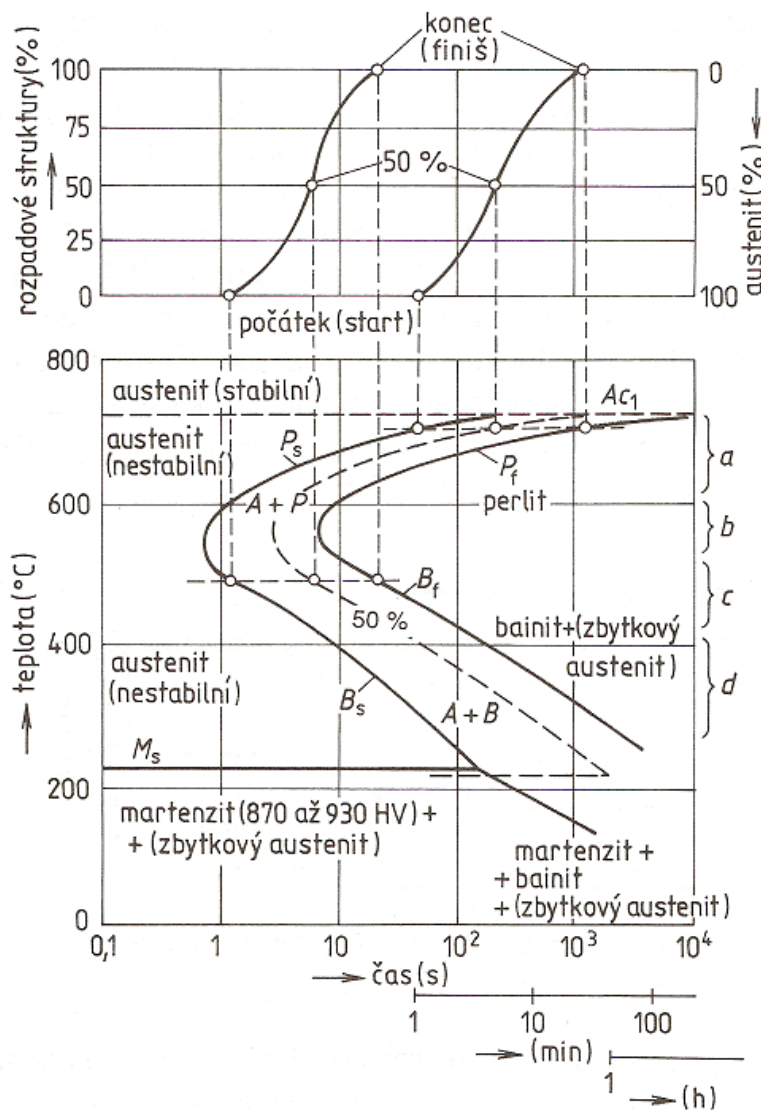
2.5 Tepelné zpracování

Vlastnosti kovových materiálů odvisí nejen od chemického složení, ale hlavně od jejich struktury, tedy od množství, tvaru, velikosti a rozložení jednotlivých fází. Požadovaná struktura se získává především tepelným zpracováním, tj. ohřevem materiálu určitou rychlostí na danou teplotu, výdrží na této teplotě a následným ochlazováním určitou rychlostí na teplotu konečnou. Popsaný proces se může i opakovat.

Změnou rychlosti ochlazování lze ovlivnit například rozpad austenitu. Ten rozlišujeme izotermický a anizotermický.

a) *Izotermický rozpad austenitu*

Slitina se ohřeje do oblasti austenitu, na této teplotě se ponechá, dokud neproběhne úplná austenizace, a pak se prudce ochladí na určitou teplotu. Z křivek rozpadu při různých teplotách nižších než je teplota A_{C1} vyneseme počátky a konce rozpadu do společného diagramu v závislosti na teplotě a čase a tím dostaneme diagram IRA. Jedná se o diagram izotermického rozpadu austenitu, někdy nazývaný S diagram (viz následující obrázek).



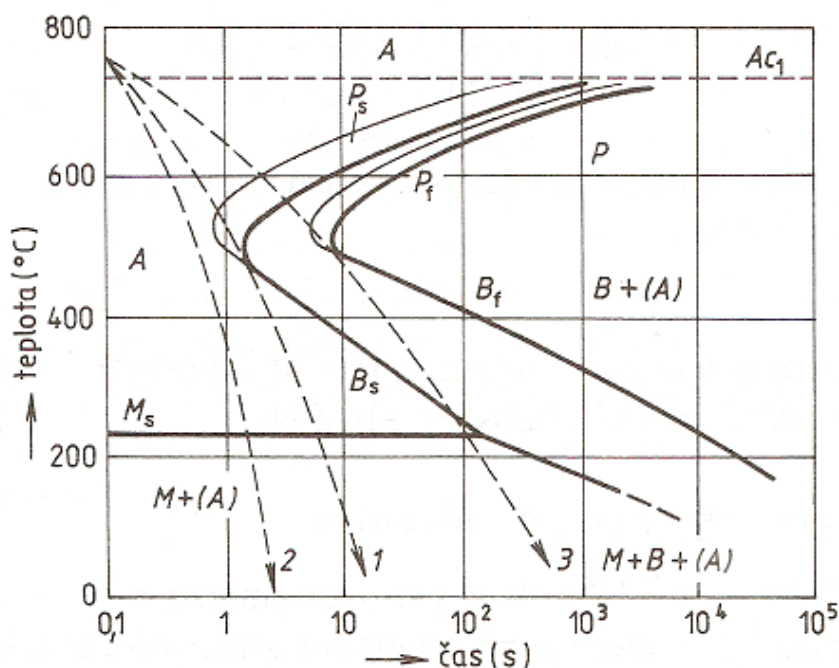
Obrázek 13: Diagram IRA pro eutektoidní ocel [3]

Na obrázku shora je vidět tzv. nos kolem teploty 550°C. V oblasti nad nosem vzniká lamelární perlit, který je nejjemnější při teplotách u nosu křivky. V oblasti pod nosem vzniká bainit a zbytkový austenit. Bainit má vysokou pevnost a poměrně vysokou houževnatost. Podle toho, při jakých teplotách bainit vznikne, rozeznáváme bainit horní s malou tvrdostí a pevností a bainit spodní s velkou tvrdostí a pevností až 1500 MPa. Pokud austenit prudce ochladíme pod M_s , potlačí se difúzní jevy a přemění se pouze mřížka z γ v α , a to na jehlicovité až diskové útvary nazývané martenzit. Martenzit je přesycený tuhý roztok uhlíku v železe α s velkou tvrdostí a křehkostí. U eutektoidních ocelí leží čára M_f pod bodem mrazu.

Legující prvky mají velký vliv na polohu a tvar rozpadových křivek. Kromě kobaltu totiž všechny zpomalují rozpad austenitu a tím zvětšují inkubační dobu. Některé přísady oddělí perlitickou a bainitickou část a vytvoří dva nosy.

b) *Anizotermický rozpad austenitu*

Anizotermický rozpad austenitu nastane, pokud materiál z austenizační teploty ochlazujeme plynule. To je při tepelném zpracování častější. Pro každou rychlost ochlazování zjistíme teplotu počátku a konce přeměn a z nich sestavíme diagram ARA. Diagram anizotermického rozpadu austenitu je diagramu IRA velice podobný (viz následující obrázek).



Obrázek 14: Diagram ARA pro eutektoidní ocel s diagramem IRA (tenké čáry) [3]

K tepelnému zpracování může dále docházet například žháním, kalením a popouštěním, patentováním, tepelně mechanickým zpracováním, rozpouštěním, vytvrzováním či povrchovým tvrzením (povrchové kalení, cementování, nitridování a nitrocementování).

3 Optická mikroskopie kovů [1, 3, 7]

Optická neboli světelná mikroskopie je nejpoužívanější a nejstarší experimentální technika zkoumání kovů. Jedná se o pozorování, popř. i fotografické dokumentování projevů vnitřní stavby kovů a slitin pomocí odrazu světelných paprsků od povrchu připravených metalografických výbrusů. Při optické mikroskopii je možno rozšířit barevný kontrast strukturních složek materiálu za pomoci přidavných zařízení optického mikroskopu nebo vhodné úpravy vzorku. Strukturní součást lze také odlišit klasicky černobílým kontrastem.

Optický mikroskop využívá zákonů světelné optiky, přičemž umožňuje pozorovat strukturní útvary s rozměrem v rovinném řezu v rozmezí 10^3 až 10^6 nm. Základními částmi optického mikroskopu jsou objektiv a okulár. Mezi hlavní parametry světelného mikroskopu patří rozlišovací schopnost, hloubka ostrosti a užitečné a celkové zvětšení.

Rozlišovací schopnost objektivu d je vzdálenost dvou bodů, které jsou při pozorování mikroskopem od sebe rozlišitelné. Je určena podílem vlnové délky světla pro použité osvětlení λ a numerickou aperturou objektivu A ($d = \lambda / A$). Rozlišovací schopnost lze zlepšit použitím objektivu s vyšší hodnotou numerické apertury A , použitím imerzních objektivů či světelných filtrů propouštějících kratší vlnovou délku.

Hloubka ostrosti H umožňuje zobrazit předměty ležící mezi dvěma rovinami. Pro zvětšení hloubky ostrosti jsou optické mikroskopy vybaveny aperturní clonou, která reguluje kužel procházejících světelných paprsků. Optický mikroskop je schopen dosáhnout hloubky ostrosti 0,05 μm , ve zvláštních případech i vyšší.

Celkové zvětšení mikroskopu je dáno součinem zvětšení okuláru a objektivu. Hodnota zvětšení se v metalografii pohybuje v rozmezí 100 x až 1000 x. Celkové zvětšení nemá překročit užitečné zvětšení. Pokud se toto pravidlo poruší, ve struktuře nejsou vidět další detaily a jedná se o tzv. prázdné zvětšení. V tomto případě je nutno použít objektiv s větším zvětšením a s větší numerickou aperturou.

Základní metodiku optické světelné mikroskopie představuje pozorování ve světelném poli, jež využívá kolmé osvětlení vzorků a pozorování odraženého světla. Při tomto způsobu osvětlení není dostatečný kontrast. Ten lze zlepšit pomocí šikmého osvětlení, kdy je vzorek osvětlován asymetricky tím, že je vysunuta aperturní clona mimo optickou osu mikroskopu. Nutno podotknout, že touto metodou se sice zvýší kontrast, ale částečně se sníží hodnoty tzv. otvorového úhlu objektivu. Nejvýhodnější metodou je pozorování v tmavém poli, kdy je zachován otvorový úhel objektivu a současně zvýšen

kontrast. Tohoto stavu je možno dosáhnout šikmým symetrickým osvětlením povrchu vzorku. Objektiv nezachytí paprsky odražené od ploch kolmých na optickou osu objektivu. Paprsky odražené od povrchových nerovností vytvářejí na tmavém pozadí výborný kontrast. Využití této metody je ale limitováno tím, že při ní dochází ke ztrátě světelné intenzity.

Optický mikroskop je nenáročný na údržbu a obsluhu. Jeho nevýhodou však je omezené zvětšení a malá hloubka ostroty.

V případech, kdy optická mikroskopie nedostačuje, je vhodné použít mikroskopii elektronovou. Ta využívá jevů vznikajících při interakci dopadajících svazků elektronů s tuhou látkou. Elektrony se urychlují napětím v řádech desítek až stovek kV a vlnová délka je v porovnání s viditelným světlem o 4 až 5 řádů nižší. Tím se u kvalitních elektronových mikroskopů dosahuje rozlišovací schopnosti kolem 0,1 nm, tj. zvětšení až 1 000 000 x (v praxi bývá zvětšení do 100 000 x). Nutno dodat, že elektronová mikroskopie vyžaduje práci ve vakuu.

Jevy vznikající při dopadu svazků elektronu na vzorek způsobují, že část elektronů projde látkou a elektrony se rozptýlí díky interakcím s jejími atomy. Další elektrony se zase od atomů látky pružně odrazí a postupně jsou vyzářeny jako tzv. odražené elektrony. Některé z elektronů svazku vytvářejí emisi slabě vázaných elektronů vnějších energetických hladin atomů v pevné látce (jedná se o sekundární elektrony). Díky excitaci elektronů z energetických hladin v pevné látce vzniká rentgenové záření (viz následující obrázek).



Obrázek 15: Elektrony [1]

Elektronová mikroskopie se používá jako rastrovací nebo jako transmisní.

- a) *Rastrovací elektronová mikroskopie* (SEM, REM) využívá emise elektronů sekundárních a odražených. Elektrony jsou vytvářeny wolframovým vláknem

a urychlovány napětím v rozmezí 0,1 – 30 kV. Tvoří svazek, jenž se pohybuje bodově po zkoumaném vzorku po neviditelném rastru. V jednotlivých bodech vznikají signály sekundárních a odražených elektronů. Ty jsou následně zachycovány detektory a elektronicky zpracovány tak, aby vznikl kontrast a uživatel byl schopen pozorovat mikrostrukturu materiálu. Výhodou této metody je, že není nutná speciální příprava vzorků a díky vysoké hloubce ostrosti jí lze pozorovat velmi členité povrchy. Tato metoda je široce používána ke zkoumání lomových ploch porušených součástí a jejich příčin.

- b) *Transmisní elektronová mikroskopie (TEM)* využívá vnitřní zobrazení struktury prvků pomocí prošlých elektronů. Elektrony jsou také vytvářeny wolframovým vláknem, ale jsou urychlovány vyšším napětím elektronů (100 – 400 kV). Při průchodu elektronů dochází ke změně jejich směru a prošlé elektrony jsou soustavou čoček zobrazovány na fluorescenčním stínítku pod vzorkem. Aby prošlo dostatek elektronů, musí být vzorek velice tenký 0,1 μm . Vzorek se proto vytváří jako tenká fólie nebo replika (otisk). Fólie se získává broušením, leštěním a nakonec chemickým nebo elektrolytickým leptáním. Repliky (v praxi se lze setkat s uhlíkovými nebo plastickými) kopírují povrch zkoumaného vzorku. U uhlíkových replik se na vzorek napaří tenká vrstva uhlíku, jež se následně odleptá. U replik plastických je princip shodný, ale nanáší se koloidní roztok. Tato metoda umožňuje pozorování mikrostruktury a moderní dokonce i studium krystalové struktury a přítomnost fází. V praxi je však díky své složitosti používána méně.

4 Metalografie kovů, zvýraznění struktury [1, 3, 4, 5, 7, 9]

Metalografie je nauka, která se zabývá strukturou kovových materiálů, především rozpoznáváním strukturních fází obsažených v materiálech, množstvím těchto fází a jejich rozložením a tvary. Studium struktury se provádí metalografickými mikroskopy, které mj. umožní nalézt v materiálu nežádoucí vměstky nebo vady. Metalografickými metodami se často zjišťuje jakost tepelného zpracování.

Struktura materiálů se sleduje a vyhodnocuje na speciálně upravených vzorcích - výbrusech. Tyto vzorky o optimální velikosti 20 x 20 mm se odebírají z rozměrnějších součástí tak, aby nedošlo k ovlivnění struktury a následnému zkreslení výsledku pozorování. Postup při výběru oblasti pro vzorek záleží na povaze testovaného materiálu. Pokud není možno odebrat vzorek dostatečných rozměrů (např. u drátů a drobných výrobků), je nutno použít speciálních držáčeků, zalití do pryskyřic (např. dentakryl) či zalisování do bakelitu. Vzorky se číslovají tak, aby byla vyloučena možnost jejich záměny. Ke zpřesnění a usnadnění vyhodnocení je vhodné obstarat všechny možné informace o zkoumaném materiálu jako je chemické složení, způsob prvovýroby, tepelné zpracování, případně technologie v druhovýrobě.

Proto, aby byla vytvořena rovinná plocha vzorku s malou drsností, se následně vzorky mechanicky ručně nebo automaticky brousí. Po broušení se vzorky leští za pomoci jemného prášku ve vodní suspenzi plstěnou tkaninou na otáčejícím se kotouči. Leštění se provádí tak dlouho, dokud nezmizí všechny rýhy po broušení. Používané leštící prostředky jsou: oxid hlinitý (Al_2O_3), oxid chromitý (Cr_2O_3), oxid hořečnatý (MgO) a diamantové pasty.

Broušením a leštěním může výjimečně vzniknout na povrchu vzorku souvislá nežádoucí vrstva určité tloušťky deformovaného materiálu, tzv. Beilbyho vrstva. Při velké náchylnosti k tvorbě Beilbyho vrstvy lze využít elektrolytického leštění, při němž nedochází k tváření a hmota je odstraňována elektrochemicky. Dalším možným řešením je leštění chemické.

Vyleštěný povrch umožňuje pozorovat vady struktury, jako jsou dutiny, barevné nekovové vměstky a jiné nehomogenity, vlastní struktura vzorku (jednotlivá zrna kovových strukturních součástí a fází) ovšem vidět není. Proto se provádí zviditelnění struktury materiálu.

Ke zviditelnění struktury zkoumaných kovů a slitin *metalografie* využívá celou řadu postupů. Tzv. *barevná metalografie* je potom metalografická metoda, při níž se uplatní barva fází jako faktor, jenž rozšiřuje informace o struktuře (některé strukturní části je totiž možné odlišit podle jejich charakteristické barvy).

Pro získání barevného kontrastu mezi jednotlivými složkami struktur materiálu se v *barevné metalografii* používá vhodné osvětlení nebo úprava povrchu vzorku.

Barevného kontrastu vyvolaného způsobem osvětlení vzorku lze docílit použitím polarizovaného světla nebo pomocí diferenciálního interferenčního kontrastu. Barevného kontrastu vyvolaného úpravou povrchu vzorku se pak dosahuje napařením interferenční vrstvy nebo barevným leptáním.

V rámci *barevné metalografie* je nejčastěji přikročeno právě k barevnému leptání, tj. chemickému leptání vyleštěného povrchu, jehož podstatou je vytvoření barevného kontrastu fází za pomoci různých druhů leptadel, díky čemuž lze pak tyto od sebe snadno vizuálně odlišit. Barevné leptání vede k vyvolání buď makrostruktury, nebo mikrostruktury. Leptadla pro vyvolání makrostruktury působí do větší hloubky a selektivně napadají určité oblasti, např. hranice zrn, dislokace, vměstky. Zviditelňují krystalovou orientaci, oblasti plastické deformace a tepelně zpracované oblasti. Leptadla pro vyvolání mikrostruktury působí na hranice zrn a na plochy jednotlivých zrn. Na vyvolání mikrostruktury se nejčastěji používají alkoholové roztoky kyselin (např. Nital, tj. 2% až 54% roztok kyseliny dusičné v ethanolu).

4.1 Osvětlení vzorku polarizovaným světlem

Polarizované světlo je světlo s definovanou polohou rovin kmitání. V *metalografii* se využívá lineárně polarizované světlo s omezenými kmity jen na jednu rovinu pomocí dvojlomných látek. Dvojlomné látky jsou opticky anizotropní, tzn. závislé na volbě směru a rozdělují dopadající paprsek na dva lineární polarizované paprsky.

Lineární polarizované světlo lze v *metalografii* získat pomocí tzv. nicolu z islandského vápence. Nicolův hranol obsahuje dva klíny vybroušené určitým způsobem z čirého krystalu kalcitu, které jsou slepeny kanadským balzámem. Princip nicolu spočívá v tom, že dojde k dvojlomu a polarizaci obou vzniklých paprsků z dopadajícího světla. Vrstvička kanadského balzámu provede absolutní odraz jednoho z paprsků a ten je pohlcen objímkou nicolu. Druhý paprsek prochází dále do optické soustavy mikroskopu. Pokud je mikroskop vybaven dvěma nicolovými hranoly lze odlišit látky opticky izotropní (s kubickou mřížkou) a látky opticky anizotropní (s jinou než kubickou mřížkou), které

jsou dvojlomné. Hranoly se vzájemně natáčejí, přičemž jeden slouží jako polarizátor a druhý jako analyzátor. Jestliže je strukturní složka dvojlomná a vhodně orientovaná, při natočení nicolu se zobrazí v zorném poli. Naproti tomu, u jednolomné strukturní složky je při natočení nicolu zorné pole tmavé a nedojde ke změně.

V soudobé technické praxi se však častěji k polarizaci světla používají polarizační filtry neboli polaroidy. Ty jsou vyrobeny ze dvou vrstev plastického materiálu, mezi nimiž se nacházejí krystalky mikroskopických rozměrů látky zvané herapatit (tj. směs síranu chininu s kyselinou sírovou, kyselinou jodovodíkovou a jodem). Herapatit vykazuje dvojlom, přičemž různě polarizované světelné paprsky se v něm rozdílně absorbují. Jsou-li krystalky herapatitu vhodně uspořádány, z přirozeného nepolarizovaného světla, jež dopadá na polaroid, tento propouští jen lineárně polarizované světlo mimořádného paprsku.

Dalším zdrojem polarizovaného světla mohou být kapalné krystaly.

Za použití polarizovaného světla lze odlišit i strukturní složky ve směsích fází, které při běžné *metalografii* rozpoznat nejdou. Je možno zvýraznit povrchový reliéf naleptaného vzorku a tím u ocelí barevně odlišit jednotlivé perlitické kolonie. Další využití polarizovaného světla se pojí s těžko leptatelnými a anizotropními fázemi grafitu a cementitu.

4.2 Osvětlení vzorku diferenciálním interferenčním kontrastem

Předmětná metoda je založena na štěpení světelného paprsku do dvou nebo více paprsků, které se pro proběhnutí rozdílných optických drah opět spojují a interferují. Při interferenci vzniká barevný kontrast.

V praxi se lze setkat např. s Nomarského metodou diferenciálního interferenčního kontrastu, jež využívá interferenci světelných paprsků, které vytváří dva mírně posunutě obrazy povrchu. V závislosti na velikosti zdvojení se rozlišuje diferenciální interferenční kontrast a polarizační interferenční mikroskopie. U diferenciálního interferenčního kontrastu je zdvojení menší než rozlišovací schopnost lidského oka. U polarizační interferenční mikroskopie je zdvojení obrazu větší než rozlišovací schopnost lidského oka. Pro provádění diferenciálního interferenčního kontrastu je nutno mít přídavné zařízení k metalografickému mikroskopu.

Metoda osvětlení vzorku diferenciálním interferenčním kontrastem slouží ke zvýraznění relativní výškové nerovnosti povrchu (lze zvýraznit jednotlivé výškové

rozdíly mezi zrny, jednotlivé mezivrstvy, hranice zrn a obtížně naleptatelné intermediální fáze).

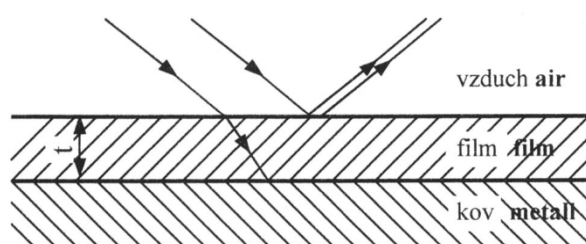
4.3 Úprava povrchu vzorku napařením interferenční vrstvy

Napařením interferenční vrstvy se zvýrazní odlišná odrazivost světla na jiných fázích. Různé fáze mají odlišné spektrum odraženého světla s jiným charakteristickým minimem z hlediska vlnové délky. Při nerovnosti vlnových délek mají fáze v odraženém světle odlišnou barvu, což je důležité při metalografickém rozboru. Napařený materiál musí zajišťovat vhodný index lomu přivedeného světla. Ten se pohybuje mezi 2,4 a 3,2. Napařují se materiály sulfid zinečnatý (ZnS), selenid zinečnatý (ZnSe), tellurid zinečnatý (ZnTe) a oxid titaničitý (TiO₂). K napařování se používá speciální napařovačka, jež není dostupná v běžných metalografických laboratořích, a proto tato metoda není v praxi příliš využívána.

4.4 Úprava povrchu vzorku barevným leptáním

Barevné leptání představuje v metalografické mikroskopii nejdůležitější metodu vyvolání barevného kontrastu. Proto se jí v této bakalářské práci zabývám hlouběji.

Cílem úpravy povrchu vzorku barevným leptáním je vytvořit interferenční povlak reakcí povrchu metalografického výbrusu a barevného leptadla, kdy vzniká transparentní film. Interference světla probíhá v důsledku rozdělení odraženého světla na složky odražené na rozhraní „vzduch – vrstva“ a „kov – vrstva“ (viz následující obrázek).



Obrázek 16: Interference paprsků odražených od vzorků s povlakem [1]

Interferenční jev je závislost vlnové délky světelného zdroje, tloušťky transparentního filmu a indexu lomu světla v tomto prostředí. Nastává, pokud se skutečná dráha světla odraženého od obou povrchů liší o nepatrný násobek.

Maximální barevný kontrast se dosahuje v nejtenčím místě transparentního filmu, který zabezpečuje interferenci. Jedná se přibližně o čtvrtinu vlnové délky. Tloušťka

interferenčního povlaku je závislá na chemickém složení materiálu výbrusu, na složení leptadla a také na době leptání. Z toho plyne, že při zachování druhu leptadla a době leptání se v mikrolokalitách s různým chemickým složením vytvoří různá tloušťka povlaku, a tedy i různá barva jednotlivých mikrolokalit při osvětlení ve světelném poli.

Tloušťka povlaku se má pohybovat v rozmezí 100 až 150 nm. V závislosti na ní se potom se volí chemické složení leptadla. Při metalografických analýzách se používají molybdenová leptadla, horká leptadla a disiřičitanová leptadla.

Molybdenová leptadla vytváří transparentní film redukcí molybdenanu. V praxi se lze setkat s molybdenanem sodným, jenž se připravuje rozpuštěním molybdenanu sodného ve vodě a následným přidáním kyseliny dusičné až na kyselost pH 2,5 až 3. Molybdenan sodný se používá pro ocele a litiny, jež se předleptávají Nitalem. Vzorky jsou do leptacího roztoku vkládány mokré na 45 až 60 sekund. Za pomoci této metody se dá odlišit žluto oranžový cementit a fosfidy s feritem, které jsou bílé. Leptadlo je použitelné přibližně 2 hodiny. Dalším z molybdenových leptadel je kyselina molybdenová. Při leptání se používá její 5 % roztok, do něhož se vzorky vkládají mokré. Odlišuje modrý martenzit a hnědý bainit. Používá se pro chemicko - tepelně zpracované vrstvy.

Horká leptadla vytváří za varu složité chromátové nebo lidické transparentní vrstvy. V této kategorii nelze nezmínit pikrát sodný, jenž se získává rozpuštěním 25 g hydroxidu sodného ve 75 ml vody a následným přidáním 2 g kyseliny pikrové. Roztok se 10 minut povaří. Pikrát sodný vyvolává primární strukturu litin. Jak již naznačeno shora, leptá se ve vřícím roztoku. Tímto leptadlem se nedosahuje velkého kontrastu struktury vzorku, proto se používá jen pro šedé litiny. Zbarvuje fosfidové eutektikum a cementické částice zůstávají bílé. Dalším z horkých leptadel je chroman sodný. Ten se připravuje rozpuštěním 35 g hydroxidu sodného ve 100 ml vody. Po ochlazení se následně rozpustí přísada 5 g oxidu chromového. Opět se leptá ve vřícím roztoku, a to po dobu 1 až 5 minut. Leptání chromanem sodným je vhodné pro všechny druhy litin. Dobře zviditelňuje makrostrukturu a umožňuje zvýraznit tepelně a difúzně ovlivněné vrstvy v místech lokálních ohřevů. Austenit zbarvuje do žluta a martenzit do modra.

Disiřičitanová leptadla obsahují disiřičitanový iont ve formě draselné soli. Draselná sůl se dále rozkládá v přítomnosti kovů na oxid siřičitý, sirovodík a vodík. Sirovodík vytváří s kovem sulfidový film a oxid siřičitý narušuje vrstvy. Používají se metody Klemm, Beraha, Lichtenegger – Bloech a Bloech – Weld. Nevýhodou disiřičitanových leptadel však je, že mají omezenou dobu použití a jejich příprava je poměrně časově

náročná. Proto se u disiřičitanových leptadel připravuje nejprve základní roztok, jenž lze dobře skladovat, a teprve posléze se do něho přidávají požadované přísady. Za zmínku také stojí skutečnost, že některé roztoky připravené podle Beraha obsahují hydrogendifluorid amonný, který reaguje se sklem a může jej naleptat. Složení disiřičitanových leptadel a postup při práci s nimi jsou popsány v praktické části bakalářské práce.

5 Praktická aplikace metalografie na železné kovy: [1]

Praktická část této práce zahrnovala přípravu vzorků pro leptání, výběr a použití jednotlivých typů leptadel a následné vyhodnocení pořízených snímků mikrostruktury železných kovů pomocí optického mikroskopu.

Použité přístroje:

Materiál byl řezán metalografickou pilou MTH MIKRON 110 nebo pásovou pilou. Pokud byly vzorky drobné, byly zalisovány na metalografickém lisu. K broušení a leštění byla použita metalografická bruska MTH KOMPAKT 1031. Po přeleptání byly vzorky vyhodnocovány na optickém mikroskopu Neophot 32 s 5Mpix CCD kamerou Olympus.

Metalografická pila MTH MIKRON 110 byla vybavena plynule měnitelnými otáčkami a indikátorem zátěže. Pro dělení materiálu bylo zapotřebí nalézt vhodný řezný kotouč.

Metalografický lis MTH STANDARD 30 v laboratoři DFJP byl opatřen užitečným návodem k obsluze.

Postup při broušení a leštění byl podrobně popsán v kapitole 3.

Metalografická bruska MTH KOMPAKT 1031 měla plynule měnitelné otáčky a indikátor zátěže. Její obsluha byla velice snadná, stejně jako výměna brusných papírů. Brusné papíry byly při broušení používány postupně, vždy s dvojnásobnou zrnitostí až do zrnitosti 1000. Při broušení bylo dbáno na přítok vody a oplach tak, aby na vzorku nezůstaly nečistoty způsobující vrypky.

Také leštička MTH KOMPAKT 1031 se vyznačovala plynule měnitelnými otáčkami a indikátorem zátěže, jakož i velice snadnou obsluhou. Při leštění bylo užito dvou plstěných leštících kotoučů. Konkrétně, vybroušený vzorek byl nejprve leštěn na kotouči 5/3, na který bylo naneseo velmi malé množství leštící pasty D3. Při leštění byl kotouč mírně zvlhčován lihem. Po ztrátě vrypů po broušení byl použit druhý plstěný kotouč 1/0 s leštící pastou D7, jenž byl po naleštění vzorku zakryt před vniknutím nečistot.

Přeleptané vzorky byly prohlíženy pod metalografickým mikroskopem Meophot 32 zn. Carl Zeiss s digitální kamerou. Tento mikroskop umožňoval zvětšení 25,6 x až 1000 x. Strukturu vzorku bylo možno sledovat okulárem nebo převádět barevnou kamerou Colour View III do počítače. V počítači byl nainstalován program analySIS sloužící k obrazové analýze. Tento software umožňoval snímky barevně upravovat, a to manuálně či

automaticky a měl i řadu jiných užitečných funkcí pro práci se snímky (např. dovozoval dělat do snímků poznámky a vkládat do nich rozměry a měřítka). Rozměry měřil i automaticky. Největším přínosem však nepochybně byla možnost snímků ukládat a následně s nimi kdykoli pracovat a vyhodnocovat je.

Při přípravě vzorku pro leptání je nutno dodržet následující zásady:

1. Vzorek musí být kvalitně leštěn.
2. Vzorek je třeba leptat čerstvě vyleštěný a nikoliv postupně. Pokud chceme leptání opakovat, je nezbytné ho znovu přešetřit (případně i zbrousit).
3. Na leptání je nutno použít čerstvé leptadlo.
4. U leptadel obsahujících hydrogenfluorid amonný musí být použity nádoby z plastu, protože jeho složky rozpouští sklo.
5. Do leptadla je nezbytné vkládat vzorek zásadně mokrý, pokrytý souvislou vrstvou vody. Je vhodné jej předem omýt mýdlem. Vzorkem je třeba v leptadle pohybovat a má být vkládán leptanou plochou nahoru. Leptá se tak dlouho, až vznikne namodralé zbarvení. Tato zásada však neplatí pro horká leptadla, u kterých se suché vzorky vkládají do vřícího neprůhledného leptadla. Doba leptání nelze přesně určit, je vhodné ji odzkoušet.
6. Po vyjmutí vzorku z leptadla je nutno zajistit, aby na povrchu nevznikala suchá místa mezi oplachováním a sušením.
7. U molybdenových leptadel se vzorek leptá po předleptání Nitalem. Nedodržují se tudíž zásady 2 a 5.

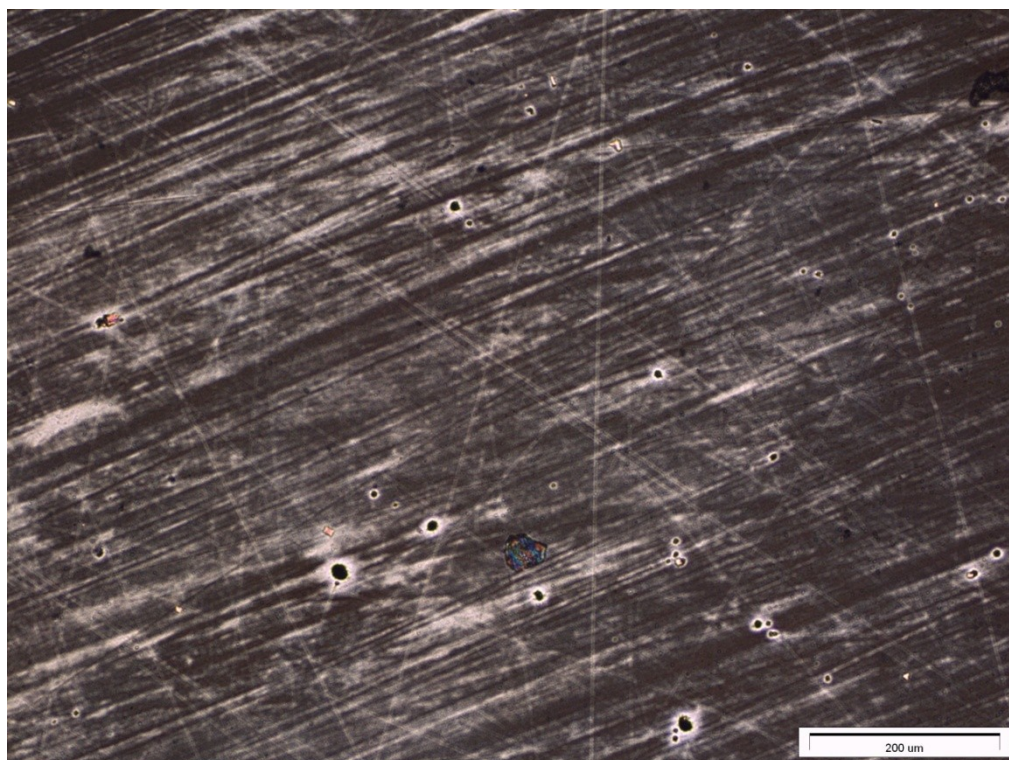
5.1 Disiřičitanová leptadla

5.1.1 Leptání podle Klemma

Leptání podle Klemma je založeno na společném účinku disiřičitanového a thiosíranového anionu. Používané leptadlo Klemm I je vhodné k leptání nízkouhlíkových ocelí, nízkolegovaných a svarových spojů těchto ocelí, manganových austenitických ocelí a grafitické litiny.

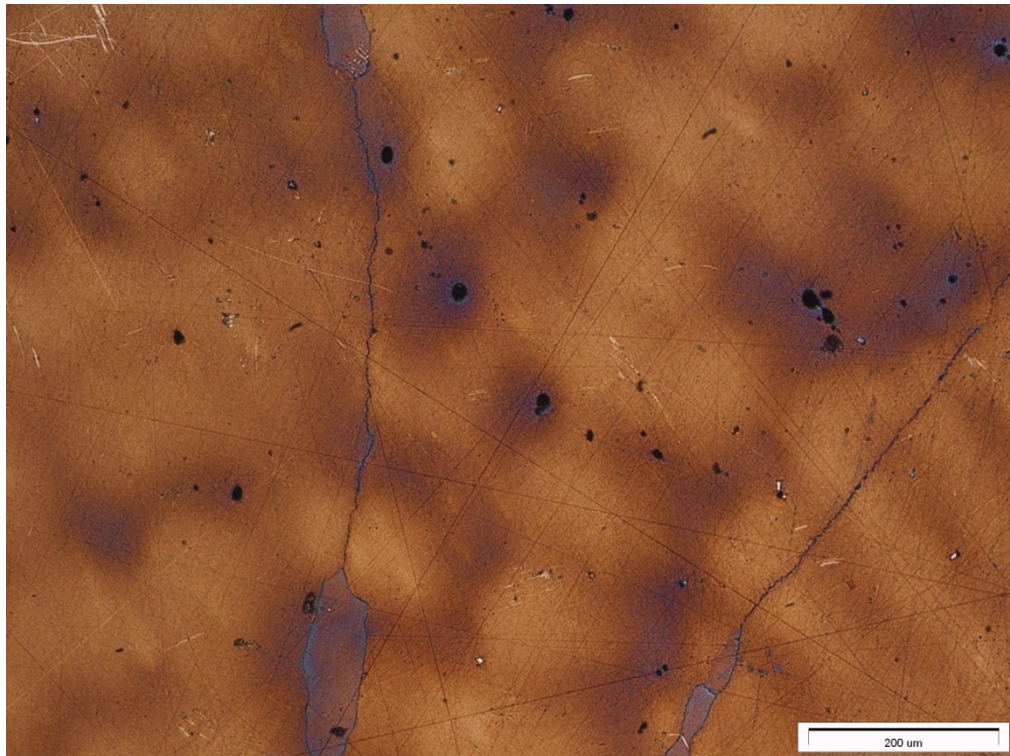
Leptací roztok se připravuje ze základního roztoku, který lze uchovávat. Ten se získává rozpuštěním 1 kg thiosíranu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve 300 ml destilované vody. Před leptáním se do 100 ml základního roztoku přidají 2g disiřičitanu draselného ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Samotný leptací roztok je účinný pouze cca 1 den. Leptání probíhá při pokojové teplotě

a dobu leptání je nutno určit vizuálně podle zbarvení vzorku. V praxi se jedná u ocelí o 1 až 2 minuty a u litin o 4 až 5 minut, v závislosti na typu materiálu a reakci. Vzorky se vkládají do leptadla mokré a po vyjmutí se oplachují. U nízkouhlíkových ocelí jsou po přeleptání feritická zrna tmavá a karbidy zůstávají bílé. Na následujícím snímku je vidět vzorek hadfieldské oceli.



Obrázek 17: Hadfieldská ocel KLEMM

Toto leptadlo se mně v praxi podle uvedených postupů příliš neosvědčilo, jelikož nevytvářelo žádný barevný kontrast (a to ani u jiných vzorků, viz příložené CD). Pro srovnání byl stejný vzorek leptán jen Nitalem, přičemž na vzorku se pěkně zvýraznily trhlinky.

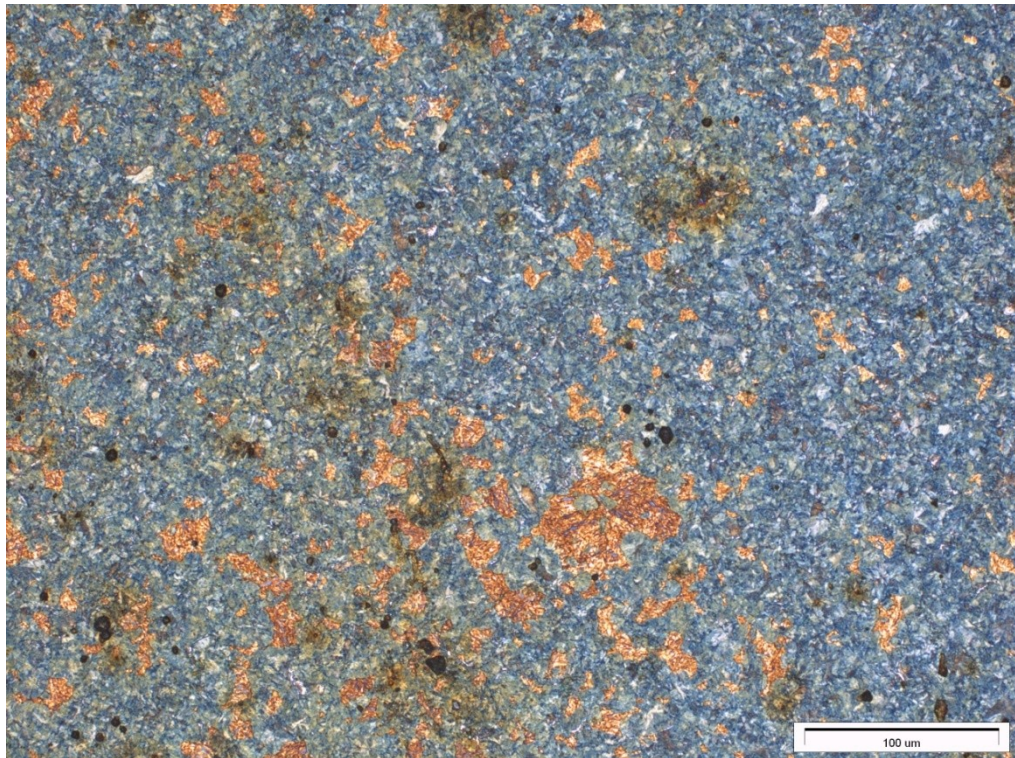


Obrázek 18: Hadfieldská ocel NITAL

5.1.2 Leptání podle Beraha

Při leptání podle Beraha byla použita leptadla Beraha I a Beraha II, jež se od sebe liší koncentrací. Přípravují se také ze základních roztoků a přísady jsou přidávány těsně před leptáním. Pro přípravu základního roztoku pro leptadlo Beraha I se použije 24 g hydrogendifluoridu amonného (NH_4FHF), 200 ml kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 1000 ml destilované vody. Před leptáním se do 100 ml základního roztoku přidá 1 g disiřičitanu draselného ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Pro přípravu základní roztoku pro leptadlo Beraha II se použije 48 g hydrogendifluoridu amonného (NH_4FHF), 400 ml kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 800 ml destilované vody. Před leptáním se, shodně jako v prvním případě, do 100 ml základního roztoku přidá 1 g disiřičitanu draselného ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Mají účinnost 1 až 2 hodiny. Postup leptání se shoduje s Klemmovým leptáním, avšak doby leptání jsou velmi krátké. Toto leptání se používá na nízkouhlíkové a nízkolegované oceli.

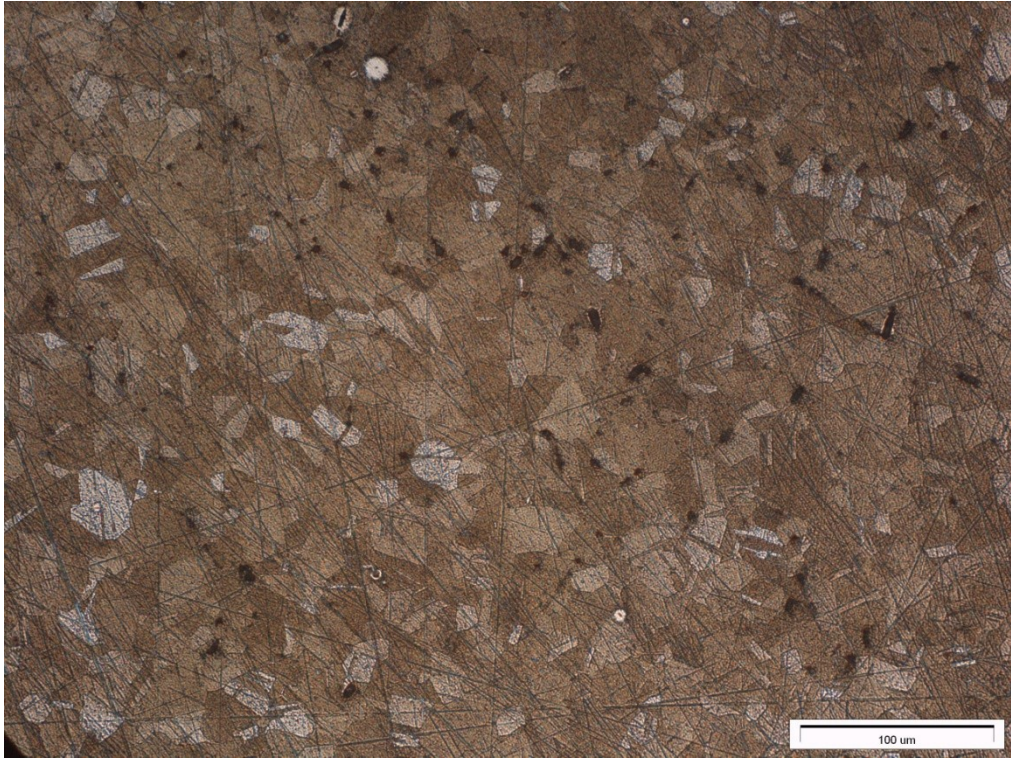
Leptání pomocí leptadla Beraha I je vhodné k odlišení martenzitu a bainitu v kalených ocelích. Proto je využíváno u cementovaných, nitrocementovaných a karbonitridovaných nízkouhlíkových i legovaných ocelí. Na následujícím snímku je vidět martenziticko-bainitická struktura. Martenzit se zbarvil do modra a bainit do hněda.



Obrázek 19: Martenziticko-bainitická struktura BERAHA I

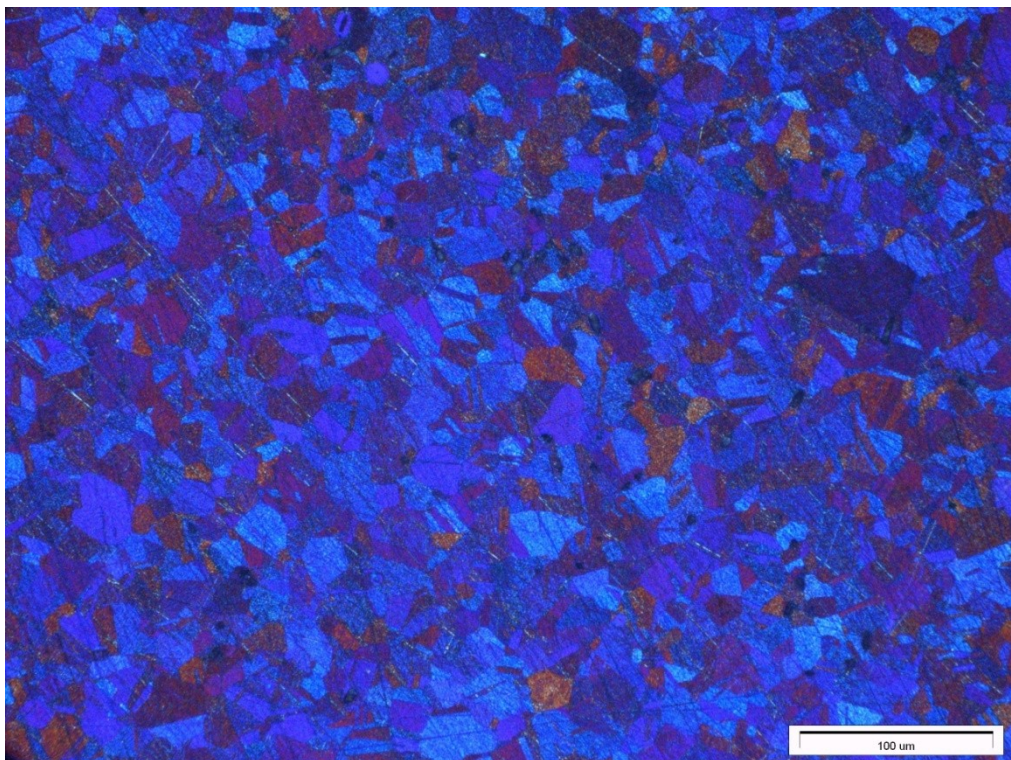
Z obrázku martenziticko-bainitické struktury je vidět, že martenzit a bainit se velmi dobře odlišil. Tato metoda se v praxi osvědčila na výbornou. Je to jedna z mála spolehlivých metod pro odlišení těchto dvou fází. Jinak lze tyto fáze lokálně odlišit elektronovou mikroskopií při velkých zvětšeních, ale plošné odlišení je spolehlivě možné pouze barevnou metalografií.

Leptání pomocí leptadla Beraha II je určeno pro vysokolegované austenitické ocele, kdy austenit je pestrobarevný. Na následujícím snímku ovšem není pestrobarevnost jednotlivých fází patrná.



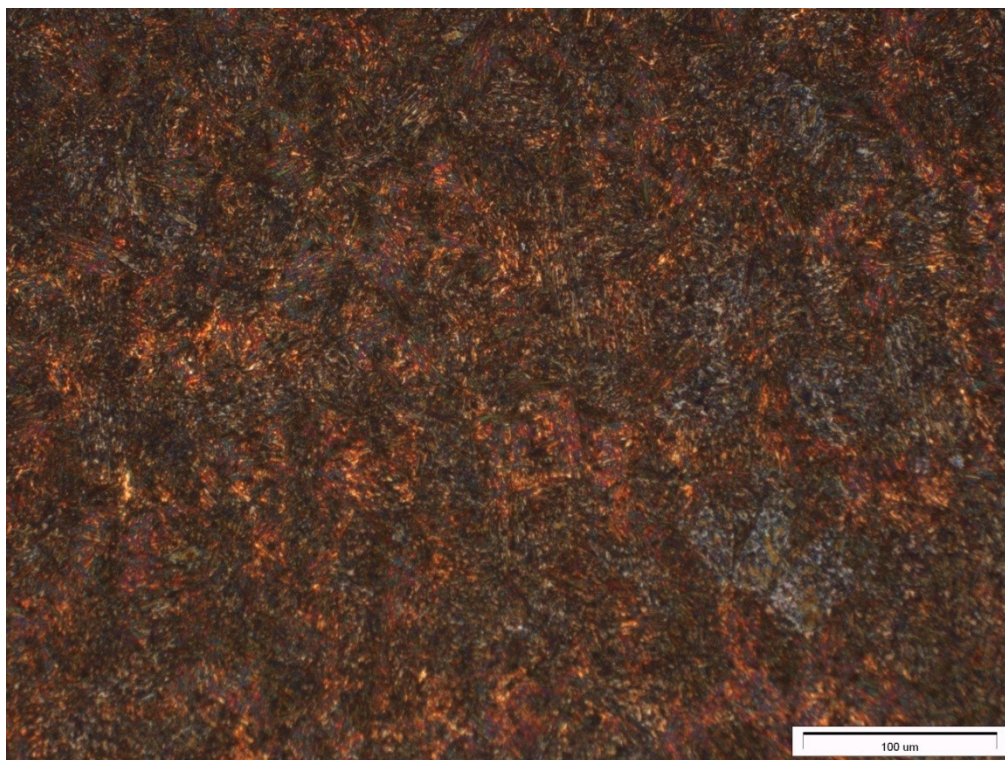
Obrázek 20: Austenitická ocel BERAHA II

V průběhu leptání bylo zjištěno, že pro tuto metodu je velice vhodné použít polarizované světlo, které zbarví austenit do různých odstínů (viz následující snímek).



Obrázek 21: Austenitická ocel BERAHA II (polarizované světlo)

Leptání pomocí leptadla Beraha–Martenzit se používá u tepelně zpracovaných litin k odlišení bainitu a martenzitu. Základní skladovatelný roztok se připravuje smícháním 100 ml kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 500 ml destilované vody. Samotný leptací roztok vznikne smícháním 100 ml základního roztoku, 2 g disiřičitanu draselného ($K_2S_2O_5$) a 2 g hydrogendifluoridu amonného (NH_4FHF). Martenzit se zbarvuje do modra, bainit do červeno-fialova, přičemž ferit a austenit se nezbarvuje.



Obrázek 22: Tepelně zpracovaná ocel BERAHA-MARTENZIT

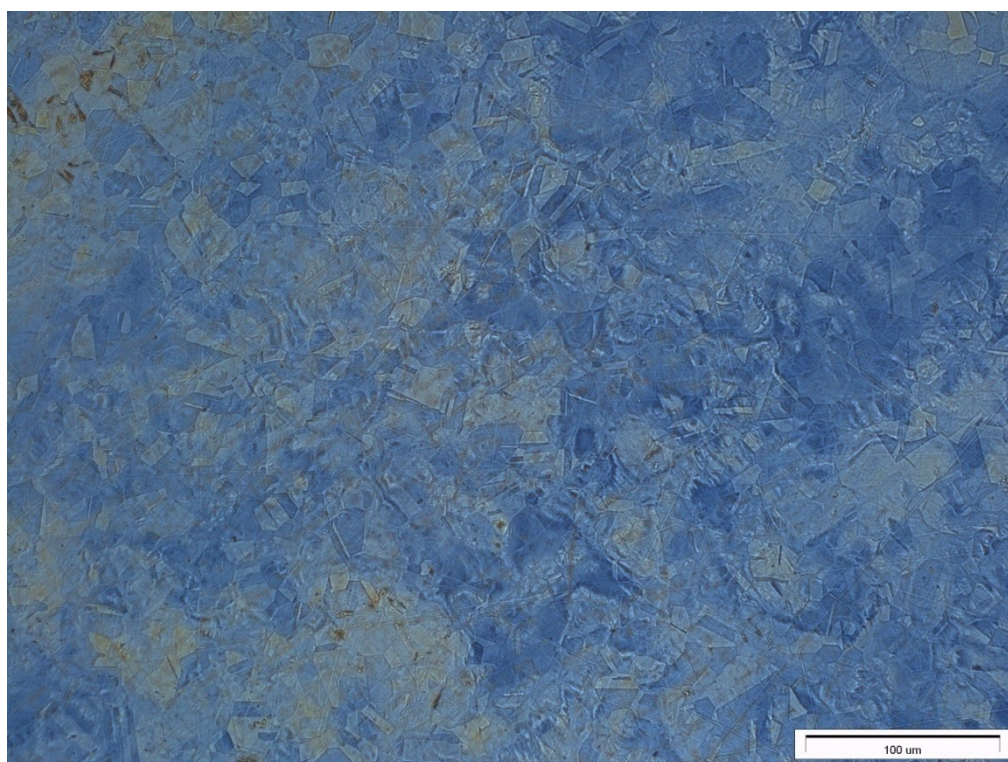
Toto leptání je velice rychlé (při delším ponoření vzorku do roztoku tento zcela ztmavne) a náročné na obsluhu a souměrné smočení vzorku.

5.1.3 Leptání podle Lichteneggera a Bloecha

Předmětná leptadla jsou obměnou leptadel Beraha a musí se uchovávat v plastových nádobách. Vzorky se vkládají do leptadla mokré. Leptadla Lichtenegger a Bloech se nepřipravují ze základního roztoku, ale připravuje se přímo samotný leptací roztok. Leptadlo Lichtenegger a Bloech I je složeno z 0,5 g disiřičitanu draselného ($K_2S_2O_5$), 20 g hydrogendifluoridu amonného (NH_4FHF) a 100 ml teplé destilované vody. Toto leptadlo je vhodné pro austenitické chromniklové ocele, v nichž zvýrazňují prvky rozpuštěné v austenitu do hnědozelené barvy. δ – ferit zůstává bílý. Také leptadla Lichtenegger

a Bloech II, III a IV se používají pro austenitické ocele. Odlišuje je jen jejich koncentrace. Leptadlo Lichtenegger a Bloech II se sestává z 1 g disiřičitanu draselného ($K_2S_2O_5$), 20 g hydrogendifluoridu amonného (NH_4FHF) a 100 ml teplé destilované vody. Leptadlo Lichtenegger a Bloech III je složeno z 1 g disiřičitanu draselného ($K_2S_2O_5$) a 10 g hydrogendifluoridu amonného (NH_4FHF) a 100 ml teplé destilované vody. Leptadlo Lichtenegger a Bloech VI se vyrábí z 0,5 g disiřičitanu draselného ($K_2S_2O_5$) a 1 g hydrogendifluoridu amonného (NH_4FHF) a 100 ml teplé destilované vody.

Následující snímek zachycuje leptání pomocí leptadla Lichtenegger a Bloech I.



Obrázek 23: Austenitická ocel Lichtenegger a Bloech I

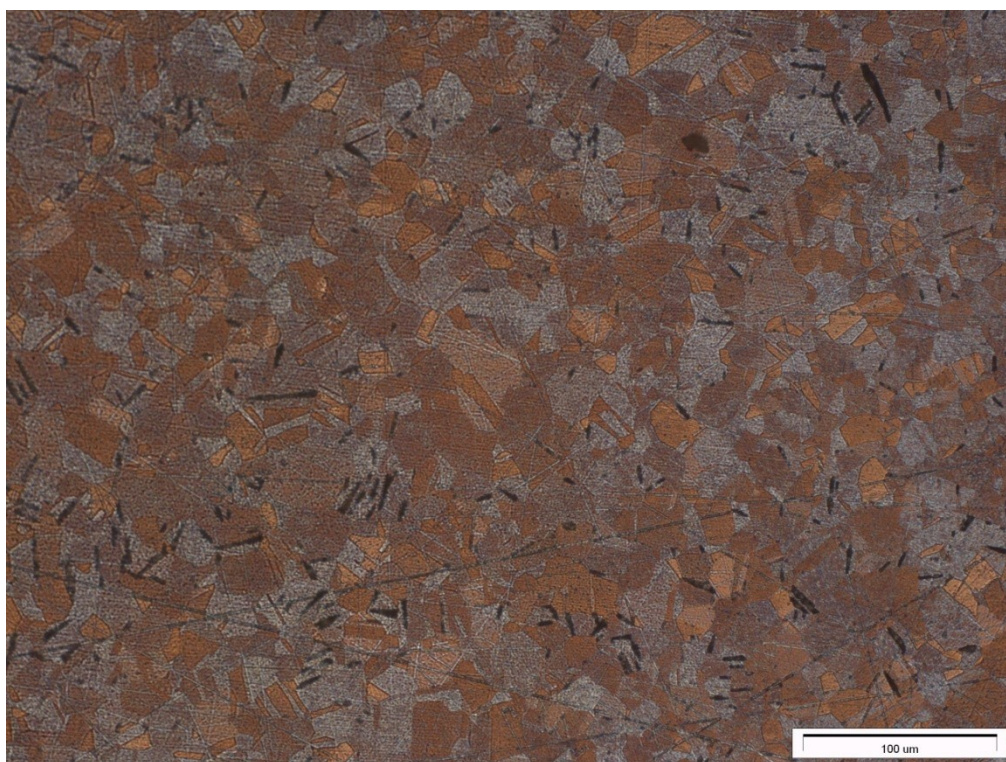
Při tomto leptání je funkční leptat do hodně tmavých odstínů. Osvětlování polarizovaným světlem nemá pro tuto metodu význam.

5.1.4 Leptání podle Bloecha a Wedla

Základní roztok z kyseliny chlorovodíkové se přehřívá a poté se v něm rozpustí přísady. Složení základního roztoku leptadla Bloech a Wedl I je 100 ml kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 500 ml destilované vody. Samotný leptací roztok je složen ze 100 ml základního roztoku a 0,1-2 g disiřičitanu draselného ($K_2S_2O_5$). Vzorky se do samotného leptacího roztoku vkládají mokré a leptají se, dokud nedostanou modrohnědé zbarvení. Některé

vzorky se po vyjmutí ultrazvukově čistí. Leptadlo Bloech a Wedl I nachází uplatnění u chromniklových austenitických ocelí a austenitických litin. Austenit se zbarvuje na modrohnědo a δ – ferit zůstává bílý. Lze ho také použít pro chemicko – tepelně zpracované vrstvy legovaných ocelí.

Složení základního roztoku leptadla Bloech a Wedl II je 300 ml kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 300 ml destilované vody. Samotný leptací roztok je složen ze 100 ml základního roztoku a 1,1-2 g disiřičitanu draselného ($K_2S_2O_5$). Leptadlo Bloech a Wedl II má stejné využití a je vhodné pro ocele s velkým množstvím přísad. Následující snímek byl získán právě při leptání pomocí leptadla Bloech a Wedl I.



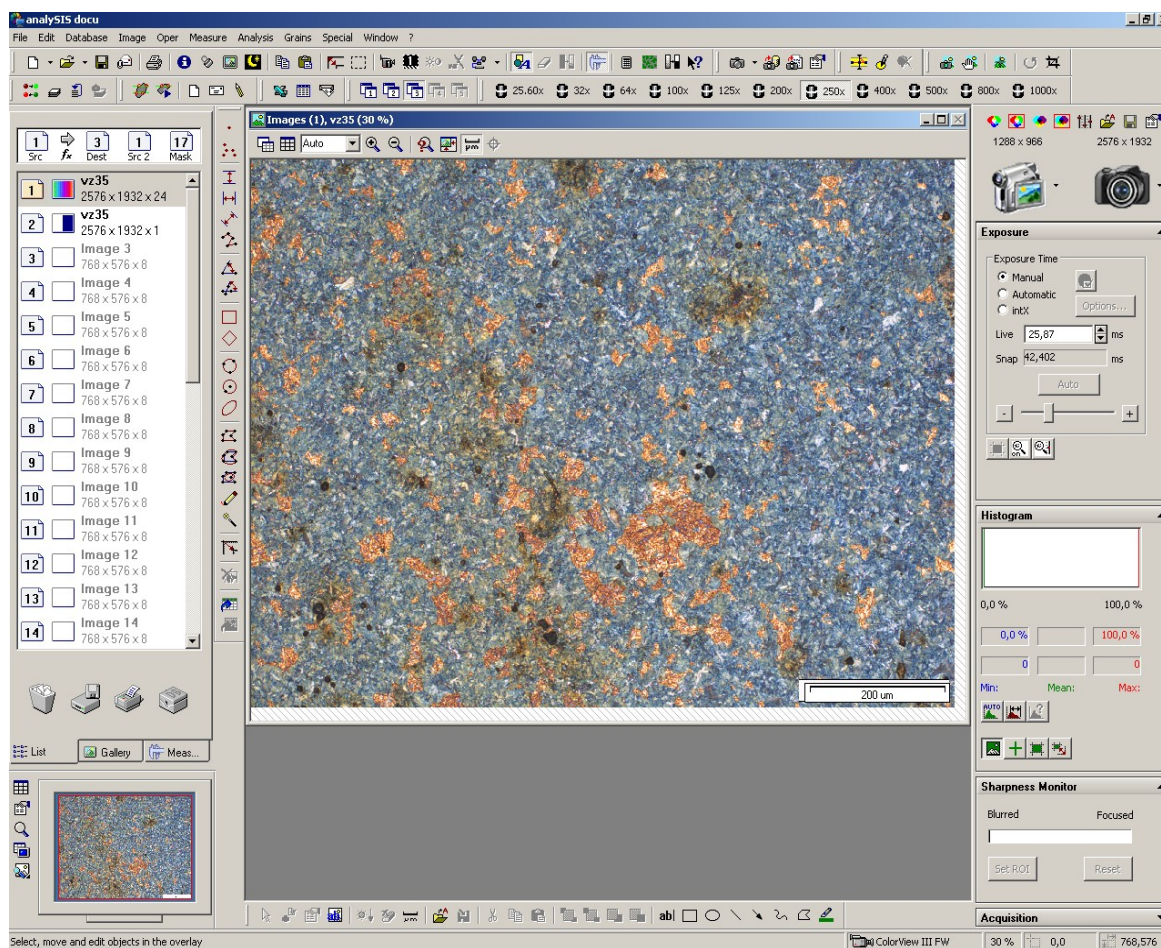
Obrázek 24: Austenitická ocel BLOECH A WEDL I

Ani pro tuto metodu nemá polarizované světlo význam.

Snímky vzorků leptaných disiřičitanovými leptadly v různých zvětšeních jsou součástí přiloženého CD.

5.2 Vyhodnocování struktur leptaného vzorku

Pro vyhodnocování struktur leptaných vzorků byl použit již zmíněný Program analySIS, jehož základní pracovní plocha je zobrazena níže.



Obrázek 25: Základní plocha programu analySIS

Vyhodnocovaný snímek se nejprve uložil do paměti a poté se provedla binarizace, tj. určení dvou barevných odstínů snímku (viz panel nástrojů Oper). Odstíny jednotlivých fází bylo třeba určit co nejpřesněji, jinak by došlo k velkému zkreslení a vyhodnocení by ztratilo smysl. Nastavení binarizace jednotlivých fází bylo provedeno pomocí Image a Set colour Thresholds z panelu nástrojů. Fáze byly měřeny buď mechanicky nástrojem Magic Wand (tento způsob je ale zdlouhavý), anebo v Measure Phase Color Coding (touto operací se umožní přístup v Image do Set Threshold, kde se provede nastavení). Nakonec bylo s využitím funkcí Measure a Phase AnalySIS realizováno vyhodnocení. Vyhodnocení bylo provedeno v přehledných tabulkách, jež bylo lze exportovat do Microsoft Office Excel a následně se s nimi dalo pracovat.

5.3 Tabulka složení jednotlivých leptadel

DISIŘIČITANOVÁ LEPTADLA	
KLEMM	
Základní roztok: K	300 ml destilované vody 1 kg Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O
Samotný leptací roztok:	100 ml K 2 g K ₂ S ₂ O ₅
Zbarvení po leptání:	Feritická zrna – tmavá Karbidy - bílé
BERAHA I	
Základní roztok: BI	24 g NH ₄ FHF 200 ml HCl 1000 ml destilované vody
Samotný leptací roztok:	100 ml BI 1 g K ₂ S ₂ O ₅
Zbarvení po leptání:	Martenzit – modrý Bainit - hnědý
BERAHA II	
Základní roztok: BII	48 g NH ₄ FHF 400 ml HCl 800 ml destilované vody
Samotný leptací roztok:	100 ml BII 1 g K ₂ S ₂ O ₅
Zbarvení po leptání:	Austenit - pestrobarevný
BERAHA - MARTENZIT	
Základní roztok: BWI	100 ml HCl 500 ml destilované vody
Samotný leptací roztok:	100 ml BWI 2 g K ₂ S ₂ O ₅ 2 g NH ₄ FHF
Zbarvení po leptání:	Martenzit – modrý Bainit – červenofialový

	Ferit a austenit – nezbarvený
LICHTENEGER A BLOECH I	
Samotný leptací roztok:	20 g NH ₄ FHF 0,5 g K ₂ S ₂ O ₅ 100 ml teplé destilované vody
Zbarvení po leptání:	Prvky rozpuštěné v austenitu – hnědozelené δ – ferit - bílý
LICHTENEGER A BLOECH II	
Samotný leptací roztok:	20 g NH ₄ FHF 1 g K ₂ S ₂ O ₅ 100 ml teplé destilované vody
Zbarvení po leptání:	Prvky rozpuštěné v austenitu – hnědozelené δ – ferit - bílý
LICHTENEGER A BLOECH III	
Samotný leptací roztok:	10 g NH ₄ FHF 1 g K ₂ S ₂ O ₅ 100 ml teplé destilované vody
Zbarvení po leptání:	Prvky rozpuštěné v austenitu – hnědozelené δ – ferit - bílý
LICHTENEGER A BLOECH IV	
Samotný leptací roztok:	1 g NH ₄ FHF 0,5 g K ₂ S ₂ O ₅ 100 ml teplé destilované vody
Zbarvení po leptání:	Prvky rozpuštěné v austenitu – hnědozelené δ – ferit - bílý
BLOECH A WEDL I	
Základní roztok: BWI	100 ml HCl 500 ml destilované vody
Samotný leptací roztok:	100 ml BWI

	0,1-2 g $K_2S_2O_5$
Zbarvení po leptání:	Austenit – modrohnědý δ – ferit - bílý
BLOECH A WEDL II	
Základní roztok: BWII	300 ml HCl 300 ml destilované vody
Samotný leptací roztok:	100 ml BWII 1,1-2 g $K_2S_2O_5$
Zbarvení po leptání:	Austenit – modrohnědý δ – ferit - bílý
MOLYBDENOVÁ LEPTADLA	
MOLYBDENAN SODNÝ	
Samotný leptací roztok:	100 ml destilované vody 1 g $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ + roztok kyseliny dusičné na pH 2,5 až 3
Zbarvení po leptání:	Cementit – žlutooranžový Fosfidy s feritem – bílé
KYSELINA MOLYBDENOVÁ 5 %	
Samotný leptací roztok:	95 ml destilované vody 5 ml HF MoO_3 (přidávat do vřícího roztoku)
Zbarvení po leptání:	Martenzit – modrý Bainit – hnědý
HORKÁ LEPTADLA	
PIKRÁT SODNÝ	
Samotný leptací roztok:	75 ml destilované vody 25 g NaOH 2 g $C_6H_3N_3O_7$
Zbarvení po leptání:	Fosfidové eutektikum – zbarvené

	Cementit – bílý
CHROMAN SODNÝ	
Samotný leptací roztok:	100 ml destilované vody 35 g NaOH 5 g CrO ₃
Zbarvení po leptání:	Austenit – žlutý Martenzit – modrý

Tabulka 2: Složení jednotlivých leptadel [1]

6 Závěr

Požadavky praxe na vlastnosti materiálů se obecně stále zvyšují. Díky tomuto trendu je *metalografie* velmi dynamickým vědním oborem. Metalografickému výzkumu jsou naštěstí nápomocny stále modernější a přesnější přístroje, včetně programového vybavení (za všechny lze zmínit kvalitní optické a elektronové mikroskopy a software umožňující obrazovou analýzu). Zároveň ho usnadňuje i celá řada fakticky více či méně využívaných postupů úpravy vzorků zkoumaných kovů a slitin za účelem zvýraznění struktury materiálu. Tzv. *barevná metalografie* dosahuje barevného kontrastu mezi jednotlivými složkami struktur materiálu (fázemi) vhodným osvětlením pomocí polarizovaného světla či diferenciálního interferenčního kontrastu a dále úpravou povrchu vzorku napařením interferenční vrstvy nebo barevným leptáním. Posledně zmíněnou techniku, jejíž podstatou je barevné odlišení jednotlivých fází kovového materiálu v důsledku aplikace vhodného leptadla na jeho povrch, lze mít za nejvýznamnější. Proto se jí tato bakalářská práce zabývala hlouběji.

V rámci laboratorního výzkumu zpracovatel s uplatněním metod *barevné metalografie* analyzoval nejen strukturu vybraných kovových materiálů, ale také prověřil vlastnosti a účinky různých leptadel používaných v procesu barevného leptání. V bakalářské práci potom podrobně popsal přípravu vzorků železných kovů pro barevné leptání (v této souvislosti mj. definoval základní zásady, jež je třeba při takové přípravě dodržet), zdůvodnil výběr vhodného typu leptadla pro ten který kovový materiál, vylíčil, jakým způsobem, příp. za jakých podmínek příslušná leptadla aplikoval na povrch vzorků, jak tato leptadla fungovala, přičemž v tomto směru formuloval určitá doporučení. Současně prezentoval a vyhodnotil s využitím optického mikroskopu s kamerou získané digitální snímky barevným leptáním zvýrazněné mikrostruktury železných kovů.

Tato práce by měla ve spojení s přílohou snímků mikrostruktury kovových materiálů na CD sloužit k výuce studentů, popřípadě jako jednoduchá příručka při realizaci barevného leptání železných kovů.

Použité zdroje:

- [1] SKOČOVSKÝ, Petr a Tomáš PODRABSKÝ. *Farebná metalografia zliatin železa*. J. M. Hurbana, Žilina: Žilinská univerzita, 2001, 68 s. ISBN 80-7100-911-3.
- [2] PTÁČEK, Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu I*. Purkyňova 95a, 612 00 Brno: CERM, 2001. ISBN 80-7204-193-2.
- [3] HLUCHÝ, Miroslav, Oldřich MODRÁČEK a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 1 – 2.díl: Metalografie a tepelné zpracování*. 3. Radimova 37/50, 169 00 Praha 6: Scientia, 2002. ISBN 80-7183-265-0.
- [4] GSCHEIDLE, Rolf a KOLEKTIV. *Příručka pro automechanika*. Mostecká 9, 118 00 Praha 1: Sobotales, 2001, 632 s. ISBN 80-85920-76-x.
- [5] MACHEK, Václav a Jaromír SODOMKA. *Nauka o materiálu: Kovy a kovové materiály 2.část*. Žikova 4, 166 36 Praha 6: ČVUT, 2002, 213 s. ISBN 80-01-02568-3.
- [6] SKOČOVSKÝ, Petr, Otakar BORŮVKA, Ivan DURMIS, Peter PALČEK a Břetislav TILL. *Nauka o materiálu*. 1. Hurbanovo nám. 3. 815 89 Bratislava: Alfa, 1992, 208 s. ISBN 80-05-01018-4.
- [7] JANDOŠ, František, Ríša ŘÍMAN, Antonín GEMPERLE a Břetislav TILL. *Využití moderních laboratorních metod v metalografii*. 1. Spálená 51, 113 02 Praha 1: SNTL, 1985, 384 s. L14-B2-IV-31/41745.
- [8] Elementární buňka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2007-04-08 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Element>
- [9] *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/465-polarizace-polaroidem>

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Stavba kovových materiálů [4]	11
Obrázek 2: Vznik kovové vazby [4]	12
Obrázek 3: Druhy elementárních buněk [8](upravené)	13
Obrázek 4: Krychlová prostorově středěná krystalová mřížka [3]	13
Obrázek 5: Krychlová plošně středěná krystalová mřížka [3]	14
Obrázek 6: Hexagonální krystalová mřížka [3]	14
Obrázek 7: Bodové poruchy krystalové mřížky [3] (upravené)	15
Obrázek 8: Schéma čárových poruch krystalové mřížky – dislokace [3]	15
Obrázek 9: Vznik struktury kovu [4]	17
Obrázek 10: Struktura se směsnými krystaly substitučními [4]	18
Obrázek 11: Struktura se směsnými krystaly intersticiálními [4]	18
Obrázek 12: Metastabilní soustava železo – cementit [3]	19
Obrázek 13: Diagram IRA pro eutektoidní ocel [3]	24
Obrázek 14: Diagram ARA pro eutektoidní ocel s diagramem IRA (tenké čáry) [3]	25
Obrázek 15: Elektrony [1]	27
Obrázek 16: Interference paprsků odražených od vzorků s povlakem [1]	32
Obrázek 17: Hadfieldská ocel KLEMM	37
Obrázek 18: Hadfieldská ocel NITAL	38
Obrázek 19: Martenziticko-bainitická struktura BERAHA I	39
Obrázek 20: Austenitická ocel BERAHA II	40
Obrázek 21: Austenitická ocel BERAHA II (polarizované světlo)	40
Obrázek 22: Tepelně zpracovaná ocel BERAHA-MARTENZIT	41
Obrázek 23: Austenitická ocel Lichtenegger a Bloech I	42
Obrázek 24: Austenitická ocel BLOECH A WEDL I	43
Obrázek 25: Základní plocha programu analySIS	44

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Přehled nejpoužívanějších legovacích prvků [3]	22
Tabulka 2: Složení jednotlivých leptadel [1]	48

Obrázky a tabulky, u nichž není uvedený zdroj, jsou dílem autora.